

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

AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR VEÍCULOS AUTOMOTORES LEVES

GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM LIGHT DUTY VEHICLES

Vanderlei Borsari ¹; João Vicente de Assunção ²

¹ Tecnólogo mecânico pela Fatec - SP; mestre em Saúde Pública, área de concentração Saúde Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Gerente da Divisão de Transporte Sustentável e Emissões Veiculares da CETESB. Av. Prof. Frederico Hermann Jr. 345, São Paulo – SP. vanderleib@cetesbnet.sp.gov.br

² Engenheiro, professor titular do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Av. Dr. Arnaldo, 715, São Paulo - SP

RESUMO

O aquecimento global que tem sido atribuído ao aumento nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) é um dos principais problemas ambientais que o mundo enfrenta atualmente. Atividades humanas estão alterando a composição da atmosfera através da emissão de GEE, particularmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Os veículos automotores são uma importante fonte de emissão desses gases, tanto diretamente, pela combustão, como também pelo processo de produção e manuseio de combustíveis veiculares. O objetivo deste trabalho foi o de traçar um panorama sobre as emissões de GEE pelos veículos leves no cenário brasileiro, além de estimar o valor médio dessas emissões para os veículos novos e comparar esses resultados com limites de emissão já promulgados em diversos países.

Palavras-chave: Emissão veicular; Gases de efeito estufa; Aquecimento global.

ABSTRACT

Global warming that has been attributed to the increased concentration of greenhouse gases (GHG's) is one of the major environmental problems the world faces nowadays. Human

activities are changing the composition of the atmosphere through the emission of GHG's, particularly carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O). The vehicles are a source of emissions of these gases, both directly, through combustion, as well by production processes and vehicular fuel handling. The aim of this study was to outline the present situation regarding GHG emissions from light duty vehicles in Brazil, to estimate the average value of those emissions for new vehicles and to compare it to the standards for new light duty vehicles set by several countries.

Keywords: Vehicle emission, Greenhouse gases, Global warming.

INTRODUÇÃO

O feito mais importante da atmosfera terrestre talvez seja sua capacidade de manter a temperatura do planeta em valores muito maiores do que seria sua presença. Essa condição é chamada "efeito estufa". Sem essa atmosfera a superfície da Terra seria muito fria (cerca de -17°C) e não permitiria a existência de água líquida, impedindo, muito provavelmente, o desenvolvimento da vida como a conhecemos (BENNETT et al, 2004).

Muito embora ainda exista controvérsia a respeito do quão sério o problema do aquecimento global possa ser, ao menos três fatos são considerados pelos cientistas do IPCC:

Primeiramente, as medições mostram que o planeta se aqueceu cerca de 0,5°C nos últimos 50 anos (IPCC, 2007). Obviamente, o aquecimento pode estar ocorrendo naturalmente, o que faz com que esse fato, por si só, não demonstre que atividades humanas sejam a causa do aquecimento.

Em segundo lugar, as atividades humanas estão claramente aumentando a quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera. Se a tendência continuar, em meados do século XXI, a concentração de CO₂ pode atingir o dobro da que era no início do século XIX. Outros gases de efeito estufa, como o metano e o óxido nitroso, também estão sendo adicionados à atmosfera. O aquecimento observado nas décadas passadas coincide com o aumento nas concentrações de gases de efeito estufa causado pelas atividades humanas. Novamente, esse fato não prova que as atividades humanas sejam a causa do aquecimento, embora faça com que seja uma possibilidade.

Em terceiro lugar, o mecanismo básico do efeito estufa é simples e entendido o suficiente para que não restem dúvidas que o contínuo aumento na concentração de gases de efeito estufa poderia levar ao aquecimento do planeta. Evidências geológicas e evidências de outros planetas nos fornecem a base para esse fato.

Medições sistemáticas diretas da concentração de CO₂ na atmosfera iniciaram-se em meados do século 20 e mais recentemente para outros gases como o metano. No entanto

dados paleo-atmosféricos medidos a partir de amostras de gelo polar revelam a mudança na concentração para alguns dos GEE. Esses dados revelam a influência humana na concentração desses gases na atmosfera através do milênio.

O CO_{2eq} (CO₂ equivalente) fornece um padrão universal de medida contra o qual os impactos da emissão ou da prevenção de diferentes GEE podem ser avaliados. Cada GEE possui um potencial de aquecimento global, da sigla em inglês “Global Warming Potencial”(GWP), uma medida do impacto que um gás particular tem sobre o forçamento radiativo. O GWP de um determinado gás descreve seu efeito na variação do clima relativo à mesma quantidade de CO₂ (ANDRADE, 2007), . A Tabela 1 mostra o GWP para quatro gases de efeito estufa importantes. Esse índice mostra a capacidade de uma unidade de massa de gás de efeito estufa de aquecer a atmosfera, em relação à mesma unidade de massa de dióxido de carbono, cujo valor atribuído é 1 (um), levando-se em conta os diferentes períodos de permanência dos gases na atmosfera.

Tabela 1- Potencial de Aquecimento Global (GWP)

Poluentes	Tempo de vida (anos)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)		
		20 anos	100 anos	500 anos
CO ₂	~150	1	1	1
CH ₄	12	62	23	7
N ₂ O	114	275	296	156
HFC-134a	~14	3300	1300	400

Fonte : IPCC, 2001(adaptado)

Para se reportar a emissão dos gases de efeito estufa, como emissão de CO₂ equivalente (CO_{2eq}), tem sido utilizado um horizonte de 100 anos resultando na seguinte fórmula:

$$CO_{2eq} = CO_2 + (23 \times CH_4) + (296 \times N_2O)$$

Esses valores de GWP também foram adotados na legislação da Califórnia - E.U.A, para limites de emissão de GEE em veículos automotores (CARB, 2004). O horizonte de 100 anos também é utilizado na elaboração de projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo)

DESENVOLVIMENTO DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA EMISSÕES VEICULARES

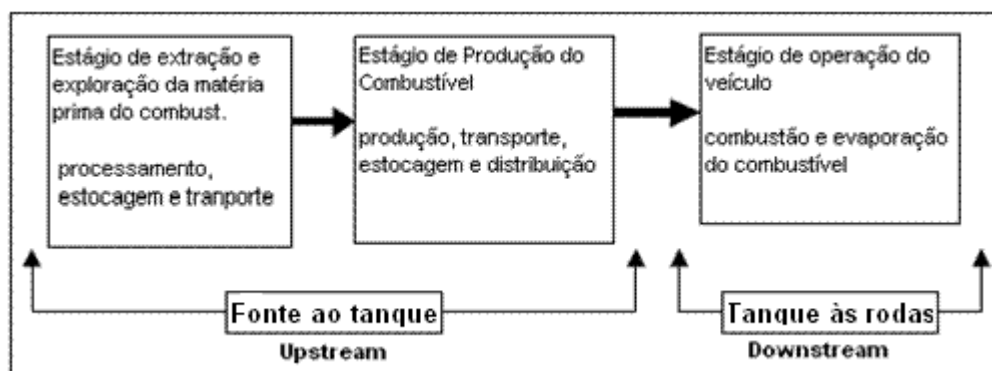
Constatada a gravidade da poluição gerada pelos veículos na década de 80, a CETESB

liderou o desenvolvimento das bases técnicas que culminaram na Resolução nº 18/86 do CONAMA que estabeleceu o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), posteriormente complementada por outras resoluções. O PROCONVE foi baseado inicialmente na experiência internacional dos países desenvolvidos e fixou, para veículos novos, limites máximos de emissão, em ensaios padronizados e com combustíveis de referência. Os fabricantes de veículos vêm cumprindo as exigências legais, o que resultou na obtenção de redução média de mais de 94% na emissão de poluentes regulamentados (CO, HC, NOx e Aldeídos) de veículos leves novos (ano-base 2007), em relação ao início do programa (CETESB, 2009).

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR VEÍCULOS AUTOMOTORES LEVES

Uma estimativa completa da emissão de gases de efeito estufa por veículos deve levar em conta a análise do ciclo de vida dos combustíveis utilizados nos veículos conhecida como *well-to-wheel analysis* (WTW). Isso inclui a emissão devido a produção, processamento, estocagem, transporte e distribuição dos combustíveis (*“upstream emissions”*), e as emissões devidas combustão em si (*“downstream emissions”*) (Figura 1).

Figura 1: Atividades cobertas na análise das emissões veiculares pelo ciclo de vida do combustível



Fonte: EPA, 1997 (adaptado)

Em uma análise mais completa, as emissões diretas de GEE por veículos automotores incluem também:

- a- gases refrigerantes emitidos pelo sistema de ar condicionado devido a vazamentos, perdas durante a recarga, ou liberação quando do sucateamento ou acidente com o veículo;
- b- CO₂ adicional originário da operação do sistema de ar condicionado dos veículos;

c- ao ozônio presente na atmosfera (indireta). O ozônio, que também é um gás de efeito estufa, é formado na atmosfera através da reação fotoquímica de poluentes convencionais emitidos pelos veículos, principalmente NO_x , e compostos orgânicos voláteis (COV's);

d- à formação radicais OH na troposfera provocada pelos poluentes convencionais e que por sua vez altera os níveis de CH_4 . Por conta disso por vezes eles são chamados de GEE indiretos (MOTALLEBI et al, 2008).

Partindo do entendimento de que uma boa parte dos gases de efeito estufa é liberada para a atmosfera pela queima de combustíveis fósseis, alguns combustíveis ditos alternativos passaram a ser foco de incentivos no que diz respeito a sua utilização como fonte de energia nos veículos. Recentemente dois desses combustíveis ganharam destaque: os biocombustíveis, notadamente o etanol, cuja utilização foi concebida originalmente como resposta às crises do petróleo na década de 1970, e o gás natural, que embora também seja um combustível fóssil, apresenta potencial de emissão de CO_2 menor que os combustíveis fósseis tradicionalmente utilizados em veículos, quais sejam, a gasolina e o óleo diesel.

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR VEÍCULOS AUTOMOTORES

A sustentabilidade ambiental se refere essencialmente à manutenção dos sistemas ecológicos terrestres de suporte à vida. Se esses sistemas entram em declínio, o bem estar e a saúde da humanidade ficarão comprometidos. Embora a ciência e a tecnologia possam ajudar, há um limite na utilização de recursos. É preciso viver dentro dos limites impostos pelo planeta. A saúde da população é um ponto central que devemos levar em consideração em nossa transição a caminho da sustentabilidade (McMICHAEL et al. 2000 apud WHO, 2003). Segundo NOBRE (2008), não há fórmula mágica para enfrentar o aquecimento global, que não passe por mudanças paradigmáticas profundas da sociedade e de cada indivíduo. Tais mudanças vão muito além do simples entendimento das interrelações da biosfera-hidrosfera-atmosfera e incluem o ser humano na profundidade de suas dimensões psíquica, física e mental.

Acordos internacionais em assuntos sobre o meio ambiente global, como é o caso das mudanças climáticas, devem considerar os princípios de desenvolvimento sustentável propostos pela Agenda 21 e pela Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (UNFCCC). Esses princípios incluem o princípio da "precaução", o princípio de "custos e responsabilidade" (o custo da poluição ou do dano ambiental deve ser imputado aos responsáveis) e da equidade. A aderência a esses princípios poderá ajudar a prevenir malefícios futuros e a reduzir os já existentes. Com as mudanças climáticas que já estão

ocorrendo há a necessidade de avaliar as vulnerabilidades e identificar as opções de intervenção e adaptação (IPCC, 2007)

O planejamento antecipado pode reduzir as futuras adversidades dos impactos à saúde. Qualquer solução, no entanto, depende de governos, sociedades e indivíduos e requer mudanças no comportamento e nas tecnologias para nos habilitarmos à transição para a sustentabilidade.

Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor de gases de efeito estufa no setor energético. Isso se deve ao fato de ser o Brasil um país tropical, com invernos moderados e por mais de 60% de sua matriz energética ser constituída por fontes renováveis. Mais de 95% da eletricidade brasileira é gerada por usinas hidrelétricas e há uma ampla utilização de biomassa¹ (BRASIL, 2002).

Desconsiderando o desmatamento e queimadas, que são grandes fontes emissoras de gases de efeito estufa no Brasil, devido à decomposição da matéria orgânica desmatada ou queimada, o setor de transportes tem grande importância pois contabiliza cerca de 33% das emissões. De acordo com BRASIL (2002), a frota brasileira de veículos leves em 1994 (11,745 milhões de veículos), foi responsável por emissões de 21.940 Gg de CO₂, 5,7 Gg de CH₄ e 1,04 Gg de N₂O. Entre 1990 e 1994 importantes mudanças ocorreram no perfil das emissões da frota de veículos leves. As emissões de CO₂ cresceram 44%, as de N₂O, 28%, enquanto as emissões de CH₄ diminuíram 16%, apesar do crescimento de 14% da frota (BRASIL, 2002). Isso ocorreu em parte pela modificação do perfil da frota, mas também pelo aumento no número de veículos e na circulação dos mesmos. Os veículos fabricados mais recentemente apresentam fatores de emissão menores, exceto para CO₂ e N₂O.

O uso do etanol pela frota nacional reduz substancialmente a emissão de carbono fóssil tendo reflexos muito positivos para o impacto do setor de transportes, em relação ao uso da gasolina. Esse uso fez com que as emissões de CO₂ evitadas, de 1990 a 1994, ficassem entre 42% e 46% das emissões hipotéticas de CO₂ se o combustível fosse a gasolina (BRASIL, 2002).

Os inventários de emissão de GEE são uma importante ferramenta para as nações na verificação da influência do setor de transportes nas emissões globais antrópicas de gases de efeito estufa. Há estimativas de que, nos países ditos em desenvolvimento, as emissões de GEE por esse setor tenham aumentado em 16% entre 1990 e 2006 (UNFCCC, 2006). Considerando que existe a expectativa que haja um aumento na frota de veículos nesses países, fica claro que as metas para redução das emissões de GEE por veículos automotores poderão representar um componente importante nas estratégias futuras.

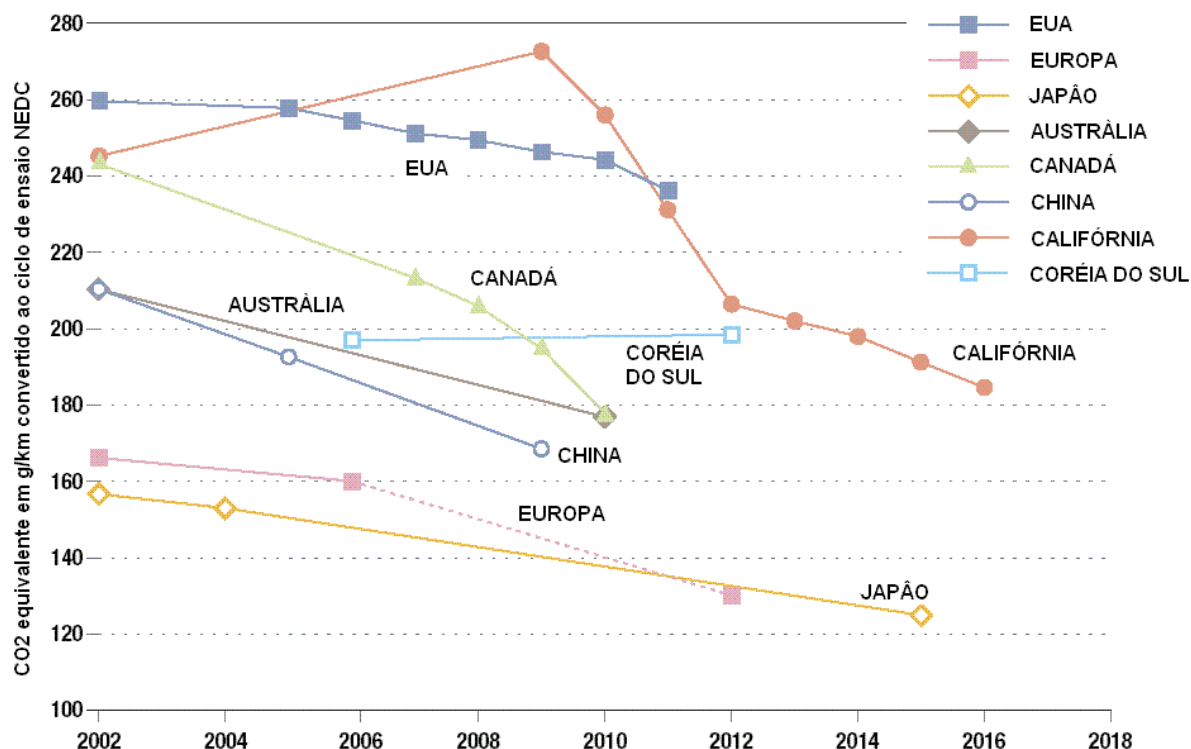
¹ - Utilização de etanol nos veículos, uso do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de vapor, uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica, etc.

Podem-se resumir as abordagens fundamentais na busca da redução das emissões de GEE por veículos como sendo:

- 1- Estabelecer metas ou limites de emissão, compulsórios ou voluntários, que levem ao desenvolvimento de tecnologias de redução da emissão;
- 2- Adotar combustíveis de baixo conteúdo de carbono fóssil e novas tecnologias nos veículos;
- 3- Reduzir o uso de veículos.

Oito países ou regiões e estados de diversos países propuseram ou já estabeleceram limites de consumo ou de emissão de GEE por veículos: Estados Unidos (Federação e Estado da Califórnia), União Européia, Japão, Canadá, Austrália, China e Coreia do Sul (AN et al, 2007). Baseado em uma metodologia desenvolvida especificamente para isso, o ICCT (International Council on Clean Transportation (AN e SAUER, 2004), comparou os padrões estabelecidos em diversas nações, sejam esses padrões para a emissão direta de GEE ou para o consumo específico de combustível. Essa metodologia leva em consideração que cada limite estabelecido refere-se a um valor obtido em um ensaio laboratorial que é diferente para cada país. A principal diferença entre os ensaios está no ciclo de condução que é adotado. Os três principais ciclos são: o europeu (NEDC – New European Driving Cycle), o utilizado nos Estados Unidos (ciclo composto de duas etapas: uma referente a uma condução urbana – FTP-75, e outra referente a uma condução em estrada – “Highway”), e o utilizado no Japão (JC08). Para efeito de comparação, a metodologia utilizou cálculos que converteram os diferentes resultados de emissão de GEE a resultados equivalentes aos obtidos com o ciclo NEDC. Já na comparação dos resultados em termos de consumo específico de combustível (ou autonomia), os valores foram convertidos ao ciclo americano. A Figura 2 mostra os limites de emissão de GEE, expressos em CO₂ equivalente, atuais e projetados para diferentes países.

Figura 2 – Limites de emissão de GEE atuais e projetados, de 2002 a 2018.



Fonte: An et al, 2007

ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GEE POR VEÍCULOS LEVES NO BRASIL

Logo após a segunda grande crise mundial do petróleo, nos anos 1980, o Brasil instituiu através do Ministério da Indústria e Comércio, um programa denominado “Escolha Certo”. Esse programa visava divulgar ao consumidor informações úteis para auxiliar no processo de compra de um veículo, e que incluía a publicação do valor de consumo de combustível dos veículos, obtido em ensaios laboratoriais. O Programa foi descontinuado no início dos anos 90. Em 1991 foi lançado o Programa Nacional para o Uso Racional de Petróleo e Gás (CONPET) para promover o uso eficiente de fontes de energia não renováveis, nos principais setores da economia que consomem derivados de petróleo, incluindo o setor de transporte. Posteriormente, como um componente do CONPET, foi lançado um programa voluntário de etiquetagem veicular, e que vem recebendo crescentes adesões por parte das montadoras de automóveis. Devido ao uso intensivo do etanol como combustível veicular, seja como mistura na gasolina automotiva, seja como etanol hidratado puro em veículos movidos exclusivamente a etanol, ou mais recentemente nos veículos bicombustíveis ou flexíveis (“flex”), a emissão de CO₂ pela sua frota de automóveis, o Brasil leva considerável vantagem no que se refere à emissão de GEE, em relação aos países desenvolvidos. De acordo com estudo do Center for Clean Air Policy, estima-se que a emissão média da frota

brasileira de veículos leves em 2004 seja em torno de 124g/km/veículo (KRUG et al, 2006, apud AN et al. 2007).

Na elaboração de inventários a emissão de CO₂ pode ser estimada através do consumo de combustível (conhecido como método “top-down”) ou através da distância percorrida pelos veículos (método “bottom-up”). Segundo o IPCC (2006), o primeiro método é o mais adequado para a estimativa da emissão de CO₂, enquanto que o segundo método é apropriado para a estimativa de CH₄ e N₂O.

No método “top-down”, o consumo de combustível é multiplicado pelo fator de emissão para cada tipo de combustível. O fator de emissão é desenvolvido baseado no poder calorífico do combustível, na fração de combustível que é oxidada e no conteúdo de carbono do combustível. A partir de seu último guia para confecção de inventários o IPCC (2006), eliminou o fator utilizado como estimativa da fração de combustível que era oxidada, que era geralmente em torno de 99%. Atualmente é assumida a oxidação completa do combustível. A quantidade de combustível consumida é considerada como igual à quantidade vendida e a emissão é dada pela seguinte equação:

$$Emiss\tilde{a}o = \sum_a [Comb_a \times FE_a]$$

onde: Comb_a é a quantidade de combustível vendida

FE_a é o fator de emissão, igual ao conteúdo de carbono do combustível multiplicado por 44/12 (relação entre a massa molecular do CO₂ e a massa molecular do átomo de carbono)

a é o tipo de combustível

O fator de emissão deve refletir o conteúdo de carbono do combustível, o que difere consideravelmente dependendo da nação e da origem do combustível. Por esse método as fontes de incerteza são o próprio conteúdo de carbono do combustível, a quantidade de combustível consumido e o fato de se poder considerar uso no setor de transporte de um combustível que pode ter tido sido utilizado para outro propósito, como aquecimento, por exemplo.

Os cálculos das emissões de CO₂ pelo método “bottom-up” podem ser realizados como procedimento adicional ao método “top-down”, desde que existam dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada, qualidade do combustível, consumo, distância média percorrida, fatores de emissão levantados em laboratórios locais, estado de manutenção da frota, etc. (ALVAREZ e LINKE, 2003). Embora o IPCC recomende essa prática como forma de aferição dos cálculos, esse método apresenta mais incertezas que o método “top-down” e, devido à complexidade de levantamento de todos os dados envolvidos, não se consegue chegar ao mesmo resultado

da metodologia “top-down”, simplesmente somando-se todos os setores da metodologia “bottom-up” (MATTOS, 2001)

No método “bottom-up”, para o cálculo a partir da distância percorrida anualmente, é utilizada a expressão a seguir:

$$Emissão = F \times FE \times km_{média}$$

onde:

F é a frota de veículos

FE é o fator de emissão

km_{média} é a distância média percorrida pelo veículo no ano

A CETESB publica anualmente, desde 2002, fatores médios de emissão de CO₂ em g/km e autonomia em km/L, para veículos novos. As médias são calculadas de forma ponderada de cada ano-modelo pelo volume de produção. (CETESB, 2009). A Tabela 6 mostra os valores para os anos de 2005 a 2008.

Tabela 2 – Fatores médios de emissão de CO₂ para veículos leves

Ano – modelo	Combustível	CO ₂ (g/km)	Autonomia (km/L)
2005	Gasolina	192	11,3
	Etanol	160	8,6
	Flex- gasolina	188	11,5
	Flex - etanol	180	7,7
2006	Gasolina	192	11,3
	Etanol	200	6,9
	Flex- gasolina	185	11,7
	Flex - etanol	177	7,8
2007	Gasolina	192	11,3
	Etanol	n.d.	n.d.
	Flex- gasolina	185	11,7
	Flex - etanol	177	7,8
2008	Gasolina	223	9,7
	Etanol	n.d.	n.d.
	Flex- gasolina	185	11,7
	Flex - etanol	187	7,4

Fonte: CETESB, 2009 (Adaptado).

Seria de se esperar que a autonomia e a emissão de CO₂ do veículo “flex” fosse um pouco maior do que o dos veículos dedicados, tanto a etanol quanto a gasolina. Um motor

feito para utilizar exclusivamente a gasolina, tem uma taxa de compressão em torno de 9:1. Um valor maior do que esse é inviável, pois iria ocasionar a auto-detonação do combustível no cilindro. Já um motor feito para utilizar etanol pode ter uma taxa de compressão em torno de 12:1. Essa taxa mais elevada aumenta a eficiência e a potência do motor, compensando em parte o menor poder calorífico do etanol em relação à gasolina. O motor “flex” no entanto tem de funcionar com ambos os combustíveis, e então tem uma taxa de compressão mais próxima de um motor a gasolina. Isso faz que esse motor não seja tão eficiente quanto os motores dedicados², consumindo um pouco mais de combustível e conseqüentemente tendo uma emissão maior de CO₂. Pela Tabela 2, no entanto, não se nota isso, pois se tratam de médias ponderadas e não de uma comparação veículo a veículo. Em 2007 a fabricação dos veículos dedicados a etanol foi interrompida. Assim o valor observado para o ano de 2006 é distorcido pois trata-se do valor do único modelo que ainda era fabricado na época. Ocorre uma distorção também para os valores dos veículos dedicados a gasolina no ano de 2008, pois a partir desse ano, a maioria dos veículos produzidos no país já era de modelos flex, sendo que os veículos dedicados a gasolina eram em grande parte os veículos importados e de maior cilindrada, o que implica em maior consumo de combustível e maior emissão de CO₂.

Esses valores são, no entanto, relativos a emissão direta de CO₂ pelo gás de escapamento dos veículos em um ensaio laboratorial normalizado e não servem para comparação direta com os limites praticados por outros países sem um prévio ajuste.

Primeiramente, deve-se considerar que os ensaios realizados para a obtenção desses valores foram feitos conforme a Norma ABNT NBR 6601 (ABNT, 2005), que considera o mesmo ciclo utilizado nos Estados Unidos, o FTP-75, o qual simula condução urbana. A Legislação dos EUA prescreve limites de autonomia para o ensaio realizado utilizando tanto o ciclo urbano quanto o ciclo estrada. Esse ensaio, combinando os dois ciclos é por vezes denominado CAFE (“Corporate Average Fuel Economy”) e é idêntico ao ensaio prescrito pela Norma brasileira ABNT NBR 7024 (ABNT, 2010). Como os valores mostrados na Tabela 2 foram obtidos em ensaios que atendem a Norma NBR 6601, ou seja apenas percorrendo o ciclo urbano, é preciso encontrar uma forma de converter aqueles valores para valores comparáveis aos obtidos pela Norma NBR 7024. Para isso foram realizados (foi feito por você) 13 ensaios no Laboratório de Veículos da CETESB, todos eles utilizando os ciclos da Norma NBR 7024, e obteve-se uma relação média entre os resultados de autonomia em km/L dos ensaios conforme NBR 7024 e NBR 6601 igual a 1,19 com desvio padrão de 0,04.

² Motores projetados para utilizar um único combustível.

Dessa forma, adotando os fatores de emissão listados na Tabela 2, para o ano de 2006 (para evitar as distorções descritas), podem-se reescrever os valores de autonomia, convertidos para o ensaio NBR 7024 como sendo:

- para veículos a gasolina: 13,4 km/L
- para veículos flex-gasolina: 13,9 km/L
- para veículos flex-etanol: 9,3 km/L

Esses valores podem ser expressos em emissão de CO₂, em g/km, utilizando a equação de cálculo de consumo disponível na Norma NBR 7024. Para efeito de simplificação, sem alteração significativa nos resultados, será considerado que todo o carbono contido no combustível foi oxidado e formou apenas CO₂. Em realidade isso não ocorre pois parte do combustível é transformado em outros compostos, principalmente em hidrocarbonetos e monóxido de carbono. Nos veículos com alto grau de controle de emissões, no entanto, essas emissões são pequenas e a aproximação que se faz não incorre em grande erro. Através desses cálculos obtiveram-se os seguintes resultados:

- para veículos a gasolina: 162,3 g/km
- para veículos flex-gasolina: 156,4 g/km
- para veículos flex-etanol: 155,5 g/km

Neste ponto devemos considerar que parte dessas emissões são devidas a combustão do etanol, seja quando adicionado à gasolina, seja quando utilizado puro nos veículos flex. Há uma razoável polêmica em como se deve contabilizar essas emissões ditas renováveis. Enquanto alguns acreditam que essas emissões simplesmente não devam ser consideradas, há aqueles que crêem que na análise do ciclo total de vida dos biocombustíveis, possa haver mais emissão de GEE do que aquela relativa a utilização do combustível fóssil que foi substituído. Irá se utilizar aqui, a interpretação da Agência Ambiental dos EUA (EPA), que publicou em 2010, estudo sobre combustíveis renováveis, classificando-os quanto ao seu potencial de redução na emissão de GEE. A emissão de GEE pelo ciclo de vida significa que se considera a agregação de toda a emissão desde a obtenção do combustível até a sua utilização final. Isso inclui a emissão direta e as emissões indiretas significativas, o que no caso de biocombustíveis inclui a parcela devida a mudança do uso da terra. Para o caso do etanol oriundo da cana de açúcar, que é o utilizado no Brasil, o órgão americano divulgou que pode ser considerada uma redução de 50% na emissão de GEE, quando de sua utilização (EPA, 2010). Isso significa que 50% da emissão direta de CO₂ pelo gás de escapamento quando se utiliza o etanol, pode ser considerada nula. Esse raciocínio vale tanto para o caso de um veículo flex quando utiliza o etanol quanto para a parcela de etanol presente na gasolina. Assim, diminuindo essas quantidades, em massa, das emissões médias de CO₂, obtem-se:

- para veículos a gasolina: 139,5 g/km

- para veículos flex-gasolina: 134,5 g/km

- para veículos flex-etanol: 77,8 g/km

Existem, no entanto, outros GEE na emissão automotiva, sendo que os principais são o metano e o óxido nitroso. A EPA (2005) considera que se pode assumir, para efeito de estimativa, que 5% das emissões de escapamento são devidas a esses dois gases, já considerando os seus respectivos potenciais de aquecimento global. A estimativa de CO₂ deve então ser multiplicada por 100/95 para incorporar a contribuição desses outros GEE, e o valor passa a ser:

- para veículos a gasolina: 146,8 g/km

- para veículos flex-gasolina: 141,6 g/km

- para veículos flex-etanol: 81,9 g/km

Para poder comparar as emissões estimadas com os limites já estabelecidos em outros países, utilizaremos os fatores desenvolvidos por An et al (2007). O fator quando utilizado para comparação de limites entre países que utilizam o CAFE e os que utilizam o NEDC, é um fator que majora o limite pelo CAFE. Como se está comparando, não um limite, mas uma estimativa de emissão contra certos limites estabelecidos, o fator deve ser usado de forma inversa, como um redutor. O fator utilizado relacionando os valores obtidos nos dois tipos de ensaios foi de 1,13. Dessa forma, os valores estimados finais, expressos como equivalentes aos obtidos no ciclo europeu NEDC, são:

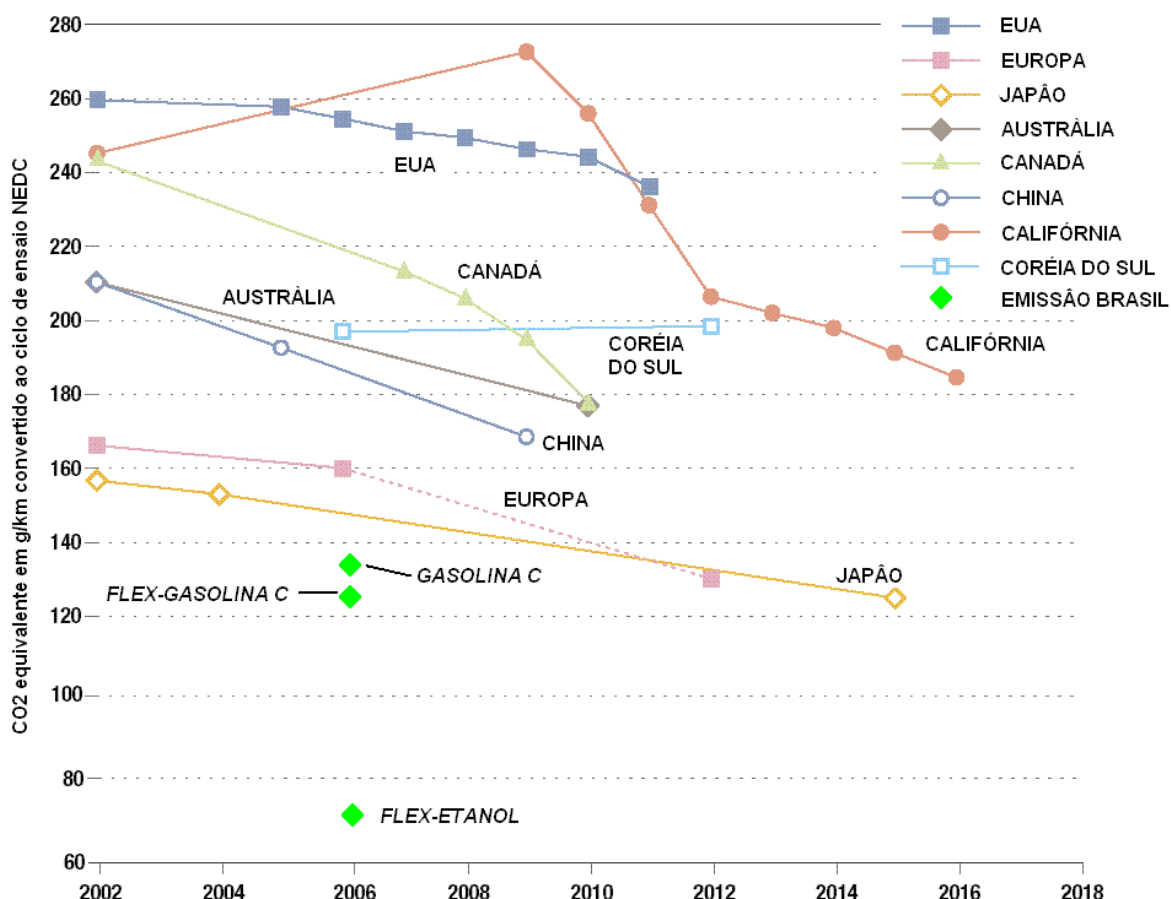
- para veículos a gasolina: 129,9 g/km

- para veículos flex-gasolina: 125,3 g/km

- para veículos flex-etanol: 72,5 g/km

A Figura 3 mostra esses valores em conjunto com os limites de emissão em g/km em outros países ou regiões. Observa-se que a emissão média estimada dos veículos da frota brasileira está igualada ao menor limite ainda previsto, no caso da utilização da gasolina como combustível, e muito abaixo desses limites para o caso da utilização do etanol como combustível nos veículos flex.

Figura 3 – Comparação da estimativa de emissão de GEE pelos veículos brasileiros com os limites de emissão de outros países ou regiões atuais e projetados, de 2002 a 2018.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muito embora a emissão de GEE por veículos seja apenas uma fração do total da emissão global, o aumento da frota mundial de veículos pode tornar essa fonte de emissão cada vez mais significativa. Várias nações têm empregado esforços na redução de GEE de uma variedade de setores e fontes. A utilização de meios tecnológicos para controle dessas emissões, bem como o uso de combustíveis alternativos e não fósseis, independente da existência de legislação para tal pode representar uma grande vantagem competitiva tanto para empresas isoladamente quanto para as nações.

São necessários esforços para a melhoria da eficiência energética dos veículos, por parte

da indústria automotiva, tanto de forma voluntária como por imposição legal, tais como a diminuição de peso dos veículos, otimização do processo de combustão, redução do deslocamento volumétrico dos motores empregados, entre outros avanços tecnológicos.

Também é preciso ter em mente, tanto na confecção de inventários quanto na elaboração de políticas públicas no setor, a análise do ciclo de vida dos combustíveis utilizados, no intuito de, tendo-se uma visão global da questão, balancear os esforços na mitigação da emissão dos GEE para se alcançar máxima eficiência.

O principal setor em relação à emissão de gases de efeito estufa no Município de São Paulo é o energético e dentro deste o de transporte (SÃO PAULO, 2005). No Brasil a fonte predominante da energia atualmente utilizada no setor de transportes é a fóssil, derivada de petróleo. As alternativas existentes de substituição dos combustíveis fósseis no transporte são difíceis de serem implementadas em curto prazo, além de exigirem infra-estrutura específica. Mesmo diante dessas dificuldades é de muita importância que se busque o desenvolvimento e maior utilização de meios de transporte com combustíveis mais limpos e renováveis, diferente do que foi o caminho adotado pelos países desenvolvidos, primordialmente apoiado no uso intensivo de fontes de energia fósseis. O Brasil tem sido um exemplo para o mundo em termos de matriz energética global renovável (GOLDEMBERG e LUCON, 2007) e já deu grande passo para uma matriz energética predominantemente renovável no setor de transporte, com a introdução do etanol na gasolina, do carro a etanol e mais recentemente do biodiesel.

O governo e a sociedade devem estar conscientes em relação ao elo entre as questões ambientais e a economia, e envidar esforços na tentativa de construir um modo de vida menos consumista, buscando escolhas tecnológicas que possam aliar desenvolvimento com consumo menor e racional de energia.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6601**: veículos rodoviários automotores leves - determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7024**: veículos rodoviários automotores leves – medição do consumo de combustível. Rio de Janeiro, 2010.

ALVAREZ JR., O.M.; LINKE, R.R.A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases de efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2003. 12 p. Apresentado no SIMEA: Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, 2003. Disponível em : <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/PDF/inventario_efeitoestufa.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

AN, F., SAUER, A. Comparison of passenger vehicle fuel economy and greenhouse gas emission Standards around the world. Pew Center on Global Climate Change. Arçington, USA, 2004.

AN, F. et al. Passenger vehicle greenhouse gas and fuel economy Standards: A global update. ICCT – International Council on Clean Transportation. Washington, DC, 2007.

ANDRADE, M.F. Comprometimento da qualidade do ar associado às fontes locais na megacidade de São Paulo, Brasil. **Interfacehs**: Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, São Paulo, v. 2, n.5, dez. 2007. Disponível em: <http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=5&cod_artigo=92&pag=0>. Acesso em: mar. 2009.

BENNETT, J et al. **The solar system**: the cosmic perspective. 3rd ed. San Francisco: Pearson Education, 2004.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília, DF, 2002.

CARB - California Air Resources Board. **Climate change emissions standards for vehicles** – actions to reduce greenhouse gases from cars and trucks. Califórnia, 2004.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2008**. São Paulo, 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. **Climate change and public health**. Washington, DC, 1997. (EPA 236-F-97-005).

EPA - Environmental Protection Agency. **Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle**. Washington, DC, 2005. (EPA 420-F-05-004).

EPA - Environmental Protection Agency. **EPA lifecycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable fuels**. Washington, DC, 2010. (EPA 420-F-10-006).

GOLDEMBERG, José, LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Revista de Estudos Avançados, Instituto de Estudos Avançados – IEA, v. 21, n. 59, p. 7 – 20, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: Synthesis Report. Working Group I. **Technical summary**. Geneva, 2001.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: mobile combustion - road transportation. Geneva, 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007**: synthesis report - summary for policymakers. Geneva, 2007.

MATTOS, Laura Bedeschi Rego de. **A importância do setor de transportes na emissão de gases de efeito estufa**: o caso do município do Rio de Janeiro. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MOTALLEBI, Nehzat et al. Climate change impact on California on-road mobile source emissions. **Climatic Change**, v. 87, Supplement 1, p. 293-308, march, 2008.

NOBRE, Paulo. Aquecimento global, oceanos e sociedade. **Interfacehs**: Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, São Paulo, v. 3, n. 1, jan./abr. 2008. Disponível em: <http://www.interfacehs.sp.senac.br/BR/artigos.asp?ed=6&cod_artigo=132>. Acesso em: mar. 2009.

SÃO PAULO (Cidade). SVMA – Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa no município de São Paulo**: síntese. São Paulo, 2005.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **National Greenhouse Gas Inventory Data for the period 1990-2004**. United Nations, 2006.

WHO – World Health Organization. **Climate change and human health**. Geneva, 2003.