

INVENTÁRIO DE FONTES MÓVEIS EMISSORAS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA CIDADE DE JUIZ DE FORA-MG

Carolina de Souza Araujo¹
Israel de Almeida Nogueira²
Aline Sarmiento Procópio³

RESUMO

O aumento do número de veículos circulando em centros urbanos, como observado em Juiz de Fora, pode gerar diversos problemas para o município, tais como a degradação da qualidade do ar e consequentes danos à saúde da população. O presente estudo visa estimar, de acordo com a metodologia apresentada pela CETESB e MMA, as emissões de poluentes gasosos pelos veículos automotores no município durante o ano de 2011. Com base nos fatores de emissão dos poluentes, em informações detalhadas sobre a frota circulante na cidade e no consumo de combustível anual, foram encontradas as seguintes emissões: 594.048,2 t de CO₂; 156,8 t de CH₄; 71,2 t de N₂O; 5.712,5 t de CO; 8.285,2 t de NO_x; e 1.844,7 t de compostos orgânicos voláteis não metano.

Palavras-chave: Inventário de emissões atmosféricas. Fontes móveis. Poluição do ar.

INTRODUÇÃO

O setor de transportes tem contribuição majoritária na emissão de poluentes atmosféricos em centros urbanos, sendo responsável por aproximadamente 9% das emissões equivalentes de dióxido de carbono no Brasil (MCT, 2006). Trata-se de um problema que tende a agravar-se devido, principalmente, ao desenvolvimento desordenado dos espaços urbanos e ao aumento da necessidade de deslocamento da população, o que leva ao aumento dos níveis de tráfego. A cidade de Juiz de Fora se localiza na Zona da Mata mineira, com uma população de 516.247 habitantes (IBGE, 2010) e uma frota de 193.333

1 Bolsista do Programa de Apoio à Instalação de Doutores da UFJF.

2 Alunos do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da UFJF.

3 Professora Orientadora do Dep. de Eng. Sanitária e Ambiental da Faculdade de Engenharia da UFJF. Endereço: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, 4a Plataforma do Setor de Tecnologia, Bairro Martelos, Juiz de Fora-MG CEP: 36036-330. Email: aline.procopio@ufjf.edu.br.

veículos (DETRAN/MG, 2011). Este inventário tem como objetivo principal analisar as emissões de gases de efeito estufa diretos e indiretos pelas fontes móveis do município no ano de 2011.

Os inventários de emissões de poluentes atmosféricos, em um aspecto mais geral, são instrumentos estratégicos de gestão ambiental que estimam as emissões por fontes de poluição específicas, numa dada área geográfica e num dado período de tempo, permitindo assim orientar medidas mais eficientes de intervenção. A elaboração desses instrumentos é ponto de partida para o sucesso da implantação ou reorientação de quaisquer programas voltados ao melhoramento da qualidade do ar (MMA, 2011).

A frota veicular estudada é composta por automóveis, motocicletas, caminhões e ônibus, sendo dividida em duas grandes categorias: uma movida pelo ciclo de Otto e outra movida pelo ciclo Diesel. Os automóveis, motocicletas e comerciais leves (Ciclo Otto) são movidos basicamente à gasolina e álcool hidratado; e os ônibus, caminhões e comerciais leves (Ciclo Diesel), movidos a diesel. Os demais tipos de combustíveis não foram considerados devidos a sua pequena participação ou à falta de dados disponíveis.

Os gases de efeito estufa (GEE) inventariados nesse estudo são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC).

A metodologia utilizada para o cálculo de emissões é aquela apresentada no “Inventário de Emissão dos Gases de Efeito Estufa Associada ao Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, 1990 a 2008” (CETESB, 2011) em conjunto com o “1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários” (MMA, 2010).

1. METODOLOGIA

1.1. CARACTERIZAÇÃO DA FROTA

A) A FROTA

Para a determinação da frota veicular circulante na cidade em 2011 (CETESB, 2011), fez-se necessário saber quantos veículos foram emplacados por ano e por tipo nos últimos cinquenta anos, ou seja, desde 1961. Aplicando-se uma taxa de sucateamento a cada veículo emplacado (item b), determina-se o número de veículos de cada ano que ainda estão em circulação no ano de estudo.

Foram fornecidos pelo DETRAN/MG (2011) dados referentes ao emplacamento de veículos em Juiz de Fora para o período de 1991 a 2011. Para suprir a lacuna de dados para os anos anteriores, foram comparadas as curvas de emplacamento anual da frota municipal e nacional (ANFAVEA, 2011), entre 1991 e 2011. Observou-se uma boa correlação entre o número anual de emplacamentos de veículos no município e no país para o período conhecido, o que permitiu a estimativa da frota anual emplacada em Juiz de Fora para o período de 1961 a 1991, aplicando-se para o município a mesma variação interanual do emplacamento da frota nacional. A Fig. 1 apresenta o número de automóveis emplacados por ano obtido por essa metodologia, lembrando que da mesma forma foram obtidos os números para comerciais leves, ônibus, caminhões e motocicletas em Juiz de Fora. Ressalta-se que, a frota estimada para esses 30 anos, já considerando o sucateamento dos veículos, representa apenas 5% da frota circulante em 2011, o que diminui a margem de erro associada a essa extrapolação.

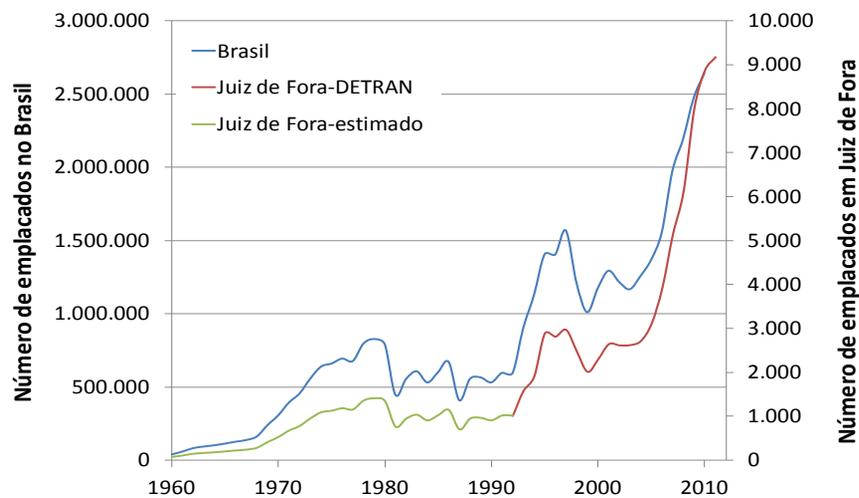


Fig. 1 - Número de veículos emplacados anualmente no Brasil e em Juiz de Fora.

Não foi possível a categorização da frota de caminhões por peso bruto total (PBT), pois não há disponibilidade dessas informações para o período de estudo na cidade. Optou-se por não utilizar o percentual apresentado pela ANFAVEA (2011), uma vez que ele representa a frota nacional de caminhões, ou seja, engloba aqueles que circulam nas cidades e nas rodovias (incluem os veículos pesados de maneira significativa). O presente estudo abrange a circulação veicular no perímetro urbano e, segundo MAIA (2008), 80% da frota urbana de caminhões é composta por veículos leves e médios. Assim, adotou-se o cenário de uma frota urbana composta somente por caminhões leves, visto não ser possível a separação dessas duas categorias. Com relação à frota de ônibus, assumiu-se a proporção apresentada pelo MMA (2010) de que 10% dos ônibus novos licenciados por ano são rodoviários, e 90% são urbanos. As motocicletas foram caracterizadas como movidas gasolina em sua totalidade, apesar da entrada do tipo *flex* no mercado nacional a partir de 2009, por não se saber ainda sua participação percentual no total da frota municipal.

De acordo com o MMA (2010), a introdução do conversor catalítico no mercado nacional teve início em 1992, e, em 1997, todos os veículos fabricados já vinham com essa tecnologia de controle de poluição. Adotou-se nesse estudo que todos os veículos fabricados anteriormente a 1994 não possuíam conversor e todos fabricados após 1994 já haviam sido equipados (CETESB, 2011).

B) SUCATEAMENTO

O sucateamento da frota consiste em calcular o número de veículos que, emplacados em um determinado ano, ainda estão em circulação no ano estudado. Tal processo é feito aplicando uma taxa de sobrevivência a esses veículos de acordo com a equação 1 (CETESB, 2011).

$$F_j = \sum_{n=j}^{j-5_0} V_n \pm S_{(t)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: F_j - Frota circulante no ano j [nº de veículos]
 V_n - Veículos novos licenciados no ano n [nº de veículos]
 S_t - Taxa de sobrevivência de veículos com idade t [%]

Para calcular a taxa de sobrevivência de automóveis e comerciais leves do ciclo Otto utilizou-se a equação 2 e para os comerciais leves do ciclo Diesel, ônibus e caminhões a equação 3 (CETESB, 2011).

$$S(t)=1-e^{-e^{-(a+(b+t))}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$S(t)=\frac{1}{(1+e^{(a+(t-t_0))})} + \frac{1}{(1+e^{(a+(t-t_0))})} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde t é a idade do veículo e a , b , e t_0 são constantes que dependem do tipo de veículo, e podem ser obtidas no inventário da CETESB (2011).

Para motocicletas adotou-se o estudo feito pela SINDIPEÇAS (2008) que apresenta o percentual de motocicletas sucateadas anualmente com base em suas idades, para motor com deslocamento volumétrico de até 200 cc: até 5 anos, 6% de sucateamento anual; de 6 a 8 anos, 7%; de 9 a 10 anos, 8%; e mais de 11 anos, 10%. Contudo, esses percentuais foram assumidos para todos os motores, por falta de informações mais específicas sobre suas cilindradas.

Dessa forma, utilizando-se o percentual apresentado pela ANFAVEA (2011) para determinação do tipo de combustível utilizado por automóveis e comerciais leves e aplicando-se as equações acima, calculou-se a frota circulante em Juiz de Fora em 2011: 24.193 automóveis a gasolina, 1.999 a álcool e 40.056 *flex*; 3.258 comerciais leves a gasolina, 193 a álcool, 3.950 *flex* e 2.747 a diesel; 23.054 motos a gasolina; 1.423 ônibus urbanos a diesel; e 2.924 caminhões a diesel. Nos cálculos da frota não foram considerados os ônibus rodoviários, visto que alguns parâmetros da metodologia de cálculo de suas respectivas emissões dizem respeito à circulação estadual, o que acarretaria em um erro em nível municipal.

1.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O consumo de combustível é um dado de extrema importância para a elaboração do inventário, contudo essa informação não se encontra disponível em nível municipal. Recorreu-se então ao 25º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEEM), ano base 2009 (CEMIG, 2010). Para obter os dados referentes a 2011 para Minas Gerais foram aplicadas as taxas de crescimento de consumo de combustível anual nacional de acordo com os valores do Balanço Energético Nacional (MME, 2011a). Relacionou-se então a frota mineira (DETRAN/MG, 2011) e de Juiz de Fora, ambas separadas por tipo de veículo e de combustível, com o consumo fornecido pelo BEEMG, sendo possível calcular o consumo municipal anual para 2011.

De acordo com o licenciamento de veículos novos disponibilizado pela ANFAVEA (2011), os veículos *flex* entraram em circulação no mercado a partir de 2003. Para determinar o número de veículos *flex* que rodam com álcool e com gasolina assumiu a proporção apresentada por GOLDEMBERG e outros (2008) que varia segundo o preço desses combustíveis. A razão entre o preço do etanol e da gasolina para a cidade foi estimada através dos Boletins Mensais de Combustíveis Renováveis (MME, 2011b) para Belo Horizonte, uma vez que são cidades no mesmo estado, sujeitas a semelhantes condições fiscais. Calculou-se a razão média entre todos os meses de 2011 e obteve-se um valor de 77,88% do valor do álcool em relação ao da gasolina. Aplicando a proporção de GOLDEMBERG (2008), obteve 6,5% da frota de veículos *flex* utilizando álcool. As emissões devido ao GNV não foram consideradas nesse inventário devido à falta de dados sobre a fração da frota que utiliza esse combustível em Juiz de Fora.

1.3 CÁLCULO DE EMISSÕES

A) EMISSÕES DE CO₂

O cálculo da emissão de CO₂ é feito em duas etapas (CETESB, 2011). Primeiramente, é estimado o consumo de combustível por tipo de veículo e combustível, levando-se em consideração a intensidade de uso e o consumo médio de combustível por quilômetro rodado. Em seguida, multiplica-se este resultado, para cada tipo de veículo e combustível, pelo fator de emissão de CO₂ correspondente. As emissões de CO₂ por biocombustível não devem ser contabilizadas no setor de transporte por serem consideradas carbono neutro. Estas devem ser citadas separadamente para que não sejam contadas duas vezes, uma vez que são tratadas nos setores de Agricultura, Silvicultura e de Outros Usos do Solo (CETESB, 2011).

B) EMISSÕES DE CH₄ E N₂O (GEE DIRETOS) E DE CO E NO_x (GEE INDIRETOS)

As emissões desses gases requerem cálculos com um maior grau de detalhamento, pois seus fatores de emissão dependem do tipo de tecnologia de controle de poluição do veículo (para os automóveis e comerciais leves do ciclo Otto), do combustível utilizado e das características de operação (CETESB, 2011). A emissão final de cada gás é ainda função da frota, por tipo de veículo e combustível, e da sua respectiva intensidade de uso.

C) EMISSÕES DE NMVOC (GEE INDIRETOS)

A emissão de Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano (NMVOC) é formada pela soma das emissões de Hidrocarbonetos Não Metano que saem pelo escapamento do veículo (NMHCescap) e pelas emissões evaporativas (NMVOCevap) (CETESB, 2011). As emissões referentes aos NMVOCevap foram calculadas considerando-se o número de dias de emissão evaporativa por veículo, a emissão evaporativa durante o dia e o número de viagens por veículo, conforme metodologia aplicada pela CETESB (2011). As emissões de NMHCescap foram calculadas com as mesmas equações utilizadas para as emissões de CH₄ e N₂O.

D) INCREMENTO POR DETERIORAÇÃO

Para calcular as emissões dos gases CO, NO_x e NMHCescap para os automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto foi considerado um incremento no fator de emissão, de acordo com a quilometragem percorrida acumulada. Os veículos foram divididos em: com conversor catalítico (depois de 1994) e sem conversor catalítico (antes de 1994). No primeiro caso adicionou-se ao fator de emissão de veículos zero- km um incremento a cada 80.000 km percorridos, para cada poluente, considerando-se o tipo de combustível (CETESB, 2011). No segundo caso, considerou-se que, ao atingir 160.000 km rodados, o fator de emissão zero km é incrementado de 20% do seu valor inicial e que, após atingir os 160.000 km, o fator de emissão permanece constante. Para o estudo do NO_x, os veículos sem conversor catalítico foram considerados sem deterioração (CETESB, 2011).

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos permitem uma avaliação do cenário das emissões de gases poluentes no município, sendo estes apresentados na Tab. I e na Fig. 2. Analisando os valores, percebe-se que a frota de automóveis é a maior responsável pela emissão de CO₂, CH₄, N₂O, CO e NMVOC, correspondendo a mais de 50% das emissões totais desses gases. O NO_x não segue o mesmo padrão, pois 66% de sua emissão é oriunda da frota de ônibus urbanos. Essa participação mais significativa dos ônibus na

emissão de NO_x já era esperada, um vez que é um gás residual característico do processo de combustão do diesel. Contudo, é válido ressaltar que a frota de ônibus urbano, assim como a de comerciais leve do ciclo Otto, também tem uma participação expressiva nas emissões dos demais gases.

Tab. I - Emissões de poluentes atmosféricos pela frota veicular de Juiz de Fora em 2011.

Emissões em [t]		CO_2	CH_4	N_2O	CO	NM VOC	NO_x
Automóveis	Gasolina	93.037,8	33,2	12,3	1.307,1	607,3	525,3
	Etanol Anidro ^a	15.748,1					
	Etanol Hidratado ^b	16.235,4	15,4	0,8	1.045,2	325,7	208,1
	Flex Gasolina	165.558,9	27,7	26,4	646,7	146,2	128,6
	Flex Etanol Anidro ^a	28.023,4					
	Flex Etanol Hidratado ^b	44.998,2	6,9	2,1	471,6	302,6	294,8
	Total da categoria	363.601,7	83,2	41,5	3.479,6	1.281,8	1.156,8
Comerciais Leves	Gasolina	14.860,7	7,3	1,8	132,6	60,6	58,6
	Etanol Anidro ^a	2.515,4					
	Etanol Hidratado ^b	1.421,1	1,6	0,1	104,5	30,9	19,7
	Flex Gasolina	17.948,6	2,7	2,6	62,0	13,6	11,9
	Flex Etanol Anidro ^a	3.038,1					
	Flex Etanol Hidratado ^b	4.869,2	0,7	0,2	44,1	27,6	26,8
	Diesel	12.920,1	0,7	4,1	55,1	14,5	313,5
	Total da categoria	57.572,3	12,9	8,8	398,3	147,1	430,5
Ônibus Urbanos	Diesel	108.235,6	18,8	9,7	494,3	124,1	5.511,8
Motocicletas	Gasolina	15.658,5	21,5	0,7	1.155,5	138,5	51,3
	Etanol Anidro ^a	2.659,4					
Caminhões	Diesel	42.352,7	20,4	10,6	193,9	53,2	1.134,8
Total		590.072,3	156,8	71,2	5.712,5	1.844,7	8.258,2

^a Etanol anidro refere-se ao percentual de álcool adicionado na gasolina.

^b Etanol hidratado refere-se ao álcool combustível puro.

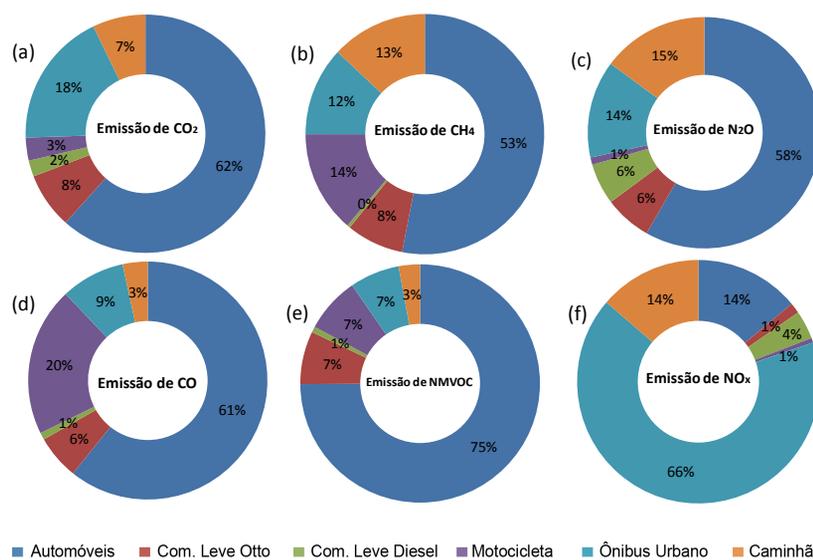


Fig. 2 - Emissões percentuais de (a) CO_2 , (b) CH_4 , (c) N_2O , (d) CO, (e) NMVOC, (f) NO_x .

Pelo fato de ser o primeiro trabalho do gênero realizado na cidade não existem dados anteriores para acompanhar a evolução da qualidade do ar local. Inventários municipais de emissões de poluentes por fontes móveis ainda são pouco encontrados, em função do alto grau de dificuldade de acesso a informações de qualidade que suportem esses instrumentos, fato que não possibilitou uma comparação deste estudo com outras cidades. Sendo assim, como os inventários estaduais são mais frequentes, recorreu-se a eles para comparação com os valores aqui obtidos.

O 1º Inventário Estadual de Gases de Efeito Estufa de Minas Gerais (FEAM, 2008) tem como base a frota de 2005, o que dificulta um pouco a comparação, pois as tecnologias, os limites de emissão, entre outros fatores são significativamente diferentes aos do ano de 2011. Por fim, optou-se por utilizar o Inventário de Emissão dos Gases de Efeito Estufa Associado ao Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo (CETESB, 2011), que tem como ano base 2008.

A frota veicular de Juiz de Fora em 2011 (DENATRAN, 2011) corresponde a 1,7% da frota do Estado de São Paulo em 2008 (CETESB, 2011). Calculando-se as razões entre os gases emitidos pela frota de Juiz de Fora em relação à frota de São Paulo encontrou-se: 1,7% para o CO₂, 1,4% para o CH₄, 2,1% para o N₂O, 1,3% para o CO, 2,5% NMVOC e 3,2% para o NO_x. Observando-se a razão entre as frotas (1,7%) e as razões entre as emissões (variação de 1,3 a 3,2%), percebe-se a coerência nos resultados obtidos para a cidade de Juiz de Fora.

A inexistência de alguns dados, tais como a frota real de veículos circulantes no município de Juiz de Fora, a conversão de veículos para GNV, o consumo anual de combustível, os fatores de emissão específicos, intensidade de uso, dentre outros, fez com que fosse necessário adotar algumas premissas, que podem não representar exatamente a realidade da cidade. Espera-se que, no futuro, com o aperfeiçoamento na obtenção e coleta dessas informações, as emissões de poluentes possam ser calculadas com grau de rigor mais refinado, minimizando seus erros para se aproximar cada vez mais da realidade. É importante ressaltar a necessidade da participação de diversos órgãos municipais para que haja o aperfeiçoamento desse inventário, uma vez que ele depende de uma vasta gama de informações que derivam de vários setores.

CONCLUSÕES

Representando 64% da frota veicular de Juiz de Fora, os automóveis são os maiores responsáveis pelas emissões de CO₂, CH₄, N₂O, CO e NMVOC. Este fato coloca em pauta a questão do transporte público urbano, tal que um aumento de sua qualidade possa estimular a população a reduzir o uso do transporte individual. Contudo, é necessário que também se leve em conta as emissões provenientes dos ônibus urbanos, os quais têm uma grande contribuição na emissão de NO_x, por exemplo, e na emissão de outros gases e materiais particulados não inventariados nesse trabalho.

A identificação dos setores do transporte que mais impactam a qualidade do ar em Juiz de Fora pode contribuir para o desenvolvimento de planos de ação que avaliem os problemas atuais e contribuam para a melhoria da qualidade ambiental do município. Trata-se de um primeiro passo na direção da identificação de medidas a serem tomadas pelos órgãos ambientais e outros segmentos da sociedade, com o objetivo de reduzir e controlar as emissões atmosféricas, promovendo um incremento na qualidade de vida da população. Fica clara a necessidade de se repensar o sistema de transporte público coletivo, avaliando não só a qualidade do serviço prestado à população, como também as tecnologias de controle de poluição empregadas e a possibilidade do uso de combustíveis menos poluentes pela frota de ônibus urbana.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro e institucional da Universidade Federal de Juiz de Fora e o suporte da Secretaria de Transportes e Trânsito da Prefeitura de Juiz de Fora.

MOBILE SOURCE AIR POLLUTION EMISSION INVENTORY AT THE CITY OF JUIZ DE FORA-MG

ABSTRACT

The increase in the number of vehicles circulating in urban areas, as seen at Juiz de Fora, can cause many problems to the city, such as degradation of air quality and related health problems to the population. This study aims to estimate, according to CETESB and MMA methodology, the pollutant gases emissions by motor vehicles in the city of Juiz de Fora during 2011. Based on emission factors, on the current vehicle fleet and on annual fuel consumption, it was obtained the following emissions: 594.048,2 t of CO₂; 156,8 t of CH₄; 71,2 t of N₂O; 5.712,5 t of CO; 8.285,2 t of NO_x; and 1.844,7 t of non-methane volatile organic compounds.

Keywords: Air emissions inventory. Mobile sources. Air pollution

REFERÊNCIAS

ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Balço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG**. Belo Horizonte, 2010.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário de emissão dos gases de efeito estufa associada ao transporte rodoviário no estado de São Paulo, 1990 a 2008**. São Paulo, 2011.

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. **FROTA 2011**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 30 jan.2012.

DETRAN/MG - Departamento de Trânsito de Minas Gerais. Dados disponibilizados pela Secretaria de Transportes e Trânsito da Prefeitura de Juiz de Fora (SETTRA) em 2011.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa do estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2008.

GOLDEMBERG, J NIGRO, F. E. B.; COELHO, S. T.. Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas. São Paulo: **Imprensa Oficial do Estado de São Paulo**, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

MAIA, A.D.G. **Cenários prospectivos tecnológicos para o transporte rodoviário de carga no Brasil: caminhões**. 2008. Tese (Doutorado COPPE) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MCT -Ministério da Ciência e Tecnologia. *Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético*. Brasília, 2006.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. Brasília, 2011.

MME -Ministério de Minas e Energia. *Balanco energético nacional*. Rio de Janeiro, 2011a.

MME -Ministério de Minas e Energia. **Boletim mensal de combustíveis renováveis**, Edições nº13 a 24 e 37 a 48, 2011b. Brasília. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/spg/menu/publicacoes.html>>. Acesso em: 09 mar. 2012.