

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Departamento de Tecnologia de Emissões de Veículos

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Rua Dr. Roberto de Godoy Garcez
Av. Prof. Frederico Horta, 300 - 050 - Finheiros
05489-300 - SÃO PAULO - BR - SP

ASPECTOS AMBIENTAIS DO TRÔLEIBUS

TECNICO

Setembro 1993

Elaborado por:

**Eng. Olimpio de Melo Alvares Junior
Eng. Gabriel Murgel Branco
Eng. Alfred Szwarc**

CLASS. 5766

B206
AL86a (RCET)
005766

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de levantar e discutir as questões ambientais relacionadas com a utilização do tróleibus como alternativa para o transporte coletivo urbano em áreas saturadas por emissões de veículos automotores. Para tornar clara a vantagem da utilização da energia elétrica para tração, faz-se necessário caracterizar os impactos ambientais da utilização dos veículos movidos por outras formas de energia, especialmente o óleo Diesel.

1. INTRODUÇÃO

As últimas duas décadas foram marcadas pelo surgimento e disseminação da idéia do desenvolvimento sustentado. A degradação do meio ambiente e a consequente queda do bem estar das pessoas vem trazendo a componente ambiental às mesas de discussões de planejadores e administradores públicos.

A Revitalização do Centro de São Paulo, por exemplo, discutida pela atual gestão da Prefeitura, pode significar a volta da circulação de mais veículos na região Central, sobrecarregando ainda mais uma área já saturada pela emissão de poluentes veiculares e ruído. Este é um caso típico de decisão política, onde a componente ambiental deve necessariamente ser incluída, ou seja: a que tipo de veículo deverá ser dada a preferência para circulação?

Para que se possa responder esta pergunta, é preciso investigar cuidadosamente os seguintes aspectos:

- Quais os poluentes mais importantes e as respectivas fontes?
- Qual a dimensão da sobrecarga de poluentes atmosféricos e ruído?
- Quais são as áreas críticas da cidade?
- Quais as consequências dessa sobrecarga sobre a saúde da população?
- Quais as consequências sobre edifícios, estruturas etc?
- Qual o ônus da poluição do ar sobre a economia local?
- Quais são as medidas que devem ser consistentemente aplicadas para a atenuação do problema?
- Quais as dificuldades para a implantação das medidas?
- Como viabilizá-las?

2. CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS VEÍCULOS A DIESEL NA POLUIÇÃO DO AR DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO E FATORES DE EMISSÃO

Tabela 1 - Contribuição relativa das fontes para os problemas de poluição do ar (%)

	FONTES	CO	HC	NO _x	SO ₂	M.P.
V	a gasolina (escapamento)	60	29	13	4	6
E	a álcool (escapamento)	12	5	4	-	-
I	a Diesel (escapamento)	16	13	71	69	15
C	motocicletas (escapamento)	2	2	-	-	-
U	táxi	4	2	1	-	-
L	emissão evaporativa	-	18	-	-	-
O	emissão do cárter	-	4	-	-	-
S	pneus	-	-	-	-	10
	oper.de transf. de comb.	-	4	-	-	-
outras	oper. de proc. ind.	3	18	10	27	51
fontes	queima ao ar livre	3	5	1	-	18
	TOTAL	10	100	100	100	100

CO = monóxido de carbono
 HC = combustível não queimado
 NO_x = óxidos de nitrogênio
 MP = material particulado
 SO₂ = dióxido de enxofre

Tabela 2 - Fatores de Emissão de Veículos Pesados a Diesel

POLUENTE	FATOR DE EMISSÃO (g/km)
CO	17,8
HC	2,9
NO _x	13,0
SO _x *	3,4
MP	0,81

* SO_x = óxidos de enxofre

Considerou-se o teor médio de enxofre no Diesel de 0,5% em peso.

Os dados apresentados na tabela 1 acima referem-se às emissões totais de poluentes na RMSP. Apesar das emissões relativas de material particulado por veículos a Diesel não apresentarem um valor muito alto (cerca de 15% do total), o problema é preocupante, visto que todas as emissões são feitas diretamente sobre a população em corredores de tráfego, ao nível da rua. Por outro lado, as contribuições de 71% em relação as emissões de NO_x e de 69% de SO₂, são por si só motivo de preocupação.

A tabela 2 apresenta os fatores de emissão médios para cada poluente para os veículos pesados a Diesel. Considerando que a frota de veículos pesados na RMSP é de cerca de 330.000 veículos e que a frota de ônibus urbano é de cerca de 16.000 veículos, pode-se estimar a carga total de poluentes emitida a partir da quilometragem média para cada categoria.

3. CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE VEÍCULOS A DIESEL EM CORREDORES DE TRÁFEGO

Com o objetivo de evidenciar as vantagens ambientais que a utilização do tróleibus traz em relação aos ônibus movidos a Diesel, faz-se necessário caracterizar suas emissões e seus efeitos nocivos sobre a saúde da população.

3.1. Material Particulado (MP)

Estudos da CETESB comprovaram que participação dos veículos a Diesel na emissão total de material particulado (MP) na atmosfera ao nível da rua, pode atingir em alguns corredores de tráfego a proporção de 50%.

A legislação ambiental brasileira fixa três padrões de qualidade do ar para MP, através da Resolução n. 3/90 do CONAMA: partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PI) e fumaça.

O parâmetro fumaça é amostrado em 7 estações na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Destas, quatro se apresentaram em 1990 acima do padrão primário nacional no que se refere à média aritmética anual ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Com respeito ao padrão diário ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), somente em Mogi das Cruzes não foi verificado nenhuma ultrapassagem deste valor. Na estação Tatuapé, que sofre efeito direto do tráfego de veículos, o nível de atenção ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) chegou a ser ultrapassado em 1990.

Com relação às PTS, em 1990, das 11 estações localizadas na RMSP e Cubatão, 8 apresentaram média geométrica anual acima do padrão nacional primário de qualidade do ar ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Em relação ao padrão diário ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 7 estações estão acima deste valor.

As partículas inaláveis, com diâmetro inferior a 10μ , atingem as regiões mais profundas do sistema respiratório e permanecem mais tempo em suspensão na atmosfera. Das 23 estações que monitoram este poluente, 16 apresentaram média aritmética anual acima do padrão nacional de qualidade ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A maior marca foi observada na estação de São Caetano do Sul ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida por Cerqueira Cesar ($95 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O nível de atenção foi atingido em 12 estações e o nível de alerta foi atingido na Lapa e em Cubatão.

3.2. Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

De acordo com o inventário de fontes de poluição do ar da CETESB, os veículos a Diesel são responsáveis pela emissão de 71% de todos os NO_x emitidos na RMSP. Os NO_x reagem na atmosfera com os compostos orgânicos, geralmente caracterizados como hidrocarbonetos, na presença de luz formando os oxidantes fotoquímicos, cujo principal componente é o Ozona (O_3), que é utilizado como parâmetro indicador destes componentes na atmosfera.

A forma de controlar os oxidantes fotoquímicos é através da redução da emissão de seus precursores, os NO_x e compostos orgânicos. As concentrações destes poluentes devem ser limitadas, tanto em razão dos produtos aos quais dão origem, como também pelos seus efeitos diretos.

O padrão nacional de qualidade para O_3 ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tem sido também ultrapassado rotineiramente em todas as estações de amostragem da RMSP, atingindo por diversas vezes o nível de atenção.

3.3. Monóxido de Carbono (CO)

Apesar da frota Diesel participar da emissão total de CO na RMSP com uma proporção relativamente pequena (16%) quando comparada aos valores observados para as emissões de MP e NO_x , as ultrapassagens rotineiras do padrão de qualidade do ar par CO (35 ppni para média de uma hora e 9 ppm para média de 8 horas) indicam a necessidade premente de redução das emissões deste poluente, através de todas as estratégias disponíveis.

Os efeitos sobre a saúde estão associados a:

- incapacidade do sistema respiratório remover as partículas do ar inalado, retendo-as nos pulmões;
- presença nas partículas de substâncias minerais que possuem propriedades tóxicas;
- capacidade das partículas finas de reter substâncias irritantes, como sulfatos e hidrocarbonetos pesados, potencializando seus efeitos nocivos nas regiões mais profundas do sistema respiratório.

4.2. Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

No caso dos óxidos de nitrogênio ($\text{NO}+\text{NO}_2$), somente o NO_2 é motivo para preocupação. Devido à sua baixa solubilidade, é capaz de penetrar profundamente no sistema respiratório, dando origem às nitrosaminas, algumas das quais com propriedades carcinogênicas. O NO_2 é também um poderoso irritante, podendo conduzir a sintomas que lembram aqueles do enfisema.

Os óxidos de nitrogênio são agentes na formação da chuva ácida e são precursores da formação do Ozona, que tem alto poder irritante dos olhos e tecidos do sistema respiratório.

4.3. Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono reduz a capacidade de transporte de oxigênio do sangue, competindo com o oxigênio na combinação com a hemoglobina, uma vez que a afinidade desta última pelo CO é cerca de 210 vezes maior que pelo O_2 . Ocorre então a formação da Carboxihemoglobina, que reduz a capacidade de transporte de O_2 para o organismo.

Os sintomas da exposição excessiva ao CO são: a redução dos reflexos, dor de cabeça, redução da acuidade visual, estresse do sistema cardio-respiratório e em concentrações muito altas pode causar morte por asfixia.

4.4. Hidrocarbonetos (HC)

Os hidrocarbonetos são considerados substâncias tóxicas com alto poder irritante das mucosas e tecidos das vias respiratórias, especialmente aqueles de cadeia mais longa e os policíclicos e aromáticos, característicos das emissões de veículos a Diesel. Grande parte destes componentes apresentam potencial carcinogênico e teratogênico.

4.5. Dióxido de Enxofre (SO_2)

O dióxido de enxofre é altamente solúvel nas passagens úmidas do aparelho respiratório superior, resultando num aumento da produção de muco e consequente dificuldade respiratória. Quando adsorvido em partículas inaláveis na forma de sulfato, pode produzir danos às regiões mais profundas do sistema respiratório.

Os óxidos de enxofre também participam na formação da chuva ácida.

5. CUSTOS SOCIAIS RELACIONADOS COM A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição ambiental está sempre associada a um custo social que pode ser traduzido em cifras. Muitos pesquisadores dos países desenvolvidos vêm se dedicando nos últimos anos ao levantamento desses valores, associando-os geralmente à quantidade de poluição lançada.

Esses dados são utilizados para demonstrar aos administradores que os investimentos em recuperação ambiental têm normalmente uma relação custo/benefício favorável.

Uma análise mais aprofundada dos benefícios resultantes de um programa eficiente de recuperação da qualidade do ar na RMSP, exigiria o estudo dos seguintes parâmetros:

- Sistema de Saúde:

- análise comparativa de incidência de doenças respiratórias em centros urbanos com e sem problemas de poluição do ar, para a determinação dos custos adicionais relacionados aos óbitos e tratamento clínico nas regiões saturadas;
- estudos semelhantes para os problemas relacionados à perda auditiva;
- determinação da influência dos problemas de saúde no absenteísmo e na queda da eficiência no trabalho e quais os custos associados;
- determinação da parcela destes custos que incide sobre o Estado e da parcela que incide sobre a iniciativa privada;
- determinação da parcela destes custos que incide diretamente no bolso do cidadão.

- Recuperação e Limpeza do Patrimônio

- determinação dos custos de limpeza e recuperação de fachadas de edifícios;
- limpeza e recuperação de monumentos e obras de arte;
- substituição de estruturas metálicas em processo de corrosão;
- limpeza e substituição de placas de sinalização de trânsito;
- acidentes de trânsito causados pela má visibilidade do motorista.

6. O GÁS NATURAL E O TRANSPORTE URBANO

Uma alternativa desejável, do ponto de vista ambiental, é a utilização do gás natural para o transporte urbano, desde que os motores sejam projetados para esta finalidade. Entretanto, a conversão e adaptação inadequadas de motores pode resultar em alta emissão de poluentes como CO e NO_x e baixa eficiência de combustão, anulando as vantagens sobre os combustíveis convencionais.

A principal característica ambiental do gás natural é a emissão praticamente nula de material particulado e óxidos de enxofre. Além de apresentar vantagens econômicas em relação ao preço do combustível, sua utilização aumenta a vida do motor, reduzindo os custos de manutenção e o consumo de óleo lubrificante.

Com o aumento da disponibilidade do gás natural em centros como São Paulo e Rio de Janeiro e com as perspectivas de importação da Argentina e Bolívia, viabiliza-se a expansão da participação do gás natural na matriz de consumo de combustível nos centros urbanos.

Em São Paulo, por exemplo, a Prefeitura Municipal estabeleceu a lei n. 10950 de 24.01.91 para a conversão da frota de ônibus urbano para gás natural num prazo de 10 anos. Se os próximos anos revelarem ser a decisão de utilização do gás natural uma política de governo consistente, a iniciativa da Prefeitura de São Paulo será altamente positiva do ponto de vista ambiental. Entretanto, aspectos como a implantação gradativa de parcelas cada vez maiores de veículos a gás na frota circulante ao longo dos 10 anos não foram considerados, correndo-se o risco de, expirado o prazo, as empresas declararem que simplesmente não foi viável a substituição da frota conforme o estabelecido pela lei.

Outro aspecto não considerado pela lei é a baixa capacidade de armazenagem do gás natural, tornando o transporte coletivo urbano extremamente vulnerável a eventuais falhas de abastecimento.

Existe uma grande disponibilidade de gás natural a nível mundial, com perspectivas de prospecção para os próximos 56 anos.

Diversos países do primeiro mundo já operam grandes frotas de veículos a gás para transporte coletivo e de carga em centros urbanos, confirmando assim uma tendência mundial.

A tecnologia de motores a gás já está desenvolvida a nível comercial e apresenta as seguintes vantagens:

- baixo custo combustível: US\$ 30 / (barril equivalente) contra US\$ 50 / (barril de combustível derivado de petróleo);
- baixa emissão de CO e HC;
- 20% menos CO₂ que a gasolina e Diesel;
- propriedades antidetonantes, podendo ser utilizado em motores com altas taxas de compressão;
- permite grandes diâmetros de cilindro, podendo ser utilizado como substituto em motores inicialmente projetados para operar com Diesel, com pequenas modificações.

Por outro lado, a utilização do gás natural apresenta algumas desvantagens e problemas:

- grandes reservatórios para armazenagem, baixa capacidade do sistema, tornando operação da frota vulnerável a problemas de abastecimento;
- grandes pressões de armazenagem - 200 bar;
- perda de potência do motor por ocupar grande volume na câmara de combustão;
- variações na especificação do gás natural conforme região de origem.

É evidente que a utilização em larga escala da energia elétrica para tração, devido às suas características de emissão nula de poluentes atmosféricos, seria mais favorável ao meio ambiente do que a utilização de qualquer outro tipo de combustível existente. Entretanto, uma combinação de veículos a gás e tróleibus traria bons resultados ambientais, sem perder as características de flexibilidade necessárias ao bom desempenho operacional do sistema.

7. RUÍDO URBANO POR VEÍCULOS

No que se refere à emissão de ruído, as vantagens do tróleibus em relação ao ônibus Diesel podem ser observadas na tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Níveis sonoros de veículos automotores medidos na calçada com velocidade média de 50 km/h em circulação normal e em via plana

Categoria de Veículo	Observação	Nível de Ruído dB(A)
Ônibus Urbano Diesel	Escapamento Original	84 a 86
	Escapamento Alterado ou Danificado	90
Tróleibus	1954 com compressor	73
	1954 sem compressor	70
	Ciferal série 70 com compressor (veículo parado)	75
	Ciferal série 70 com compressor	78
Automóvel	Escapamento Original	76
Motocicleta	Escapamento Original	86 a 88
	Escapamento Alterado	100
Caminhões	Mais Novos	86 a 94 (esca alt.)
	Mais Antigos	94 a 100 (esca alt.)

Fonte: CETESB

Complementamente a essas informações temos que considerar que os efeitos do ruído dependem da frequência das ondas sonoras produzidas. Para altas frequências, como é o caso do ruído emitido pelos ônibus elétricos, a sensação sonora desaparece mais rapidamente do que aquela produzida pelos ônibus diesel, visto que nesse caso temos uma predominância de baixas frequências.

A transmissão do ruído e das vibrações produzidas por ônibus diesel se propaga, pelas razões apontadas anteriormente, mais facilmente através de muros e paredes do que a transmissão do ruído e das vibrações produzidas por ônibus elétricos.

8. CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DO TRÓLEIBUS E OUTRAS VANTAGENS

As indiscutíveis vantagens ambientais da utilização da energia elétrica para o transporte coletivo e de massa em grandes concentrações urbanas está se configurando como uma tendência mundial na definição do modal de transportes nestas áreas.

Diversos países já estão adotando políticas de médio e longo prazo para a expansão da utilização da energia elétrica para transportes.

O Estado da Califórnia estabeleceu meta para o aumento da participação da frota eletrificada de automóveis para 2% do total produzido em 1998 e a partir do ano 2003, aumento gradativo para 10%. Do outro lado, o Japão estabelece que a quantidade mínima de veículos elétricos em circulação no ano 2000 deverá ser de 200.000 unidades. Países como a Itália, França, Suíça, Suécia, Alemanha etc, desenvolvem por sua vez intensas pesquisas no sentido de viabilizar técnica e economicamente seus equipamentos de geração, distribuição, armazenagem, recuperação e tração elétrica.

Exemplos concretos podem ser citados, como o Ônibus Híbrido Diesel - elétrico desenvolvido pela Hino-Bus no Japão, onde um motor Diesel convencional recebe torque adicional de um motor elétrico compacto instalado em seu volante, reduzindo as emissões e consumo de combustível, sem aumento significativo do peso do carro.

A Suíça desenvolve pesquisas para a instalação de estações de abastecimento a partir de energia solar. O grupo Daimler Benz na Alemanha desenvolve o DUO POWER BUS com sistema de recuperação da energia da frenagem, que pode alternativamente operar como tróleibus ou movido a Diesel.

Os veículos de tração elétrica trazem também outras vantagens significativas, como maior conforto para os passageiros, menos solavancos e menor vibração. O controle eletrônico da aceleração evita ainda o enrugamento do pavimento, reduzindo a frequência de manutenção das vias públicas.

Do ponto de vista energético, sabemos que um motor Diesel trabalha próximo de seu ponto de eficiência térmica máxima quando opera em plena carga, o que não ocorre em maior parte do tempo durante sua utilização em vias centrais, onde predominam os regimes de carga parcial. Por sua vez as perdas energéticas nos veículos elétricos são mínimas, o que justificaria até seu abastecimento pela cogeração de energia elétrica através de grandes equipamentos de alta eficiência térmica, a partir de gás natural, óleos vegetais ou até mesmo derivados de petróleo. A possibilidade de recuperação da energia de frenagem vem ainda a somar, em relação à redução do consumo de energia.

Por todos os motivos expostos neste trabalho, pode-se considerar a energia elétrica utilizada para tração em centros urbanos como uma "Energia Social" de muito baixo potencial de poluição ambiental e espera-se portanto que as políticas nacionais energéticas e de transportes, venham a incentivar e privilegiar sua utilização nos centros urbanos.

Data Acquis:	29/9/93
Indic:	memo 053/93
Comment:	DERF de 28/9/93
Preco:	105
Data Yottel:	29/9/93