

BRevê: uma metodologia objetiva de cálculo de emissões para a frota brasileira de veículos

BRevê: an objective approach to calculate emission rates for the Brazilian vehicle fleet characteristics

Diana Maria Cancelli¹, Nelson Luís Dias²

RESUMO

Nos últimos anos, a preocupação com o aumento das emissões de poluentes por veículos automotores tem aumentado. No Brasil há diversas regulamentações no sentido de controlar essas emissões. A quantificação dos poluentes emitidos, além de ser um instrumento de gestão ambiental, também é item necessário para atender à legislação. No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente fez um levantamento geral das emissões veiculares e como resultado apresentou, no início de 2011, o Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Nesse inventário são apresentados fatores de emissão para diferentes poluentes, combustíveis, e categorias de veículos. Com base nesses fatores, e tendo como objetivo facilitar o cálculo das emissões de poluentes por veículos automotores, neste trabalho é apresentada uma metodologia (simplificada) e um programa de computador (*BRevê.py*) capaz de calcular as emissões veiculares de frotas brasileiras de veículos. O programa apresentado possui código aberto e livre e pode ser solicitado aos autores via e-mail. Para demonstrar a facilidade de aplicação do programa desenvolvido, um exemplo simplificado, bem como seus resultados, são apresentados.

Palavras-chave: emissão veicular; fatores de emissão; modelagem ambiental.

ABSTRACT

Recently, the vehicle emissions concern has been increasing. In Brazil there are several regulatory landmarks to control these emissions. Pollutant emission estimation is not only necessary for environmental management but also to meet specific legislation. A workgroup under the guidance of the Brazilian Ministry of the Environment has undertaken a wide effort to estimate emissions from vehicles; as a result, in 2011 the First National Atmospheric Emissions from Road Vehicles Inventory was published. In this inventory, emission factors are presented for different types of fuels and vehicle categories. Based on these factors and aiming at facilitating road vehicle pollutant emission calculation, we have developed a simplified methodology and a software (*BRevê.py*) to calculate Brazilian vehicle fleet emissions. The resulting software is a free and open-source software, available by email request. In order to demonstrate how easy it is to use the software, a simplified example and the corresponding results are presented in this paper.

Keywords: vehicle emission; emission factors; environmental software.

INTRODUÇÃO

Com o aumento do número de veículos automotores em circulação, se torna maior a preocupação com a emissão de poluentes e suas consequências, sejam elas relacionadas à saúde das pessoas, qualidade do ar ou contribuição ao efeito estufa. O Brasil possui uma extensa lista de leis e resoluções relacionadas à qualidade do ar e, mais especificamente, com as emissões de poluentes por veículos automotores, que vêm sendo estudadas, desenvolvidas e atualizadas desde os anos 1980. Programas como o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e o Programa de Controle da Poluição

do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) foram criados a partir dessas leis (MMA, 2011).

O PROCONVE, criado pela Resolução nº 18/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foi desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) durante os anos 1980 e, posteriormente, foi complementado por outras resoluções CONAMA e instruções normativas, tendo sido consolidado pela Lei Federal nº 8.723, de 29 de outubro de 1993. Dentre as regulamentações dessa resolução foram estabelecidos limites máximos de emissão, em ensaios padronizados e com combustíveis de referência, para diferentes tipos de veículos automotores, de acordo com padrões europeus.

¹Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Curitiba (PR), Brasil.

²Departamento de Engenharia Ambiental da UFPR - Curitiba (PR), Brasil.

Endereço para correspondência: Diana Maria Cancelli - Universidade Federal do Paraná - Centro Politécnico - Laboratório de Estudos em Monitoramento e Modelagem Ambiental (Lemma) - Jardim das Américas - Caixa Postal 19100 - 81531-990 - Curitiba (PR), Brasil - E-mail: dianacancelli@gmail.com

Recebido: 15/02/12 - **Aceito:** 31/01/14 - **Reg. ABES:** 284

O PRONAR foi criado pela Resolução CONAMA nº 5, de 15 de julho de 1989, com o intuito de

permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e ao não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradadas.

São estabelecidos limites para emissões por tipo de fonte e de poluente, são definidos padrões de qualidade do ar, é feita uma classificação de áreas conforme o nível de qualidade do ar, é implantada uma Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar e são criados Inventários Nacionais de Fontes e Emissões. O PRONAR incorporou os já existentes PROCONVE, Programa Nacional de Controle da Poluição Industrial (PRONACOP), Programa Nacional de Avaliação da Qualidade do Ar, Programa Nacional de Inventários de Fontes Poluidoras do Ar, além de Programas Estaduais de Controle da Poluição do Ar (IBAMA, 2004).

O PROMOT, também elaborado pela CETESB, foi estabelecido nacionalmente pela Resolução CONAMA nº 297/02 e complementado pela Resolução CONAMA nº 342/03. Assim como o PROCONVE, seguiu padrões estabelecidos na Europa.

Tanto o PROCONVE quanto o PROMOT estabeleceram fases de implantação, considerando os tipos de veículos e combustíveis utilizados sendo que em cada uma delas os veículos novos deveriam emitir progressivamente menos poluentes. A implantação em fases foi uma forma de promover o desenvolvimento tecnológico dos veículos automotores e, conseqüentemente, reduzir suas emissões de poluentes (CETESB, 2010). Dentro desse contexto, inventários de fontes de emissão de poluentes, sejam eles de fontes móveis (veículos automotores) ou fixas (indústrias), são instrumentos fundamentais para o cumprimento e elaboração de leis e de planos de gerenciamento ambiental.

Para veículos automotores, a quantificação de poluentes emitidos é simples, porém, depende de uma variável cuja obtenção é bastante complicada: o fator de emissão de cada poluente. O fator de emissão de um poluente varia de acordo com o tipo de combustível, sua composição, ciclo do motor do veículo e quilometragem rodada, entre outros fatores.

Para o Brasil, as estimativas de emissões veiculares encontradas na literatura, em sua maioria, são limitadas a um único tipo de poluente e uma única categoria de veículo ou combustível. Além disso, a principal metodologia utilizada é a do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 1997), estando as estimativas relacionadas, em sua maioria, a emissões de veículos movidos a diesel (IPEA, 1999; RIBEIRO & MATTOS, 2000; MATTOS, 2001; ÁLVARES & LINKE, 2001; MACÊDO, 2004; OLIVEIRA JR, 2005; KOZERSKI & HESS, 2006; TEIXEIRA *et al.*, 2008; TEIXEIRA *et al.*, 2012). Para veículos leves, Mendes (2004) utiliza o método e os fatores de emissão da *Environmental Protection Agency* (EPA, 2000),

os quais foram determinados para veículos e combustíveis americanos, cuja composição é diferente dos combustíveis brasileiros. Cabe mencionar o GHG Protocol Brasil (GVCES, 2009), que é uma ferramenta utilizada principalmente por empresas para fazer inventários de emissões de gases de efeito estufa considerando fontes móveis e não móveis. Em geral essa ferramenta é aplicada com objetivos econômicos, por exemplo para estimar créditos de carbono. Estimativas de emissões de material particulado (MP) e de monóxido de carbono (CO), ambos importantes no contexto da saúde populacional e das legislações relacionadas às emissões de poluentes atmosféricos, não são incluídos nessa ferramenta.

Em janeiro de 2011 o Ministério do Meio Ambiente (MMA) apresentou o Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, que neste texto será denominado apenas por INEA. Esse inventário foi elaborado por um grupo de trabalho composto pelo MMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRAS) (MMA, 2011). No INEA foram apresentados fatores de emissão veicular por tipo de combustível, ano de fabricação e categoria de veículo.

No sentido de facilitar o cálculo da emissão de poluentes por veículos automotores, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa de computador capaz de quantificar as quantidades totais de poluentes emitidos utilizando os fatores de emissão veicular apresentados no INEA. O programa foi denominado BRevê.py.

METODOLOGIA

A seguir são apresentados os detalhes e informações relacionados ao cálculo das quantidades de poluentes emitidos por veículos automotores, incluindo a forma de cálculo das emissões por tipo de fonte de emissão e detalhes relacionados a cada uma das variáveis envolvidas neste cálculo.

Cálculo das emissões

As emissões de um conjunto de veículos automotores podem ser consideradas como fonte em linha ou em área. Considera-se fonte em linha uma via (rodovia, avenida ou similar) de bastante movimento; considera-se fonte em área uma região cuja circulação de veículos é bastante intensa (por exemplo, o centro de uma cidade). A forma de obtenção das emissões totais e respectivos fluxos para os dois tipos de fonte é apresentada nos subitens fonte em linha e fonte em área.

Fonte em linha

A quantidade total do poluente i emitido ($E_{\text{linha},i}$ em kg) pela frota de veículos F_r numa via de comprimento total L (km) pode ser obtida através da Equação 1.

$$E_{\text{linha},i} = F_{r,j} \times (F_{e,i}/1000) \times L \quad (1)$$

onde:

$F_{e,i}$: fator de emissão do poluente i (g.km^{-1});

$F_{r,j}$: número total de veículos da categoria j que circulam na via de interesse durante um período de tempo t ;

1000: fator de conversão de g para kg.

Equação semelhante foi apresentada por Murgel *et al.* (1987) e Landmann (2004). Caso se deseje obter a taxa de emissão do poluente i ($E_{L,i}$ em $\text{kg.h}^{-1}.\text{km}^{-1}$), deve-se utilizar a Equação 2.

$$E_{L,i} = \frac{E_{\text{linha},i}}{L \times t} \quad (2)$$

Na Equação 2, t é o tempo total para o qual foi calculado $E_{\text{linha},i}$.

Fonte em área

A quantidade total do poluente i emitido ($E_{\text{área},i}$ em kg) pela frota $F_{r,j}$ que circula numa determinada área pode ser obtida através da Equação 3.

$$E_{\text{área},i} = F_{r,j} \times (F_{e,i}/1000) \times L_{\text{área}} \quad (3)$$

Na Equação 3, $L_{\text{área}}$ (km) é a soma da extensão das vias existentes na área de interesse. A taxa de emissão de poluente por unidade de área $E_{A,i}$, em $\text{kg.h}^{-1}.\text{km}^{-2}$, é obtida através da Equação 4.

$$E_{A,i} = \frac{E_{\text{área},i}}{A \times t} \quad (4)$$

Na Equação 4, A é a área de interesse (em km^2).

Categorias de veículos e poluentes emitidos

As categorias de veículos (Tabela 1), juntamente com os tipos de combustíveis e poluentes emitidos por cada uma delas (Tabela 2), foram definidos com base no INEA. Cada categoria deve ser dividida por ano de

fabricação e por tipo de combustível. A esse tipo de distribuição dá-se o nome de distribuição completa. Para casos em que existem apenas dados gerais de distribuição de quantidades de veículos propõe-se, neste trabalho, uma divisão simplificada de distribuição de frota, assim como fatores alternativos de emissão (ver item fatores de emissão alternativos).

Na Tabela 2, NMHC representa os hidrocarbonetos não metano, RCHO representa os aldeídos e NO_x os óxidos de nitrogênio, todos emitidos pela queima de combustíveis. Nessa tabela estão incluídos todos os poluentes cujos limites de emissão estão devidamente regulamentados no Brasil. Toda a legislação pertinente pode ser encontrada em IBAMA (2004).

Fatores de emissão

Os fatores de emissão, para casos em que se dispõe de dados de composição completa de frota, são apresentados nas Tabelas 3 a 8. Eles são apresentados de acordo com as categorias de veículos, combustível, ano de fabricação e respectivos poluentes emitidos. A Tabela 3 apresenta os fatores de emissão para automóveis e veículos comerciais. De acordo com o INEA, esses são fatores de emissão para veículos novos e que rodaram até 80 mil km; a partir disso e a cada 80 mil km, os fatores de emissão de alguns dos poluentes devem ser incrementados pelos valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 2 - Poluentes considerados pelo Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (INEA).

Categoria/Poluente	CO	NO _x	MP	RCHO	NMHC	CH ₄	CO ₂
Automóveis e comerciais leves a gasolina	x	x	x	x	x	x	x
Automóveis e comerciais leves a etanol	x	x		x	x	x	x
Motocicletas a gasolina	x	x	x		x	x	x
Motocicletas a etanol	x	x			x	x	x
Veículos a diesel	x	x	x		x		x
Veículos a GNV	x	x		x	x	x	x

Fonte: MMA (2011).

CO: monóxido de carbono; NO_x: óxidos de nitrogênio; MP: material particulado; RCHO: aldeídos; NMHC: hidrocarbonetos não metano; CH₄: metano; CO₂: dióxido de carbono; GNV: gás natural veicular.

Tabela 1 - Categorias de veículos consideradas pelo Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (INEA).

Categorias	Combustível	Definição
Automóveis	Gasolina Flex Fuel GNV Etanol	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, excluindo o motorista
Veículos comerciais leves	Gasolina Flex Fuel GNV Etanol	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com peso bruto total de até 3.500 kg
Motocicletas	Gasolina Etanol	Veículo automotor de duas rodas com ou sem side-car, dirigido em posição montada
Caminhões leves, médios e pesados (acima de 3,5; 10 e 15 ton)	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria e peso bruto total superior a 3.500 kg
Ônibus urbanos e rodoviários	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo

Fonte: MMA (2011).

GNV: gás natural veicular.

Tabela 3 - Fatores de emissão de escapamento de automóveis e veículos comerciais leves movidos a gasolina e a etanol zero km.

Ano de fabricação	Combustível	CO (g.km ⁻¹)	NO _x (g.km ⁻¹)	RCHO (g.km ⁻¹)	NMHC (g.km ⁻¹)	CH ₄ (g.km ⁻¹)	MP (g.km ⁻¹)
Até 1983	Gasolina	33,0	1,4	0,05	2,55	0,450	0,0024
	Etanol	18,0	1,0	0,16	1,36	0,240	-
1984-1985	Gasolina	28,0	1,6	0,05	2,040	0,360	0,0024
	Etanol	16,9	1,2	0,18	1,36	0,240	-
1986-1987	Gasolina	22,0	1,9	0,04	1,70	0,300	0,0024
	Etanol	16,0	1,8	0,11	1,36	0,240	-
1988	Gasolina	18,5	1,8	0,04	1,445	0,255	0,0024
	Etanol	13,3	1,4	0,11	1,445	0,255	-
1989	Gasolina	15,2	1,6	0,04	1,36	0,240	0,0024
	Etanol	12,8	1,1	0,11	1,36	0,240	-
1990	Gasolina	13,3	1,4	0,04	1,19	0,210	0,0024
	Etanol	10,8	1,2	0,11	1,105	0,195	-
1991	Gasolina	11,5	1,3	0,04	1,105	0,195	0,0024
	Etanol	8,4	1,0	0,11	0,935	0,165	-
1992	Gasolina	6,2	0,6	0,013	0,510	0,090	0,0024
	Etanol	3,6	0,5	0,035	0,510	0,090	-
1993	Gasolina	6,3	0,8	0,022	0,510	0,090	0,0024
	Etanol	4,2	0,6	0,040	0,595	0,105	-
1994	Gasolina	6,0	0,7	0,036	0,451	0,149	0,0024
	Etanol	4,6	0,7	0,042	0,514	0,186	-
1995	Gasolina	4,7	0,6	0,025	0,451	0,149	0,0024
	Etanol	4,6	0,7	0,042	0,514	0,186	-
1996	Gasolina	3,8	0,5	0,019	0,300	0,100	0,0024
	Etanol	3,9	0,7	0,040	0,440	0,160	-
1997	Gasolina	1,2	0,3	0,007	0,150	0,050	0,0011
	Etanol	0,9	0,3	0,012	0,220	0,080	-
1998	Gasolina	0,79	0,23	0,004	0,105	0,035	0,0011
	Etanol	0,67	0,24	0,014	0,139	0,051	-
1999	Gasolina	0,74	0,23	0,004	0,105	0,035	0,0011
	Etanol	0,60	0,22	0,013	0,125	0,045	-
2000	Gasolina	0,73	0,21	0,004	0,098	0,032	0,0011
	Etanol	0,63	0,21	0,014	0,132	0,048	-
2001	Gasolina	0,48	0,14	0,004	0,083	0,027	0,0011
	Etanol	0,66	0,08	0,017	0,110	0,040	-
2002	Gasolina	0,43	0,12	0,004	0,083	0,027	0,0011
	Etanol	0,74	0,08	0,017	0,117	0,043	-
2003	Gasolina	0,40	0,12	0,004	0,083	0,027	0,0011
	Etanol	0,77	0,09	0,019	0,117	0,043	-
	Flex (Gas.)	0,50	0,04	0,004	0,038	0,012	0,0011
	Flex (Etanol)	0,51	0,14	0,020	0,110	0,040	-
2004	Gasolina	0,35	0,09	0,004	0,083	0,027	0,0011
	Etanol	0,82	0,08	0,016	0,125	0,045	-
	Flex (Gas.)	0,39	0,05	0,003	0,060	0,020	0,0011
	Flex (Etanol)	0,46	0,14	0,014	0,103	0,037	-
2005	Gasolina	0,34	0,09	0,004	0,075	0,025	0,0011
	Etanol	0,82	0,08	0,016	0,125	0,045	-
	Flex (Gas.)	0,45	0,05	0,003	0,083	0,027	0,0011
	Flex (Etanol)	0,39	0,10	0,014	0,103	0,037	-
2006-2007	Gasolina	0,33	0,08	0,002	0,060	0,020	0,0011
	Etanol	0,67	0,05	0,014	0,088	0,032	-
	Flex (Gas.)	0,48	0,05	0,003	0,075	0,025	0,0011
	Flex (Etanol)	0,47	0,07	0,014	0,081	0,029	-
2008	Gasolina	0,37	0,039	0,0014	0,042	0,014	0,0011
	Etanol	0,67	0,005	0,014	0,088	0,032	-
	Flex (Gas.)	0,51	0,041	0,0020	0,069	0,023	0,0011
	Flex (Etanol)	0,71	0,048	0,0152	0,052	0,019	-
2009	Gasolina	0,30	0,020	0,0017	0,034	0,011	0,0011
	Flex (Gas.)	0,33	0,030	0,0024	0,032	0,011	0,0011
	Flex (Etanol)	0,56	0,032	0,0104	0,030	0,011	-

Fonte: MMA (2011).

Para os veículos movidos a gás natural veicular (GNV), os fatores de emissão são apresentados na Tabela 5. Para motocicletas, na Tabela 6 são apresentadas as quantidades de poluentes emitidos por km rodado.

Os fatores de emissão para veículos a diesel são apresentados na Tabela 7. Os poluentes emitidos por veículos a diesel são CO, óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não metano (NMHC) e MP.

Para o CO_2 , o INEA apresenta fatores de emissão em kg.L^{-1} . Para compatibilizar as unidades com os outros fatores de emissão, foram utilizados valores médios de quilometragem rodada por litro de combustível (km.L^{-1}) e fatores de emissão em g.km^{-1} foram obtidos; essas informações são apresentadas na Tabela 8.

Os fatores de emissão apresentados nesta seção devem ser utilizados quando se conhece as informações de composição da frota em circulação, de acordo com ano de fabricação, tipo de combustível e quilometragem dos veículos. Para casos em que não se conhece a distribuição completa da frota sugere-se a utilização dos fatores de emissão alternativos (apresentados a seguir).

Fatores de emissão alternativos

Para casos em que a distribuição completa da frota de veículos em circulação, na via ou área de interesse, não estiver disponível, sugere-se a utilização de uma divisão simplificada de categorias de veículos cujos fatores de emissão são apresentados na Tabela 9. Esses fatores alternativos de emissão foram estimados a partir de médias dos fatores de emissão do INEA (Tabelas 1 a 7).

Diretrizes para o cálculo das emissões veiculares

Para o desenvolvimento do programa de cálculo das emissões atmosféricas foram realizadas as seguintes considerações:

- Para automóveis e veículos comerciais leves bicompostíveis ou Flex foi utilizada a média dos fatores de emissão para gasolina e etanol. Isto corresponde a dizer que os veículos utilizam 50% do tempo gasolina e outros 50% do tempo, etanol;

Tabela 4 - Incremento médio de emissões por acúmulo de rodagem, em g (80.000 km^3).

Combustível/Poluente	CO	NO_x	NMHC	RCHO
Gasolina	0,263	0,030	0,023	0,00065
Etanol	0,224	0,020	0,024	0,00276

Fonte: MMA (2011).

CO: monóxido de carbono; NO_x : óxidos de nitrogênio; NMHC: hidrocarbonetos não metano; RCHO: aldeídos.

Tabela 5 - Fatores de emissão para veículos movidos a gás natural veicular.

Combustível/Poluente	CO (g.km^{-1})	NO_x (g.km^{-1})	RCHO (g.km^{-1})	NMHC (g.km^{-1})	CH_4 (g.km^{-1})
Gás natural veicular (GNV)	0,56	0,29	0,0038	0,026	0,22

Fonte: MMA (2011).

CO: monóxido de carbono; NO_x : óxidos de nitrogênio; RCHO: aldeídos; NMHC: hidrocarbonetos não metano; CH_4 : metano.

- Os incrementos dos fatores de emissão (a cada 80 mil km rodados) para automóveis bicompostíveis ou Flex seguiram a mesma ideia: foram utilizadas médias entre os incrementos dos fatores para veículos movidos a gasolina e a etanol;
- Para incrementar os fatores de emissão de automóveis e veículos comerciais leves considerou-se que, em média, a cada 5 anos um veículo roda 80 mil km. Assim, os fatores de emissão para CO, NMHC, RCHO e NO_x para esta categoria foram incrementados de acordo com o ano de fabricação do veículo;
- Para todas as outras categorias de veículos e tipos de combustíveis foram utilizados os fatores de emissão apresentados na Metodologia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa para o cálculo das emissões veiculares foi desenvolvido em linguagem de programação Python, e foi denominado de BRevê.py. Possui código aberto e livre, podendo ser solicitado aos autores via e-mail. Alterações podem ser realizadas por qualquer usuário e os autores não se comprometem a prestar "suporte" (apoio) relacionado à sua utilização.

Na Figura 1 é apresentado um fluxograma do programa: há opções para utilizar frota de veículos completa ou geral, cálculo das emissões em linha ou em área e inclusão ou não de frota de veículos movidos a GNV. As informações necessárias para alimentar o programa são: dados de distribuição da frota (completa ou geral), comprimento da via ou tamanho da área de interesse e respectiva soma das vias existentes nesta área, além do tempo para o qual se deseja estimar as emissões. O programa pode ser executado em qualquer computador que possua um interpretador Python (livremente distribuído em www.python.org). O programa retorna as emissões por categoria

Tabela 6 - Fatores de emissão de poluentes para motocicletas.

Ano de fabricação	CO (g.km^{-1})	NO_x (g.km^{-1})	NMHC (g.km^{-1})	CH_4 (g.km^{-1})	MP* (g.km^{-1})
Até 2002	19,10	0,10	2,21	0,39	0,0287
2003	6,36	0,18	0,71	0,13	0,0140
2004	6,05	0,18	0,66	0,12	0,0140
2005	3,12	0,16	0,49	0,09	0,0035
2006	2,21	0,17	0,27	0,05	0,0035
2007	1,83	0,16	0,30	0,05	0,0035
2008	1,12	0,09	0,18	0,03	0,0035
2009	1,02	0,10	0,14	0,03	0,0035

Fonte: MMA (2011).

*Para motocicletas usando apenas gasolina; CO: monóxido de carbono; NO_x : óxidos de nitrogênio; NMHC: hidrocarbonetos não metano; CH_4 : metano; MP: material particulado.

Tabela 7 - Fatores de emissão de veículos movido a Diesel.

Categoria	Ano	CO (g.km ⁻¹)	NO _x (g.km ⁻¹)	NMHC (g.km ⁻¹)	MP (g.km ⁻¹)
Comerciais leves	Até 1993	0,77	0,28	4,45	0,274
	1994-1997	0,69	0,23	2,81	0,136
	1998-2002	0,38	0,13	2,74	0,053
	2003-2008	0,35	0,07	1,98	0,033
	2009 em diante	0,37	0,07	0,80	0,008
Caminhões leves (3,5-10 ton)	Até 1993	0,92	0,34	5,31	0,328
	1994-1997	0,83	0,28	3,36	0,163
	1998-2002	0,45	0,15	3,28	0,064
	2003-2008	0,42	0,08	2,37	0,040
	2009 em diante	0,44	0,09	0,96	0,010
Caminhões médios (10-15 ton)	Até 1993	1,26	0,46	7,28	0,449
	1994-1997	1,14	0,38	4,60	0,223
	1998-2002	0,62	0,21	4,49	0,087
	2003-2008	0,58	0,11	3,25	0,054
	2009 em diante	0,60	0,12	1,31	0,013
Caminhões pesados (mais de 15 ton)	Até 1993	2,21	0,81	12,73	0,785
	1994-1997	1,99	0,66	8,04	0,391
	1998-2002	1,08	0,37	7,85	0,153
	2003-2008	1,01	0,19	5,68	0,095
	2009 em diante	1,06	0,20	2,30	0,023
Ônibus urbanos	Até 1993	3,06	1,12	17,57	1,084
	1994-1997	2,75	0,92	11,10	0,539
	1998-2002	1,50	0,51	10,84	0,211
	2003-2008	1,39	0,27	7,84	0,131
	2009 em diante	1,46	0,28	3,17	0,032
Ônibus rodoviários	Até 1993	2,32	0,85	13,34	0,823
	1994-1997	2,08	0,69	8,43	0,409
	1998-2002	1,14	0,39	8,23	0,160
	2003-2008	1,06	0,20	5,95	0,099
	2009 em diante	1,11	0,21	2,40	0,024

Fonte: MMA (2011).

CO: monóxido de carbono; NO_x: óxidos de nitrogênio; NMHC: hidrocarbonetos não metano; MP: material particulado.**Tabela 8 - Fatores de emissão de CO₂ por tipo de combustível (baseada no Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - INEA).**

Combustível	Valor do INEA (kg de CO ₂ .L ⁻¹)	Quilometragem média por litro de combustível (km rodado.L ⁻¹)	Fator de emissão (g de CO ₂ .km ⁻¹)
Gasolina	2,269	10,0	227,0
Etanol	1,233	7,0	176,0
Diesel	2,671	6,0	445,0
GNV	1,999	7,0	286,0

Tabela 9 - Fatores de emissão alternativos para casos em que houver somente o número total de veículos por categoria.

Categorias/Poluentes	CO (g.km ⁻¹)	NO _x (g.km ⁻¹)	RCHO (g.km ⁻¹)	NMHC (g.km ⁻¹)	CH ₄ (g.km ⁻¹)	MP (g.km ⁻¹)	CO ₂ (g.km ⁻¹)
Automóveis e veículos comerciais leves	1,2	0,4	0,01	0,4	0,15	0,015	210,0
Motocicletas	3,0	0,15	-	0,5	0,1	0,010	210,0
Caminhões leves, médios e pesados	1,0	0,4	-	5,0	-	0,15	445,0
Ônibus urbanos e rodoviários	1,1	0,5	-	9,0	-	0,2	445,0

CO: monóxido de carbono; NO_x: óxidos de nitrogênio; RCHO: aldeídos; NMHC: hidrocarbonetos não metano; CH₄: metano; MP: material particulado; CO₂: dióxido de carbono.

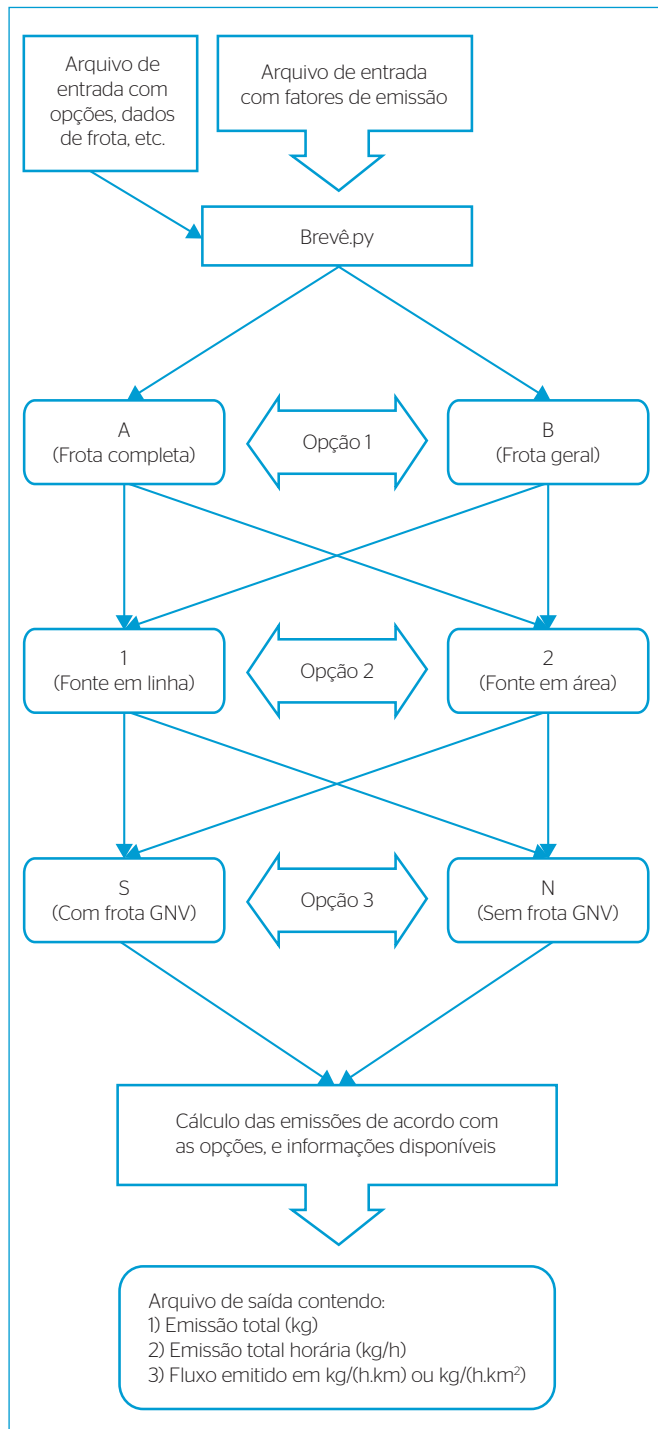


Figura 1 - Fluxograma do programa BRevê.py.

de veículo e poluente em kg, as emissões horárias por poluente (em $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) e os fluxos de emissão por poluente em $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ou $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$. A seguir é apresentado um exemplo de aplicação do programa BRevê.py.

Exemplo de aplicação do BRevê.py

Suponha que se deseja estimar a quantidade de poluentes emitidos pelos veículos que circulam na via X, localizada na região central do município Y, durante o horário de pico. A contagem de veículos realizada pelo Departamento de Trânsito de Y é apresentada na Tabela 10. A via X tem uma extensão de 3 km e o horário de pico se inicia às 17:00 h e segue até 19:00 h (totalizando 2 horas). Com essas informações é possível estimar as emissões de poluentes utilizando as opções de frota geral (opção 1: B), fonte em linha (opção 2: 1), e sem frota GNV (opção 3: N).

As quantidades totais de cada poluente emitido pelos veículos que circulam nos 3 km da via X durante o horário de pico são apresentados na Tabela 11.

O programa BRevê.py também traz as informações de quantidades de poluentes emitidos em cada hora e em cada quilômetro da via. Para este exemplo, essas quantidades são mostradas na Tabela 12. Essas informações permitem que o usuário utilize as mesmas para fazer outras estimativas ou aplicações.

CONCLUSÃO

Diversos conjuntos de fatores de emissão veicular, tais como os utilizados pela EPA, dos Estados Unidos, ou aqueles utilizados por países europeus, poderiam ser utilizados no desenvolvimento do programa BRevê.py. Porém, fatores específicos como composição dos combustíveis, diferentes motores e diferentes limites de emissão devem ser levados em consideração. Nesse contexto, e com base em informações do Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011) uma nova ferramenta foi apresentada: o programa BRevê.py, o qual tem a

Tabela 10 - Quantidade de veículos que circulam na via X durante o horário de pico.

Categoria de veículo	Quantidade
Automóveis e veículos comerciais leves	5400
Motocicletas	1450
Caminhões leves, médios e pesados	950
Ônibus urbanos e rodoviários	300

Tabela 11 - Quantidade de poluentes emitidos (em kg) por cada categoria de veículo em um período de 2 h numa via de 3 km de extensão - estimados pelo programa BRevê.py.

Categorias/Poluentes	CO (kg)	NO _x (kg)	RCHO (kg)	NMHC (kg)	CH ₄ (kg)	MP (kg)	CO ₂ (kg)
Automóveis e veículos comerciais leves	19,44	6,48	0,162	6,48	2,43	0,243	3402,0
Motocicletas	13,05	0,652	-	2,175	0,435	0,043	913,0
Caminhões leves, médios e pesados	2,85	1,14	-	14,25	-	0,427	1268,0
Ônibus urbanos e rodoviários	0,99	0,45	-	8,1	-	0,180	400,5

CO: monóxido de carbono; NO_x: óxidos de nitrogênio; RCHO: aldeídos; NMHC: hidrocarbonetos não metano; CH₄: metano; MP: material particulado; CO₂: dióxido de carbono.

Tabela 12 - Quantidade total de poluentes emitidos por todas as categorias de veículos em um período de 1 h numa distância de 1 km - estimado pelo programa BRevê.py.

Poluente	Quantidades (kg.h ⁻¹ .km ⁻¹)
Monóxido de carbono (CO)	6,06
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	1,45
Aldeídos (RCHO)	0,027
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	5,17
Metano (CH ₄)	0,48
Material particulado (MP)	0,15
Dióxido de carbono (CO ₂)	997,38

capacidade de facilitar consideravelmente as estimativas das emissões veiculares em estudos envolvendo dispersão de poluentes, inventários de emissões, entre outros, e que exijam o conhecimento da quantidade de poluentes emitidos por veículos automotores — poluentes estes, que são considerados nas legislações brasileiras e que não são considerados em ferramentas como o GHG Protocol Brasil. Além de permitir que sejam estimadas as emissões veiculares de situações simples, como a apresentada no exemplo de aplicação do BRevê.py, a ferramenta possui código aberto e livre, permitindo que o usuário faça as adaptações necessárias ao seu caso específico.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES JR, O.M. & LINKE, R.R.A. (2001) Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil. São Paulo: CETESB.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2010) Relatório de qualidade do ar do estado de São Paulo - 2009. São Paulo, 292 p.

CRUVINEL, R.R.S.; PINTO, P.V.H.; GRANEMANN, S.R. (2012) Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. *Journal of Transport Literature*, v. 6, n. 2, p. 234-252.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2000) AP-42: Compilation of air pollutant emission factors - mobil sources, office of transportation and air quality. Disponível em: <www.epa.gov/otaq>. Acesso em: 28 out 2013.

GVCES - CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DA ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO. (2009) Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de gases do efeito estufa. São Paulo: FGV. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/proclima>> e <<http://www.fgv.br/ces/ghg>> Acesso em: 10 dez 2013.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. (2004) Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE/PROMOT. Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes - Gestão Ambiental, v. I e II.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA E ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1999). Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público. *Revista dos Transportes Públicos*, p. 35-92.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public>>. Acesso em: 28 nov 2013.

KOZERSKI, G.R. & HESS, S.C. (2006) Estimativa dos poluentes emitidos pelos ônibus e microônibus de Campo Grande/MS, empregando como combustível diesel, biodiesel ou gás natural. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 11, n. 2, p. 113-117.

LANDMANN, M.C. (2004) Estimativa das emissões de poluentes dos automóveis na RMSP considerando as rotas de tráfego. In: *II Encontro da ANPPAS*. São Paulo.

MACÉDO, R.F. (2004) Inventário de emissões de dióxido de carbono (CO₂) geradas por fontes móveis no Estado do Rio Grande do Norte - Período de janeiro de 2003 a junho de 2004. *Holos*, n. 20. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/35/36>>. Acesso em: 28 nov 2013.

MATTOS, L.B.R. (2001) A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa - o caso do município do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 178 p.

MENDES, F.E. (2004). Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Estratégico) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 179 p.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2011) Primeiro inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: relatório final. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: 20 fev 2011.

MURGEL, E.M.; SZWARC, A.; SANTOS, M.D.; BRANCO, G.M.; CARVALHO, H. (1987) Inventário de emissão veicular: metodologia de cálculo. *Engenharia Sanitária*, v. 26, n. 3.

OLIVEIRA Jr, J.A. (2005) Estimativa da emissão dos gases de efeito local - GELs e de efeito estufa - GEEs da frota a diesel do sistema integrado de transportes de Fortaleza - SITFOR. In: *15º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*. Goiânia.

RIBEIRO, S.K. & MATTOS, L.B.R. (2000) A Importância do setor de transporte rodoviário no aquecimento global - o caso da cidade do Rio de Janeiro. In: Setti, J.R.A.; Cybis, H.B.B. (Eds.) *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2000*. Anais do 21º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Gramado, RS, p. 291-299.

TEIXEIRA, E.C.; FELTES, S.; SANTANA, E.R.R. (2008) Estudo das emissões de fontes móveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS. *Química Nova*, v. 31, n. 2, p. 244-248.