

METODOLOGIA SIMPLIFICADA DE CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA DE FROTAS DE VEÍCULOS NO BRASIL

Eng. Olimpio de Melo Álvares Jr.¹

Fís. Renato Ricardo Antonio Linke²

Sumário

Como órgão de referência nacional delegado pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA para coordenação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB é freqüentemente instada a estimar as emissões de gases e partículas poluentes emitidas por frotas de veículos em condições reais de utilização. Mais recentemente, com o aumento do interesse pela questão das mudanças climáticas, observa-se uma crescente demanda por informações relativas a inventários de emissões de gases do efeito estufa - GEE de fontes móveis.

Os ensaios laboratoriais realizados sistematicamente pela CETESB há mais de uma década visando a certificação do atendimento da regulamentação de controle de emissões veiculares para todos os modelos de veículos comercializados no Brasil, possibilitou a criação de um banco de dados de fatores de emissão e consumo de veículos leves do ciclo Otto, segundo metodologia de teste que simula condições reais de uso.

Para os veículos a diesel, a CETESB somente acompanha os ensaios de emissão realizados pelos próprios fabricantes segundo o método dos 13 pontos, que não é correlacionável com as condições reais de utilização dos veículos. Daí a dificuldade que se apresenta nos cálculos de inventários de emissão de poluentes por veículos a diesel a partir de fatores de emissão (mais próximos quanto possível da realidade) expressos em unidade de massa/distância percorrida – normalmente, em g/km. Para isso, seria necessário realizar ensaios específicos para o levantamento de fatores de emissão de veículos a diesel pesados sobre dinamômetro de chassi (rolos). Entretanto, atualmente não há no Brasil laboratórios com essa capacitação. Opta-se, então, no caso dos veículos a diesel, pelo uso exclusivo de fatores de emissão internacionais baseados em dados bibliográficos.

O presente trabalho visa o desenvolvimento de metodologia simplificada padronizada para o cálculo das emissões de GEE de veículos automotores rodoviários, para todos os combustíveis comerciais e todas as categorias de veículos em circulação no Brasil. Serão apresentados os métodos de cálculos de inventários propostos pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* e, adicionalmente, serão propostos métodos alternativos para a realização desses cálculos a partir dos dados locais disponíveis de fatores de emissão e composição dos combustíveis comerciais.

1- Considerações gerais

Segundo as diretrizes da publicação “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, as emissões de gases do efeito estufa de fontes móveis são melhor calculadas pela

¹ Gerente do Setor de Operação e Fiscalização da CETESB (Fontes Móveis)

² Gerente da Divisão de Engenharia e Certificação da CETESB (Fontes Móveis)

quantidade de combustível queimado, seu teor carbônico e as emissões correspondentes de CO₂ (método *Tier-1*³ ou *top-down*).

As emissões veiculares de metano - CH₄ contidas nos hidrocarbonetos não queimados - HC, de óxido nitroso - N₂O, bem como as de monóxido de carbono - CO e óxidos de nitrogênio - NO_x, que também contribuem direta ou indiretamente com o efeito estufa, são mais difíceis de estimar com precisão. Seus fatores de emissão típicos, além de serem extremamente reduzidos, quando comparados aos de CO₂, dependem de detalhado conhecimento da tecnologia de motorização, das condições de manutenção dos motores, da qualidade do combustível e das diversas características da operação. No entanto, esses cálculos podem ser feitos a partir desses fatores de emissão e da quilometragem média percorrida - ou da quantidade de combustível consumido - de cada subgrupo de veículos da frota com características similares (método *Tier-2* ou *bottom-up*), desde que esses dados existam e sejam confiáveis. O IPCC recomenda que, nesses casos, os cálculos sejam feitos apenas para as “categorias-chave” (*key-source categories*), que representam a parcela predominante das emissões de GEE no universo considerado.

O cálculo do inventário dos GEE pela quilometragem anual e pelo consumo teórico de combustível, em litros por quilômetro - ou a partir dos fatores de emissão - (método *bottom-up*), pode ser menos preciso que pelo consumo global anual de combustível (*top-down*). A escolha da metodologia dependerá da qualidade dos dados primários locais existentes. O IPCC incentiva os especialistas a desenvolverem fatores de emissões locais para serem utilizados como alternativa adicional no cálculo do inventário de GEE, visando à aferição dos resultados e, conseqüentemente, à melhoria da qualidade da informação.

Segundo o relatório do IPCC, o CO₂ é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis. Os especialistas do IPCC julgam que a incerteza dos cálculos para esse gás é da ordem de 5%, oriunda principalmente da operação, mais do que das imprecisões nos fatores de emissão. Por sua vez, o N₂O e o CH₄ contribuem, grosso modo, com cerca de até 3% e 1%, e as incertezas são de cerca de 50% e 40%, respectivamente, devidas principalmente aos fatores de emissão.

Uma pequena porção do carbono de processos de combustão escapa à oxidação, na forma de CO e HC, mas a maior parte dessa é oxidada posteriormente na atmosfera. O IPCC assume que a pequena parcela remanescente que não se oxida, inferior a 1% do carbono submetido à queima, é armazenada permanentemente na forma de material particulado e cinzas.

Dessa forma, pela sua predominância e incertezas inerentes a esses cálculos, pela simplicidade e relativa confiabilidade do método e, em muitos casos, pela inexistência de fatores de emissão precisos para N₂O e CH₄, considera-se como boa prática na elaboração de inventários de GEE, a estimativa das emissões baseada somente nos dados relativos a CO₂.

Na ausência de fatores de emissão locais, aqueles para fontes móveis (*road vehicles*) recomendados no *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual – Volume 3 - Energy* podem ser utilizados como referência. Entretanto, devem ser sempre levadas em consideração as diferenças entre a composição dos combustíveis automotivos utilizados no Brasil - especialmente para veículos a gasool (gasolina do tipo C com 22 a 25% de etanol anidro) e etanol hidratado puro - e a dos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE e Estados Unidos, de onde se originam os fatores de emissão do IPCC.

³ *Tier 1 e 2 correspondem neste texto à nomenclatura específica utilizada pelo IPCC referente às diferentes metodologias de cálculo de inventários de emissões de GEE, nada tendo haver com o “Tier” utilizado nas categorias de controle da legislação de emissões veiculares nos Estados Unidos.*

2- Método *top-down*⁴

Conversão para unidade comum

A estimativa das emissões de GEE pelo método “*top-down*” recomendada pelo Ministério das Minas e Energia - MME em 1999 no Balanço Energético Nacional – BEN, prevê a conversão de todas as medidas de consumo de combustível para uma unidade comum:

$$\boxed{CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr}} \quad \text{onde,}$$

- $1 \text{ tEP}_{(\text{Brasil})} = 45,2 \times 10^{-3} \text{ TJ}$ (tera-joule = 1012 J);
- CC = consumo de energia em TJ;
- CA = consumo de combustível (m^3 , l, kg);
- F_{conv} = fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP, com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível (valores podem variar de ano para ano, de acordo com a publicação anual do BEN pelo MME www.mme.gov.br). Os valores do ano 2000 dos F_{conv} são: gasolina ($0,771 \text{ tEP/m}^3$); álcool anidro ($0,520 \text{ tEP/m}^3$); álcool hidratado ($0,496 \text{ tEP/m}^3$); diesel ($0,848 \text{ tEP/m}^3$); gás natural seco ($0,857 \text{ tEP/10}^3 \text{ m}^3$);
- F_{corr} = fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior). No BEN, o conteúdo energético tem como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI. Para combustíveis sólidos e líquidos o $F_{corr} = 0,95$ e para combustíveis gasosos, o $F_{corr} = 0,90$, conforme Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

Conteúdo de carbono

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada conforme segue:

$$\boxed{QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3}} \quad \text{onde,}$$

- QC = conteúdo de carbono expresso em GgC;
- CC = consumo de energia em TJ;
- F_{emiss} = fator de emissão de carbono (tC/TJ). Os valores do IPCC, 1996 e MCT, 1999 dos F_{emiss} são: gasolina ($18,9 \text{ tC/TJ}$); álcool anidro ($14,81 \text{ tC/TJ}$); álcool hidratado ($14,81 \text{ tC/TJ}$); diesel ($20,2 \text{ tC/TJ}$); gás natural seco ($15,3 \text{ tC/TJ}$);
- $10^{-3} = \text{tC/GgC}$

⁴ As descrições dos métodos “*top-down*” e “*bottom-up*” foram extraídas da tese de mestrado “A importância do setor de transportes na emissão de gases de efeito estufa – o caso do Município do Rio de Janeiro” defendida em 2001 por Laura Bedeschi Rego de Mattos da UFRJ – COPPE.

Emissões de CO₂

Finalmente, as emissões de CO₂ podem ser calculadas de acordo com a expressão abaixo, lembrando que em função dos respectivos pesos moleculares, 44 t CO₂ corresponde a 12 t de C ou 1t CO₂ = 0,2727 t C.

$$\boxed{ECO_2 = EC \times 44/12} \text{ onde,}$$

- ECO₂ = emissão de CO₂;
- EC = emissão de C.

3- Método *bottom-up*⁴

Os cálculos das emissões de gases do efeito estufa pelo método *bottom-up* podem ser realizados como procedimento adicional ao método *top-down*, desde que hajam dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão levantados em laboratórios locais, estado de manutenção da frota etc, para cada subgrupo de veículos com características similares. O IPCC recomenda essa prática como forma de aferição dos cálculos e conseqüente melhoria da qualidade da informação.

Os cálculos das emissões de CO₂ devem ser feitos conforme segue:

$$\boxed{Emiss_i = FE_{iabc} \times Atividade_{abc}} \text{ onde,}$$

- Emiss_i = emissões de um gás i;
- FE_i = fator de emissão do gás i;
- Atividade = quantidade de energia consumida ou distância percorrida;
- i = CO₂, CO, NO_x, CH₄, MP, N₂O;
- a = tipo de combustível;
- b = tipo de veículo;
- c = tecnologias de controle de emissões.

Para o cálculo a partir da quilometragem anual deve ser utilizada a seguinte expressão:

$$\boxed{Emiss_i = F \times FE_i \times km \text{ média}_a} \text{ onde,}$$

- F = número de veículos da frota;
- km média_a = distância média percorrida no ano.

4- Estimativa simplificada de emissões de GEE veicular

4.1- Gasool

4.1.1- Top-down

Considerando que o gasool (gasolina do tipo C) tem p% (p varia conforme determinações da Agência Nacional do Petróleo - ANP) de etanol anidro adicionado à gasolina, pode-se determinar as emissões de CO₂ pelo método *top-down* descrito no item 2, a partir do consumo total de gasool em m³, do fator de conversão - Fconv ponderado do gasool, expresso em tEP/m³, e do fator de emissão do gasool - Femiss_{gasool}, expresso em tC/TJ, calculados a partir da proporção de etanol adicionado à gasolina:

$$\mathbf{Fconv\ ponderado_{gasool} = [Fconv_{gasol} \times (100-p) + Fconv_{álcool\ anidro} \times p] / 100}$$

$$\mathbf{Femiss\ ponderado_{gasool} = [Femiss_{gasol} \times (100-p) + Femiss_{álcool\ anidro} \times p] / 100}$$

4.1.2- Bottom-up (metodologia alternativa - adicional ao top-down)

Os fatores médios de emissão de CO₂ para veículos leves de passageiros equipados com motores do ciclo Otto movidos a gasool apresentados a seguir, foram obtidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB em ensaios de emissão e consumo padronizados, conforme o ciclo brasileiro de condução definido pela norma NBR-6601, similar ao método americano FTP-75 (*Federal Test Procedure*), mediante o uso de gasolina aditivada com 22% de etanol anidro (combustível padrão para ensaios de emissão para fins de certificação do atendimento da legislação ambiental brasileira). Esse ciclo simula a viagem média dos veículos leves de passageiros em deslocamentos urbanos, combinados com estrada ou vias expressas.

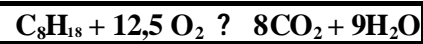
Os fatores de emissão de CO₂ de origem fóssil dos veículos a gasool no Brasil são mais baixos, quando comparados àqueles dos veículos movidos a gasolina pura, uma vez que o etanol anidro (aditivo com função oxigenante e anti-detonante) misturado à gasolina tem sua origem em fonte de energia renovável e não deve ser computado para fins de inventário de emissões de GEE. Entretanto, o IPCC recomenda que a parcela de CO₂ de origem renovável seja relatada. Da mesma forma, é recomendável que as emissões evitadas de CO₂ fóssil, que seriam originadas se os veículos operassem com gasolina pura, deve ser estimada para fins de verificação do benefício do uso das fontes alternativas de energia, em relação às mudanças climáticas.

Estequiometria da combustão do gasool

A partir das densidades, d_{gasolina} = 0,740 kg/l e d_{etanol} = 0,791 kg/l, na queima de 1 litro de gasool com 22% de etanol (E22) temos:

$$\mathbf{0,78 \times d_{gasolina} + 0,22 \times d_{etanol} \quad ? \quad 0,78 \times 0,740 + 0,22 \times 0,791 = 0,577 \text{ kg } C_8H_{18} + 0,174 \text{ kg } C_2H_6O}$$

Para a gasolina pura, assumida como sendo composta predominantemente por octano (a exemplo do procedimento do inventário nacional de fontes móveis calculado pelo MCT), teremos a seguinte relação de massas (em gramas) na queima de um litro:

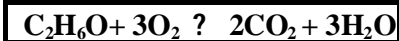


$$(12 \times 8 + 1 \times 18) + 12,5(16 \times 2) \rightarrow 8(12 + 16 \times 2) + 9(2 \times 1 + 16)$$

(114g C₈H₁₈) + (400g O₂) → (352g CO₂) + (162g H₂O), então considerando um litro de gasool:

0,577 kg de gasolina corresponde a 1,766 kg de CO₂ (porção fóssil)

Para o etanol anidro, teremos a seguinte relação de massas (em gramas) na queima de um litro:



$$(12 \times 2 + 1 \times 6 + 16) + 3(16 \times 2) \rightarrow 2(12 + 16 \times 2) + 3(2 \times 1 + 16)$$

(46g C₂H₆O) + (96g O₂) → (88g CO₂) + (54g H₂O), então considerando um litro de gasool:

0,174 kg de etanol anidro corresponde a 0,332 kg de CO₂ (porção renovável)

A massa total de CO₂ emitida na queima de um litro de gasool E22 é 2,098 kg. Portanto, a porção de CO₂ fóssil da queima dos 78% de gasolina corresponde a 84,2% do total e a porção renovável dos 22% de etanol anidro corresponde a 15,8% do total de CO₂ emitido.

Repetindo-se os mesmos cálculos para o gasool com 25% de etanol anidro (E25), conclui-se que a porção de CO₂ fóssil da queima dos 75% de gasolina corresponde a 81,9% do total e a porção renovável dos 25% de etanol anidro corresponde a 18,1% do total de CO₂ emitido.

Para o gasool com composições distintas, mas próximas de 22% ou 25%, admite-se o cálculo desses percentuais por interpolação.

Admitindo-se que a composição da gasolina brasileira média é C₇H_{13,2}, chega-se a um percentual de 84,56% de CO₂ fóssil correspondente à gasolina e 15,44% de CO₂ renovável correspondente ao etanol anidro, para o gasool com E22. Com essa diferença de cerca de 1% em relação ao cálculo feito considerando a gasolina como octano, recomenda-se, por simplicidade, o uso do octano como referência para os cálculos estequiométricos.

Fatores de emissão empíricos de CO₂ fóssil para o gasool

A Tabela 1 abaixo apresenta os valores médios dos fatores de emissão de CO₂ total medidos no laboratório de emissões veiculares da CETESB em veículos leves a gasool E22 submetidos a ensaios de emissão para fins de certificação do atendimento da legislação ambiental (PROCONVE). Considerando o E22, os fatores de emissão de CO₂ de origem fóssil apresentam uma redução de 15,8% em relação aos fatores de emissão de CO₂ total emitido apresentados na tabela.

Tabela 1- Fatores de emissão de CO₂ para veículos a gasool (kg CO₂/km)

Ano-modelo	Fatores de Emissão Total (kgCO ₂ /km)	Fatores de Emissão Fóssil (kgCO ₂ /km)	Distância Média Percorrida Anualmente* (km)
anterior a 92	0,175	0,147	9.500
92	0,193	0,163	13.000
93	0,193	0,163	13.000
94	0,193	0,163	13.000
95	0,207	0,174	14.000
96	0,214	0,180	14.000
97	0,217	0,183	14.000
98	0,217	0,183	15.000
99	0,217	0,183	17.000
2000	0,217	0,183	19.000
2001	0,217	0,183	22.000

** Utilizada no cálculo do inventário de emissões anuais da frota de veículos leves de uso individual da Região Metropolitana de São Paulo. Na ausência de dados mais precisos de quilometragem anual, recomenda-se a utilização desses valores na elaboração de inventários.*

Nota 1: Os valores dos fatores de emissão de CO₂ em g/km apresentados na Tabela 1 representam as médias da produção nacional a cada ano dos veículos leves de passageiros novos com cilindrada igual ou superior a 1000 c.c., ponderadas pelo volume de vendas de cada modelo. Só podem ser aplicados para o cálculo das emissões do CO₂ pelo método "bottom-up" para veículos utilizando a mistura E22. Recomenda-se não utilizar esses fatores como base para o cálculo de outros fatores de emissão destinados a estimativas de emissões de veículos que utilizam misturas de diferentes percentuais de etanol anidro.

Nota 2: Observa-se na Tabela 1, que os fatores de emissão de CO₂ aumentam para os veículos mais novos. Isso se deve à ação do PROCONVE, que induziu a implementação de melhorias tecnológicas nos veículos para o atendimento de padrões de emissão de poluentes mais rigorosos. A melhoria da eficiência dos motores e os catalisadores transformam as emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos em dióxido de carbono e água, aumentando, portanto, as emissões de CO₂ dos veículos mais novos.

Emissões evitadas com o uso do álcool anidro misturado à gasolina

Para estimar as emissões evitadas de CO₂ fóssil em decorrência do uso de etanol anidro misturado à gasolina, é necessário saber quais seriam as emissões de CO₂ produzidas se a mesma frota fosse composta por veículos movidos a gasolina pura e rodasse a mesma distância percorrida pelos veículos a gasool. O problema se resume em determinar o volume de gasolina que seria utilizado nesse percurso, que é diferente do volume de gasool utilizado, em razão dos diferentes potenciais energéticos dos dois combustíveis em questão.

Sabe-se que o calor específico da gasolina pura é 10100 kcal/kg e o do etanol é 6500 kcal/kg. Portanto, a energia contida em cada litro de combustível consumido, é de:

$10100 \text{ kcal/kg} \times 0,740 \text{ kg/l} = 7474 \text{ kcal/l}$ para a gasolina e,

$6500 \text{ kcal/kg} \times 0,791 \text{ kg/l} = 5141 \text{ kcal/l}$ para o etanol

Para um veículo movido a gasool E22, admite-se que a energia contida em um litro de combustível será proporcional aos respectivos volumes de gasolina e etanol anidro:

$$0,78 \times 7474 \text{ kcal/l} + 0,22 \times 5141 \text{ kcal/l} = 6961 \text{ kcal/l}$$

A relação entre as energias contidas em um litro de gasool e gasolina pura é, portanto: $6961/7474 = 0,9314$.

Daí, conclui-se finalmente que, para um mesmo volume de combustível consumido, o trabalho realizado (ou a distância percorrida) por um veículo a gasool pode ser até 6,86 % menor que aquele realizado pelo veículo a gasolina pura.

Para o cálculo das emissões evitadas, deve-se, portanto:

- 1- Calcular pelo método “*top-down*” as emissões totais de CO₂ fóssil para um volume total de gasolina pura 6,86% menor que o volume total de gasool consumido pela frota em questão.
- 2- Calcular as emissões fósseis de CO₂ da frota a gasool.
- 3- Calcular a diferença das emissões de CO₂ fóssil nesses dois cenários.

4.2- Etanol hidratado

Bottom-up (metodologia alternativa - adicional ao top-down)

Os fatores médios de emissão de CO₂ para veículos leves de passageiros equipados com motores do ciclo Otto movidos a etanol hidratado puro apresentados a seguir, foram obtidos pela CETESB em ensaios de emissão e consumo padronizados, conforme o ciclo de condução da norma NBR-6601. Esse ciclo simula a viagem média de veículos leves de passageiros em deslocamentos urbanos combinados com estrada ou vias expressas.

Deve-se considerar as emissões dos veículos a álcool como emissões renováveis, uma vez que o balanço dessas emissões no ciclo de produção e consumo de álcool é considerado nulo e, portanto, não contribui para o aumento da carga de GEE na atmosfera.

Tabela 2- Fatores de emissão de CO₂ para veículos a álcool (kg CO₂/km)

Ano-modelo	Fatores de Emissão (kgCO ₂ /km)	Distância Média Percorrida Anualmente* (km)
anterior a 92	0,174	9.500
92	0,166	13.000
93	0,166	13.000
94	0,166	13.000
95	0,165	14.000
96	0,173	14.000
97	0,175	14.000
98	0,175	15.000
99	0,175	17.000
2000	0,175	19.000
2001	0,175	22.000

* Sugerida para inventários de frota de veículos leves de uso individual quando valores precisos não são conhecidos

Emissões evitadas com o uso do álcool hidratado puro como combustível autoimóvel

Para estimar as emissões evitadas de CO₂ fóssil em decorrência do uso de etanol hidratado puro misturado à gasolina, é necessário saber quais seriam as emissões de CO₂ produzidas se a mesma frota fosse composta por veículos movidos a gasolina pura e rodasse a mesma distância percorrida pelos veículos a álcool. O problema se resume em determinar o volume de gasolina que seria utilizado nesse percurso, que é diferente do volume de etanol hidratado utilizado, em razão dos diferentes potenciais energéticos dos dois combustíveis em questão.

Sabe-se que o calor específico da gasolina pura é 10100 kcal/kg e o do etanol é 6500 kcal/kg. Portanto, a energia contida em cada litro de combustível consumido, é de:

$$10100 \text{ kcal/kg} \times 0,740 \text{ kg/l} = 7474 \text{ kcal/l} \text{ para a gasolina e,}$$

$$6500 \text{ kcal/kg} \times 0,791 \text{ kg/l} = 5141 \text{ kcal/l} \text{ para o etanol}$$

A relação entre as energias contidas em um litro de etanol hidratado e gasolina pura é, portanto: $5141/7474 = 0,6879$.

Daí, conclui-se finalmente que, para um mesmo volume de combustível consumido, o trabalho realizado (ou a distância percorrida) por um veículo a álcool pode ser até 31,21 % menor que aquele realizado pelo veículo a gasolina pura.

Para o cálculo das emissões evitadas, deve-se, portanto calcular pelo método “top-down” as emissões totais de CO₂ fóssil para um volume total de gasolina pura 31,21% menor que o volume total de etanol hidratado consumido pela frota em questão.

4.3- Diesel

Bottom-up (alternativa adicional ao top-down)

Uma vez que não existem fatores de emissão levantados localmente, a estimativa das emissões de GEE da frota diesel de ônibus, microônibus e caminhões em circulação no Brasil deve ser feita preferencialmente a partir dos fatores de emissão de CO₂ para veículos pesados europeus com autonomia/consumo assumido de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km, conforme apresentados na tabela 1-39 do *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual – Volume 3 – Energy*, uma vez que a tecnologia de motorização utilizada no Brasil se assemelha mais à dos veículos que circulam na Europa do que a dos veículos americanos.

- Fator de emissão de CO₂ para pesados a diesel: 770 g/km;
- Fator de emissão de CO₂ para pesados a diesel: 3140 g/kg de combustível;
- Fator de emissão de CO₂ para pesados a diesel: 74 g/MJ.

Para categorias de veículos diesel de menor porte, tais como as peruas e camionetas, os fatores de emissão de CO₂ da tabela 1-38 devem ser usados. O consumo assumido para essas categorias de veículos é de 9,2 km/l ou 10,9 l/100km.

- Fator de emissão de CO₂ para pesados a diesel: 280 g/km;
- Fator de emissão de CO₂ para pesados a diesel: 3140 g/kg de combustível;
- Fator de emissão de CO₂ para pesados a diesel: 74 g/MJ.

Obs: Para fins de conversão dos fatores de emissão acima em base de volume de combustível consumido, a densidade do diesel comercial no Brasil está na faixa de 0,82 a 0,88 kg/l. A menos que exista informação precisa sobre a densidade média dos lotes de diesel consumidos, sugere-se a adoção do valor central da faixa, a saber, 0,85 kg/l.

4.4 Gás Natural

Bottom-up (alternativa adicional ao top-down)

As emissões de CO₂ dos veículos movidos a gás natural são menores que as dos equivalentes a gasolina e diesel, uma vez que o metano (principal componente do gás natural) tem menor teor carbônico por unidade de energia produzida.

Da mesma forma que para os veículos diesel, devem ser utilizados os fatores de emissão para os veículos a gás natural disponíveis na bibliografia. Esses fatores, recomendados pelo IPCC, baseiam-se, para veículos leves de passageiros do ciclo Otto, em motores a gasolina equipados com kits de conversão. Para veículos pesados, o IPCC toma como base motores diesel reconfigurados para operação em ciclo Otto, usando gás natural.

Os fatores de emissão são os representativos de veículos a gás natural americanos da tabela 1-43 do *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual – Volume 3 – Energy*, conforme resumidos abaixo:

Veículos de passageiros a gás natural com tecnologia avançada - consumo assumido de 14,9 km/Nm³

- Fator de emissão de CO₂: 133 g/km;
- Fator de emissão de CO₂: 2750 g/kg de combustível;
- Fator de emissão de CO₂: 56,1 g/MJ.

Veículos de passageiros a gás natural sem tecnologia avançada - consumo assumido de 6,5 km/Nm³

- Fator de emissão de CO₂: 305 g/km;
- Fator de emissão de CO₂: 2750 g/kg de combustível;
- Fator de emissão de CO₂: 56,1 g/MJ.

Veículos pesados a gás natural com tecnologia avançada - consumo assumido de 3,6 km/Nm³

- Fator de emissão de CO₂: 550 g/km;
- Fator de emissão de CO₂: 2750 g/kg de combustível;
- Fator de emissão de CO₂: 56,1 g/MJ.

Veículos pesados a gás natural sem tecnologia avançada - consumo assumido de 2,2 km/Nm³

- Fator de emissão de CO₂: 900 g/km;
- Fator de emissão de CO₂: 2750 g/kg de combustível;
- Fator de emissão de CO₂: 56,1 g/MJ.

Obs: Para fins de conversão dos fatores de emissão acima em base de volume de combustível consumido, a densidade do gás natural é de 0,74 kgNm³, conforme informação da Petrobras à CETESB.

5- Conclusão

Para estimar as emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos em circulação no Brasil, para veículos a gasool, álcool, diesel e gás natural, recomenda-se a realização dos cálculos segundo as etapas descritas no item 4. Sempre que possível, desde que os dados primários disponíveis sejam disponíveis e confiáveis, utilizar os dois métodos (*top-down* e *bottom-up*) para aferição da estimativa e conseqüente melhoria da qualidade da informação.

Referências bibliográficas

- 1- *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.*
- 2- *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual – Volume 3 – Energy.*
- 3- Tese de mestrado “A importância do setor de transportes na emissão de gases de efeito estufa – o caso do Município do Rio de Janeiro” defendida em 2001 por Laura Bedeschi Rego de Mattos da UFRJ – COPPE.
- 4- Ministério das Minas e Energia - MME em 1999 no Balanço Energético Nacional – BEN www.mme.gov.br
- 5- Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT www.mct.gov.br