

## X-027 - ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE POLUENTES DO TRANSPORTE COLETIVO NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO

**Fabio Rangel<sup>(1)</sup>**

Discente de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Tocantins. Técnico em Edificações pela Escola Técnica Federal de Tocantins.

**Girleene Figueiredo Maciel**

Docente do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins. Doutor em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande-PB

**Juan Carlos Valdés Serra**

Docente do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins. Doutor e Mestre em Engenharia Mecânica pela UNICAMP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Q408N, QI06, Alameda 06, Lote 05 – Plano Diretor Norte – Palmas – TO – CEP 77006-500 – Brasil – Tel: +55 (63) 32131700 - e-mail: [fabiorangel@uft.edu.br](mailto:fabiorangel@uft.edu.br)

### RESUMO

Objetivou-se por meio das técnicas referendadas estimar as quantidades de poluentes emitidos pela frota do transporte público da cidade de Palmas/TO e estabelecer correlação destes poluentes com o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – Proconve/IBAMA do ano de 2008. Estimou-se também algumas porcentagens da mistura de biodiesel ao diesel. Depois de estimada a quantidade de poluentes, os dados foram comparados aos dados de emissão de poluentes de veículos leves onde foi estabelecido um índice de eficiência do transporte público quando comparado aos veículos leves. Utilizou-se o método de “bottom up” para cálculo das emissões gasosas. Os resultados verificam que um ônibus movido a diesel possui uma eficiência ambiental média entre 1% e 25%. Verificou-se também a melhora destes índices com o uso de 20% de mistura de biodiesel aumentando sua eficiência para índices entre 6% e 95%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluição atmosférica, diesel, biodiesel, transporte público.

### INTRODUÇÃO

A humanidade está preocupada com as mudanças climáticas repentinas que estão ocorrendo no planeta terra. O degelo das calotas polares, Tsunamis na Ásia, tornados, até então inimagináveis, na região sul do Brasil, enchentes fora de época em diversas partes do planeta enquanto outras partes sofrem com o avançado processo de desertificação, entre outros. Todos estes fenômenos, segundo diversos estudos científicos, podem ter uma só explicação: o aquecimento global provocado pela emissão de poluentes na atmosfera.

Atualmente existe uma preocupação crucial com a possibilidade de que o clima da Terra possa ser permanentemente alterado pelas emissões de dióxido de carbono resultantes da queima de combustíveis fósseis. Este “aquecimento global” pode ocasionar efeitos climáticos nunca antes experimentados pela espécie humana. Os ônibus oferecem a alternativa economicamente mais barata e eficiente em energia para o transporte coletivo (HINRICHS, 2003).

Os sistemas energéticos, para a maioria das economias, em grande parte são impulsionados pela queima de combustíveis fósseis. Com a combustão do carbono e hidrogênio dos combustíveis fósseis, principalmente, são convertidos em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O), liberando a energia química do combustível em forma de calor. Este calor é geralmente usado tanto diretamente, usados (com algumas perdas de conversão) para produzir energia mecânica, como para gerar eletricidade ou para transporte. O setor de energia geralmente é o setor mais importante em inventários de emissões de gases de efeito de estufa (GEE) e, normalmente, contribui com mais de 90 por cento das emissões de CO<sub>2</sub> e 75% das emissões totais de GEE nos países desenvolvidos. A combustão estacionária é geralmente responsável por cerca de 70% das emissões de gases de efeito estufa no setor energético. Cerca de metade dessas emissões são associados à combustão nas indústrias de energia principalmente usinas elétricas e refinarias. A combustão móvel (tráfego, rodoviário, e outras) faz com esta seja responsável por cerca de um quarto das emissões no setor da energia (IPCC, 2006).

O município de Palmas ainda não possui controle de emissão de poluentes para o transporte coletivo desta capital. Este trabalho tem como seu objetivo principal, estimar a quantidade de poluentes emitidos pelo setor de transporte coletivo do município de Palmas e estabelecer uma correlação entre a quantidade de poluentes por passageiros/quilometro rodado, com a quantidade de poluentes emitidas por veículos leves, para estabelecer um índice de eficiência ambiental para o transporte público do município.

## CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Palmas, a capital do Estado do Tocantins, está localizada na Região Norte, com área territorial de 2.219 km<sup>2</sup>, com população estimada em 178.386 habitantes segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007).

O transporte público coletivo no município de Palmas é composta por quatro empresas, com uma frota operante de 203 ônibus, com percurso total mensal de 911.850,40 km e com 2.065.340,00 passageiros transportados mensalmente. Estes dados foram obtidos junto a ATTM (Agencia de Transito, Transporte e Mobilidade de Palmas) e junto às empresas de transporte coletivo do município.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo foi realizado obedecendo as seguintes etapas:

A primeira etapa deste estudo foi de obtenção de dados de: Frota de coletivos do município, quilometragem média percorrida, consumo médio de combustível e numero de passageiros transportados. Após a coleta utilizou-se para estimativa dos diferentes tipos de poluentes o método *bottom up* (Álvares Jr. & Linke, 2001 apud Moreira, 2008).

Em um segundo momento foram feitos cálculos utilizando o método descrito com uma suposta mistura de 20% de biodiesel ao combustível para estimar as concentrações de poluentes que estas misturas proporcionaria. Também foi estimada a quantidade de poluentes da gasolina utilizando o mesmo método para estabelecermos possíveis distorções entre os poluentes estimados e os efetivamente medidos segundo Proconve/IBAMA.

Na terceira etapa, buscou-se dados, junto ao Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – Proconve/IBAMA, do veículo que obteve a maior “Nota verde” e o que obteve a pior “Nota Verde” onde foram coletados os dados dos veículos e dados dos poluentes emitidos por estes.

A última etapa foi feita através da confrontação de todos os dados a fim de estabelecer uma correlação entre estes e poder estimar um índice de eficiência ambiental para emissão de poluentes do transporte público.

## OBTENÇÃO DE DADOS

Para estimativa dos poluentes dos ônibus foram coletados os dados: Quantidade de empresas, quilometragem média, quantidade de combustível consumido, número de passageiros, numero de linhas conforme Tabela 1.

Tabela 1: Dados da Frota de Onibus da cidade

| Empresa   | km/mês     | Nº Veículos | Consumo médio (l/mês) | Consumo médio (m <sup>3</sup> /mês) | Quantidade de Passageiros/mês | Quantidade Pass./km |
|-----------|------------|-------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Emp-1     | 685.154,70 | 164,00      | 184.653,00            | 184,65                              | 1.522.173,00                  | 2,22                |
| Emp-2     | 44.284,90  | 28,00       | 19.928,21             | 19,93                               | 354.393,00                    | 8,00                |
| Emp-3     | 157.650,70 | 5,00        | 63.298,00             | 63,30                               | 133.751,00                    | 0,85                |
| Emp-4     | 24.760,10  | 6,00        | 10.316,71             | 10,32                               | 55.023,00                     | 2,22                |
| Total Mês | 911.850,40 | 203,00      | 278.195,91            | 278,20                              | 2.065.340,00                  | 2,26                |

Fonte: ATTM, Empresas Expresso Miracema e Veneza, 2010

Obs. – Empresas: <sup>1</sup>Expresso Miracema; <sup>2</sup>(Tep); <sup>3</sup>Palmas; <sup>4</sup>Veneza

Para obtenção de dados dos veículos leves foi observado na relação de veículos disponíveis para consulta, separados por cilindrada do motor, aquele que obteve maior e pior nota verde respectivamente conforme tabela 2:

**Tabela 2: Dados dos Veículos Leves (Nota Verde)**

| Dados:                               | Veiculo 1    | Veiculo 2         |
|--------------------------------------|--------------|-------------------|
| <b>Nota Verde:</b>                   | <b>9,4</b>   | <b>4,8</b>        |
| <b>Nota CO2:</b>                     | 8,1          | 8,8               |
| <b>Marca:</b>                        | Ford         | GMB-Chevrolet     |
| <b>Modelo:</b>                       | Focus        | Corsa             |
| <b>Ano:</b>                          | 2008         | 2008              |
| <b>Semestre:</b>                     | 2            | 2                 |
| <b>Cilindrada:</b>                   | 2.0          | 1.4               |
| <b>Conf/Motor:</b>                   | DOHC I-4 SFI | Econo.Flex 4 Cil. |
| <b>Tipo Flex:</b>                    | Gasolina     | Flex Fuel         |
| <b>Combustível:</b>                  | Gasolina     | GASOLINA          |
| <b>Transmissão:</b>                  | M5           | M5                |
| <b>DADOS DO ENSAIO</b>               |              |                   |
| <b>N. de ensaios:</b>                | 9            | 7                 |
| <b>N. de ensaios:</b>                | 5            | 5                 |
| <b>THC (g/km):</b>                   | 0,020        | 0,000             |
| <b>CO (g/km):</b>                    | 0,090        | 1,240             |
| <b>Nox (g/km):</b>                   | 0,020        | 0,020             |
| <b>MP (g/km):</b>                    | 0,000        | 0,000             |
| <b>CO2 (g/km):</b>                   | 58,130       | 39,887            |
| <b>CO2 - 17,7% de alcool (g/km):</b> | 28,032       | -                 |

Fonte: PROCONVE/IBAMA, 2010

## DESENVOLVIMENTO DOS CALCULOS

O cálculo para estimar a emissão de poluentes como os hidrocarbonetos (HC), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx), materiais particulados (MP) emitidos mensalmente pela frota do município, foi realizado através do método de *botoom-up*. Segundo Mattos (2001) apud Moreira, (2008), o método *botoom-up* leva em conta a emissão de todos os gases e quantifica as emissões considerando o tipo de equipamento utilizado e o rendimento.

A massa de poluentes emitida pelo diesel e biodiesel 20% foi obtida através da equação 1, em que primeiramente se calculou a energia consumida a partir do consumo mensal de combustível e do Poder Calorífico Inferior (PCI) e depois de obtida a energia, a partir do fator de emissão de diferentes poluentes estimou-se a massa de poluentes para os dois combustíveis.

$$Emissões\ i = FE\ ia \times Atividade\ a \quad (Equação\ 1)$$

Onde:

*Emissões i* → Emissões de um gás i;

*FE* → Fator de emissão do gás i;

*Atividade* → Quantidade de energia consumida ou distância percorrida;

*i* → Gás: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC);  
*a* → Tipo de combustível (Diesel e Biodiesel 20% );

Os valores de emissão de poluentes da gasolina também foram estimados seguindo o mesmo método para identificar possíveis distorções quando comparados a valores efetivamente medidos por BRASIL (2009). Para a estimativa dos valores de poluentes da gasolina utilizou-se a quilometragem mensal da frota de ônibus e adotou-se um rendimento médio do motor de 12 quilômetros por litro de combustível.

Para estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> obedeceu-se o estabelecido pelo IPCC, onde descreve que para cada 12 toneladas de CO lançados na atmosfera, são emitidos outras 44 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Para estabelecermos o índice de eficiência ambiental utilizou-se o seguinte método:

A massa de poluentes encontrada, expressa em Kg/mês foi dividida pela quantidade de km/mês e novamente dividida por 1000 onde o resultado encontrado está expresso em g/km.

O resultado de determinado poluente, conforme Tabela 5, da frota de ônibus, foi dividido pela quantidade média de passageiros km/mês, descrito na Tabela 1. Este novo resultado foi confrontado com os resultados do mesmo poluente dos veículos com Nota Verde 9,4 e Nota Verde 4,8 e com o valor estimado de gasolina. O mesmo processo foi repetido para a mistura de 20% biodiesel.

O valor do índice de eficiência ambiental média foi obtido através da soma dos resultados de cada poluente confrontado pela divisão da quantidade de poluentes medido.

## RESULTADOS

Com os dados do setor de transporte público do município de Palmas pudemos estimar a energia consumida pela frota. Processou-se da mesma forma a estimação para a energia consumida pelo veículo a gasolina. Os resultados encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3: Cálculos da energia consumida pela frota do Município de Palmas**

| Combustível                | Consumo (m <sup>3</sup> /mês) | Densidade (Kg/m <sup>3</sup> ) | Consumo (Kg/mês) | PCI (Kcal/kg) | Energia Consumida (Kcal/mês) | Energia Consumida (KWH/mês) |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|
| Óleo Diesel <sup>1</sup>   | 278,20                        | 835,00                         | 232.293,59       | 10.167,06     | 2.361.742.843,08             | 2.746.706,93                |
| Biodiesel 20% <sup>1</sup> | 282,37                        | 844,00                         | 238.319,31       | 9.916,45      | 2.363.281.056,08             | 2.748.495,87                |
| Gasolina <sup>2</sup>      | 75,99                         | 750,00                         | 56.990,65        | 10.600,00     | 604.100.890,00               | 702.569,34                  |

<sup>1</sup> Parâmetros descritos por Baldassari, 2007

<sup>2</sup> Estimação de consumo veículo a gasolina rendimento 12km/l.

A partir dos valores da energia consumida, foram calculados os valores de massa de poluentes conforme Tabela 4. Na tabela 5, encontramos os valores expressos em g/km.

**Tabela 4: Massa de poluentes estimados**

| Combustível                   | Emissão de poluentes |                |                 |                |                                 |
|-------------------------------|----------------------|----------------|-----------------|----------------|---------------------------------|
|                               | CO<br>(Kg/mês)       | HC<br>(Kg/mês) | NOx<br>(Kg/mês) | MP<br>(Kg/mês) | CO <sub>2</sub> (*)<br>(Kg/mês) |
| Óleo Diesel <sup>1</sup>      | 10.986,83            | 3.021,38       | 19.226,95       | 412,01         | 40.285,03                       |
| Biodiesel 20% <sup>1(3)</sup> | 4.012,80             | 329,82         | 18.002,65       | 274,85         | 14.713,61                       |
| Gasolina <sup>2</sup>         | 1.405,14             | 210,77         | 421,54          | 35,13          | 5.152,18                        |

<sup>1</sup> Parâmetros descritos por Baldassari, 2007<sup>2</sup> Estimção de consumo veículo a gasolina rendimento 12km/l.

Fator de emissão de CO, HC, NOx, MP conforme Lei Federal 8723 de 1993

<sup>(3)</sup> Fator de emissão CO, HC, NOx, MP conforme Moreira, 2008(\*) Fator de emissão de CO<sub>2</sub> conforme IPCC, 2006**Tabela 5: Massa de poluentes estimados (g/km)**

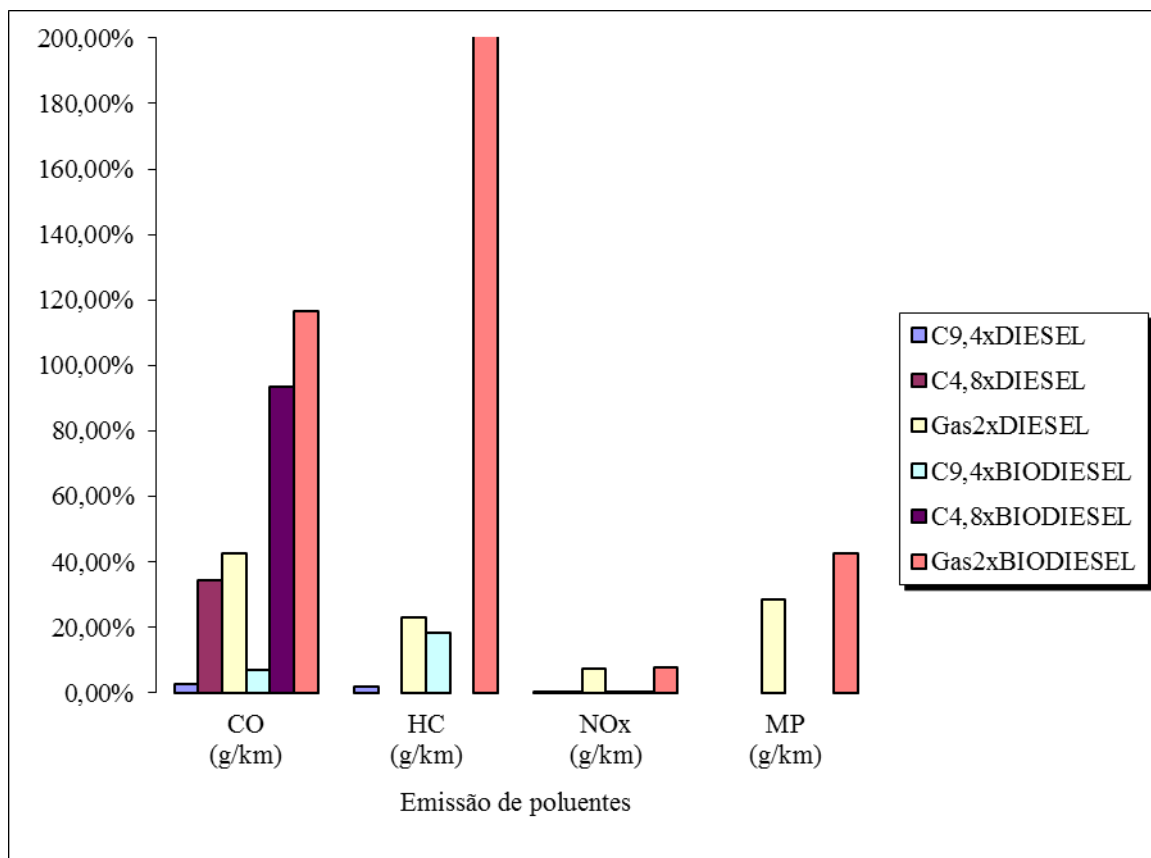
| Combustível                   | Emissão de poluentes |              |               |              |                               |
|-------------------------------|----------------------|--------------|---------------|--------------|-------------------------------|
|                               | CO<br>(g/km)         | HC<br>(g/km) | NOx<br>(g/km) | MP<br>(g/km) | CO <sub>2</sub> (*)<br>(g/km) |
| Óleo Diesel <sup>1</sup>      | 12,05                | 3,31         | 21,09         | 0,45         | 44,18                         |
| Biodiesel 20% <sup>1(3)</sup> | 4,40                 | 0,36         | 19,74         | 0,30         | 16,14                         |
| Gasolina <sup>2</sup>         | 1,54                 | 0,23         | 0,46          | 0,04         | 5,65                          |

<sup>1</sup> Parâmetros descritos por Baldassari, 2007<sup>2</sup> Estimção de consumo veículo a gasolina rendimento 12km/l.

Fator de emissão de CO, HC, NOx, MP conforme Lei Federal 8723 de 1993

<sup>(3)</sup> Fator de emissão CO, HC, NOx, MP conforme Moreira, 2008(\*) Fator de emissão de CO<sub>2</sub> conforme IPCC, 2006

A partir dos resultados da Tabela 5, estes foram confrontados com os resultados da Tabela 2 onde se pode estabelecer um índice de eficiência para cada poluente confrontado, conforme Gráfico 1.



**Gráfico 1. Comparativo de Eficiência Ambiental entre Combustíveis**

## CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

O método *botoom-up* apresenta relativa simplicidade e confiança para estimar a emissão de gases poluentes.

Para o gráfico 1 não foram apresentadas as correlações do poluente CO<sub>2</sub>, devido a enorme discrepância entre os parâmetros adotados pelo IPCC com os resultados medidos pelo Proconve/IBAMA nos veículos leves. Segundo o IPCC a proporção de CO<sub>2</sub> em relação ao CO seria de aproximadamente 3,67 gramas de CO<sub>2</sub> para 1 grama de CO, contudo, os resultados encontrados pelo Proconve/IBAMA nos mostram que os veículos leves emitiram em média de 73,70 gramas de CO<sub>2</sub> para 1 grama de CO.

Com os resultados verificou-se que a frota de veículos de transporte público no município possui uma eficiência ambiental média entre 1% e 25%.

Todas as curvas apresentam certa correlação, exceto a curva comparativa entre Gas2XBiodiesel onde verificou-se uma eficiência de 140% para HC. Tal fato é devido ao valor estimado da gasolina, conforme Brasil, 1993 ser muito próximo ao valor estimado para o Biodiesel, conforme Baldassari, 2007.

A eficiência de 1% é verificada quando os poluentes confrontados são os poluentes estimados pelo diesel com os efetivamente medidos pelo veículo que recebeu maior nota verde. Quando confrontamos valores estimados para os dois tipos de combustível verificamos que esta eficiência sobe para 25%. Tal diferença se dá devido ao fato de as estimativas tratarem dos limites máximos de emissão conforme Brasil, 1993. Também deve ser levado em consideração o fato que os veículos leves, com maior e menor nota verde, são do ano de fabricação de 2008 e que nem toda frota de veículos leves da cidade foram fabricados neste ano o que pode mostrar outros valores de eficiência.

As estimativas para veículos leves foram feitas levando em conta apenas um passageiro (motorista) onde, pode-se concluir que os índices apresentados decaem à medida que o veículo leve transporta mais passageiros, prejudicando ainda mais a eficiência ambiental do ônibus.

Verificou-se também a melhora destes índices com o uso de 20% de mistura de biodiesel, com eficiência entre 6% e 95%, com situação análoga ao primeiro caso, onde a eficiência ambiental é consideravelmente incrementada. Também se percebe que, como em outras regiões do País, a quantidade média de passageiros transportados por quilometro rodado é baixa e que a possibilidade de otimização das rotas visando o acréscimo desta média poderia elevar consideravelmente estes índices.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGARWAL, A.K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in energy and combustion science*. v. 33, n. 3, p. 233-271, jun. 2007.
2. ÁLVARES JR, O. M.; LINKE, R. R. A. Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil. São Paulo: CETESB, 182 p, 2001.
3. BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. IBAMA. Consulta dos níveis de emissão dos veículos novos brasileiros. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. 2009. Link: [http://servicos.ibama.gov.br/ctf/publico/sel\\_marca\\_modelo\\_rvep.php](http://servicos.ibama.gov.br/ctf/publico/sel_marca_modelo_rvep.php). Acesso em: 20. out.2009.
4. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006. Relatório final. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Link: [www.nmme.gov.br/nmme](http://www.nmme.gov.br/nmme). Acesso em: 03.out.2009.
5. HINRICH, ROGER A. Energia e Meio Ambiente. Tradução da 3ª ed. norte americana. / ROGER A. HINRICH, MERLIN KLEINBACH. Tradução técnica FLÁVIO MARON VICHI, LEONARDO FREIRE DE MELLO. Cengage Learning, São Paulo, 2009.
6. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2007. Consultado por via eletrônica. Link: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acessado em 03.out.2009.
7. IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Link: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp> Acesso em: 18.set.2009.
8. ISABEL M. MOREIRA, PRISCILA B. Estimativa e comparação da emissão de poluentes pelos ônibus urbanos da cidade de Florianópolis (SC) com a utilização de diesel e biodiesel como combustíveis. XIII SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2008. Link: [www.lcqar.ufsc.br/adm/publicacoes/VI-055.pdf](http://www.lcqar.ufsc.br/adm/publicacoes/VI-055.pdf). Acesso em 12.09.2009.
9. KOZERSKI, G. R.; HESS, S. C. Estimativa dos Poluentes Emitidos Pelos Ônibus e Microônibus de Campo Grande/MS, Empregando Como Combustível Diesel, Biodiesel ou Gás Natural. *Revista Engenharia Sanitária-Ambiental*. Rio de Janeiro. Vol. 11, n. 2, p. 113-117. Abr/Jun 2006.
10. MATTOS, L. B. R. A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O Caso do Município do Rio de Janeiro. Tese (Mestrado em Planejamento Energético). 179 p. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2001.
11. TURRIO BALDASSARRI L, CONTI L, CREBELL R, DE BERARDIS B, GAMBINO M, IAMICELI AL, IANNACONE S, BATTISTELLI CL. Caratterizzazione chimica e tossicologica delle emissioni da carburanti alternativi per il trasporto pubblico nelle aree urbane. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2008. (Rapporti ISTISAN 08/7). Link: [www.iss.it](http://www.iss.it). Acesso em: 20.out.2009.