

VI-055 – ESTIMATIVA E COMPARAÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES PELOS ÔNIBUS URBANOS DA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS (SC) COM A UTILIZAÇÃO DE DIESEL E BIODIESEL COMO COMBUSTÍVEIS.

Isabel M. Moreira⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental Pela UFSC. Bolsista do CNPq AT/NM, Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/ENS/UFSC .

Priscila Batista de Campos

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental Pela UFSC. Bolsista do CNPq, Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/ENS/UFSC .

Marina Eller Quadros Lacey

Eng^a Sanitarista e Ambiental graduada pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003/2). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/ENS/UFSC .

Gilson Rodrigo de Miranda

Químico graduado pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Eng^a Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Pesquisadora do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/ENS/UFSC).

Henrique de Melo Lisboa

Prof. do ENS/UFSC; Eng. Civil pela UFSC (1980); Especialização em Hidrologia pela Escola de Hidrologia e Recursos Hídricos - Madrid (1981); Mestre em Meteorologia - USP (1986); DEA em Química da Poluição Atmosférica e Física do Meio-ambiente pela Université Paris VII (1993); Doutor em Poluição Atmosférica pela Université de Pau/Ecole des Mines d'Alès (França, 1996).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina. Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário / Trindade, Florianópolis, SC. CEP: 88040-970 Brasil. Fone (48) 331-9597 R.206 Fax: (048) 234-6459. e-mail: isabel.mmoreira@gmail.com

RESUMO

Esse trabalho teve como principal objetivo estimar as quantidades de poluentes como o Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos (HC), Óxidos de Nitrogênio (NOx) e Material Particulado (MP), emitidos mensalmente pela frota de veículos que circula diariamente no transporte urbano da cidade de Florianópolis – SC, com a utilização de Diesel como combustível; e estimar os prováveis valores se o combustível utilizado fosse substituído pelo Biodiesel em 20% de volume adicionado ao Diesel. Depois de estimados, os valores de emissões para o Diesel e Biodiesel 20% foram comparados e as vantagens desta alteração foram analisadas. A primeira etapa do trabalho constitui na obtenção de dados como o número de veículos da frota operante, a quilometragem média percorrida, o consumo médio e o tipo de combustível utilizado, junto à Secretaria Municipal dos Transportes de Terminais de Florianópolis (SMTT), Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN-SC) e em algumas empresas de ônibus da capital. Em seguida, os cálculos para estimar a emissão de poluentes foram efetuados através do método *bottom-up*. Para obter a emissão dos diferentes poluentes, esse método relaciona a energia produzida pelos veículos e os fatores de emissão dos componentes encontrados para cada poluente mencionado. Com os resultados das emissões dos poluentes para os dois combustíveis, verificou-se que com a utilização de Biodiesel 20% reduzir-se-ia uma grande quantidade de poluentes emitidos.

PALAVRAS-CHAVE: Emissão de poluentes, diesel, biodiesel, transporte urbano, ônibus coletivo.

INTRODUÇÃO

Desde o momento em que o homem passou a extraír e queimar combustíveis fósseis, notadamente o carvão mineral e os derivados do petróleo, o equilíbrio de milhões de anos do ambiente em que vive foi consideravelmente afetado. A poluição atmosférica tem emergido como um dos maiores problemas globais. Até meados de 1980, a poluição atmosférica urbana era atribuída basicamente às emissões industriais, e as ações dos órgãos ambientais visavam ao controle das emissões dessas fontes. Hoje é sabido que a poluição urbana tem sua causa principal nas emissões veiculares, devido ao crescimento constante da frota.

As emissões veiculares carregam a atmosfera com diversas substâncias tóxicas que podem gerar grandes problemas à saúde do ser humano e ao meio ambiente. Assim, a poluição causada pelas emissões veiculares vem se tornando, cada vez mais, tema de pesquisas e estudos, juntamente com o crescimento do número de veículos nas principais cidades do país. Segundo dados da CETESB(*apud* Freitas, 2005), no ano de 2003 somente os veículos movidos a diesel na cidade de São Paulo emitiam 444,4 mil toneladas de monóxido de carbono (CO), 72,4 mil toneladas de hidrocarbonetos (HC), 324,5 toneladas de dióxidos de nitrogênio (NOx), 11,2 mil toneladas de dióxidos de enxofre (SO_x) e 20,2 mil toneladas de materiais particulados (MP).

O uso do óleo Diesel, como todo o derivado de petróleo, é também uma prática que favorece a intensificação do efeito estufa global. Isto pode ser explicado por que hoje é feita a queima das reservas de carbono fossilizadas na forma de petróleo. Assim, este carbono liberado à atmosfera pela queima de combustíveis fósseis levará milhões de anos para retornar à sua forma original. Uma solução que se busca é utilizar as reservas de carbono da biomassa (com o uso de biocombustíveis). Esta forma de carbono estaria então dentro de um ciclo muito mais curto, que se repete diariamente, com a foto-assimilação do carbono pelas plantas no seu crescimento.

Acredita-se plenamente que existirá uma transição da matriz energética mundial. As mudanças na matriz energética estão acontecendo neste momento e o desenvolvimento dos biocombustíveis é prova disso. O Biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa. É renovável e empregado em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. O biodiesel de óleo de fritura é uma saída estratégica para resolver um problema relacionado a um passivo ambiental (óleos de cozinha) e gerar uma fonte de energia alternativa que se enquadra nos esforços nacionais e internacionais de redução de emissão dos gases causadores do efeito estufa. (Miranda, 2007).

O uso do biodiesel no Brasil é estabelecido pela Lei Nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Segundo o Artigo 2º desta Lei, foi introduzido o biodiesel na matriz energética brasileira, sendo fixado em 5% (cinco por cento), em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Esta lei estabelece um prazo de 8 anos para a sua aplicação, sendo que após 3 anos da sua publicação (janeiro de 2008), já é obrigatória a utilização de 2% (dois por cento), em volume, de Biodiesel no óleo Diesel.

A maioria das cidades brasileiras não possui nenhum controle ou monitoramento da qualidade do ar, sendo Florianópolis uma dessas. Esse trabalho traz uma estimativa da quantidade de poluentes emitidos pelos ônibus urbanos de Florianópolis, quando utilizam óleo Diesel como combustível e traz os resultados da emissão que ocorreria com a utilização de uma mistura de Biodiesel de óleo de fritura em 20% de volume no óleo Diesel para o mesmo caso.

A primeira etapa para a elaboração desse documento constituiu-se no levantamento de dados junto a Secretaria Municipal dos Transportes de Terminais de Florianópolis, Departamento Estadual de Trânsito e em algumas empresas de ônibus da capital. Feito isso, o método *botoom-up* (Álvares Jr. & Linke, 2001 *apud* Siqueira et.al. 2007) foi utilizado e as emissões para os diferentes tipos de poluentes foram calculadas. Com os resultados verifica-se que é possível diminuir grande parte do problema e os mesmos podem servir como base para novas experiências, tanto na capital catarinense, como em outros locais do país, desde que sejam passíveis de aplicação.

ÁREA DE ESTUDO

Florianópolis, a capital catarinense, é composta por uma ilha principal, e uma parte continental. Possui uma área territorial de aproximadamente 433 Km², sendo habitada por uma população de aproximadamente 397 mil habitantes, dados esses coletados a partir de estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para o ano de 2007 (IBGE, 2007).

O transporte público urbano na cidade é realizado por cinco empresas, formado por uma frota composta de aproximadamente 450 ônibus. Todos os veículos utilizam óleo Diesel como combustível, divididos em dois tipos, ônibus regular (ônibus convencional e alguns veículos bi-articulados) e ônibus executivo (micro-ônibus). Estas cinco empresas compartilham um total de 182 linhas, ou trajetos, na ilha e no continente (FLORIANÓPOLIS, 2007).

OBTENÇÃO DE DADOS

Para se estimar a quantidade de poluentes emitidos pelos ônibus utilizando diesel como combustível e supondo uma utilização de 20% de biodiesel ao diesel, alguns dados foram coletados referentes ao transporte urbano municipal, como o número de veículos, tipo e consumo médio de combustível e quilometragem percorrida, junto a Secretaria Municipal dos Transportes de Terminais de Florianópolis (SMTT), Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN-SC) e em algumas empresas de ônibus da capital.

O Poder calorífico inferior (PCI) e a densidade do óleo Diesel e do biodiesel (produzido a partir de óleo de soja), foram obtidos respectivamente, segundo Agarwal (2005). Para se obter o PCI e a densidade do biodiesel 20%, relacionou-se os valores descritos para o diesel e biodiesel 100%. A Tabela 1 contém alguns dados referentes à frota de ônibus que circula diariamente em Florianópolis, dados referentes ao período de maio de 2006.

Tabela 1: Dados referentes à frota de ônibus que circula diariamente em Florianópolis.

Frota operante	nº. de veículos	410
Quilometragem percorrida	km/mês	31.542.645
Consumo médio de diesel	Kg/L	2,09
Densidade do diesel	kg/L	0,85
Densidade do biodiesel 20%	kg/L	0,863
PCI diesel	MJ/Kg	43
PCI biodiesel 20%	MJ/Kg	41,1

O consumo mensal de diesel foi obtido a partir dos dados de quilometragem percorrida mensalmente, consumo de combustível por litro e densidade dos mesmos. Para o consumo mensal de biodiesel 20%, considerou-se um consumo aproximadamente 1% maior do que o consumo de diesel, já que segundo Agarwal (2005) o consumo de biodiesel 100% é aproximadamente 5% superior ao de diesel.

Para o cálculo da quantidade de poluentes emitidos mensalmente por veículos a diesel, baseou-se nos limites estabelecidos pela Lei 8.723/93 (Brasil, 1993), conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Fatores de emissão para o diesel e biodiesel 20% (fonte: Brasil, 1993).

Combustível	Fatores de Emissão dos Poluentes			
	CO (g/KW)	HC (g/KW)	NO(x) (g/KW)	MP (g/KW)
Diesel	4	1,1	7	0,15
Biodiesel 20%	1,46	0,12	6,55	0,1

DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS

O cálculo para estimar a emissão de poluentes como os hidrocarbonetos (HC), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx) e os materiais particulados (MP) emitidos mensalmente pela frota de ônibus urbano de Florianópolis, foi realizado através do método de *botoom-up*. Segundo Mattos (2001), 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.

$$\text{Emissões}_i = \text{FE}_{ia} \times \text{Atividade}_a$$

(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%);

RESULTADOS

A tabela 3 apresenta os resultados de consumo mensal de combustível e energia pelos ônibus de Florianópolis, quando o combustível utilizado é o óleo diesel e estima os prováveis valores para biodiesel 20%.

Tabela 3: Consumo e energia consumida.

Combustível	Consumo (kg/mês)	Energia consumida (kWh/mês)
Diesel	12.842.436	153.395.768
Biodiesel 20%	13.944.438	159.199.004

As massas de poluentes emitidos mensalmente pelos ônibus de Florianópolis, quando o combustível é o diesel e para o caso em que se utilize o biodiesel 20%, são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4: Massas de poluentes emitidos.

Poluente	Oleo Diesel (Kg/mês)	Biodiesel 20% (Kg/mês)	Teor de redução de poluentes emitidos (%)
CO	613.583	223.958	63,5
HC	168.735	18.407	89
NOx	1.073.770	1.004.742	6,5
MP	23.009	15.340	33,5

A estimativa de massa de poluentes emitidos mostrou a elevada redução da poluição atmosférica causada pelos ônibus quando se substitui o diesel pelo biodiesel 20%. A redução da emissão de hidrocarbonetos foi a mais acentuada, chegando a 90%. Outra redução significativa observada foi a de emissões de monóxido de carbono no mês, capazes de reduzir 63,5%, bem como a redução de material particulado, em torno de 34%. A redução de NOx não foi tão significativa quanto a dos outros poluentes, em torno de 7%, pois sabe-se que a queima do biodiesel insere maior quantidade de oxigênio na câmara de combustão, propiciando a síntese de óxidos de nitrogênio (MIRANDA, 2007).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia utilizada para avaliar a quantidade de poluentes emitidos apresentou-se como uma forma simples e rápida de se ter uma noção dos impactos que uma mudança na matriz energética poderá causar ao meio ambiente.

A estimativa de poluentes emitidos quando o combustível é o óleo Diesel e ao substituí-lo por uma mistura de 20% de biodiesel mostrou que a utilização do biodiesel 20% é capaz de reduzir expressivamente a quantidade de poluentes emitidos mensalmente pelos ônibus de Florianópolis. Entretanto, ressalta-se que esta estimativa é teórica e procura se aproximar da emissão de fato dos poluentes, mas sabe-se que a emissão real de poluentes depende de diversos outros fatores que não foram levados em consideração, como: as características da frota, idade, regulagem e manutenção, modo de operação e sistema de tráfego local, entre outros.

Ressalta-se ainda que estudos mais aprofundados em relação à utilização dos biocombustíveis desenvolvidos com grãos comestíveis devem ser realizados para que a utilização de tais grãos não ocasione uma escassez de alimentos. A utilização de somente 20% de biodiesel ao diesel já seria capaz de reduzir impactos sobre o meio ambiente sem causar grandes preocupações com a disponibilidade de alimentos. Outra estratégia bastante interessante seria o uso do biodiesel produzido a partir de óleo de fritura, que daria um destino sustentável e rentável a um resíduo de difícil disposição. A principal desvantagem do uso desta matéria-prima é a quantidade relativamente pequena frente ao consumo em massa do combustível e a fonte difusa, que requer uma estratégia de coleta e transporte até o centro de produção de biodiesel.

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. BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>> Acessado em 30/09/2007.
3. BRASIL. **Lei n. 11.097**, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Sub Chefia para Assuntos Jurídicos, 2005.
4. BRASIL. **Lei n. 8.723/93**. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Sub Chefia para Assuntos Jurídicos, 1993.
5. FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Site oficial. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/> Acessado em 02/01/2008.
6. FREITAS, M.K. **Poluição veicular urbana**. Ambiente Brasil notícias. 30 de setembro de 2005. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3?action=ler&id=21066> Acessado em 30/09/2007.
7. MIRANDA, Gilson Rodrigo. **Avaliação das emissões atmosféricas provenientes da combustão de diesel, biodiesel de resíduos de óleo de fritura e suas misturas**. 2007. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
8. MATTOS, Laura Bedeschi Rego. **A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O caso do Município do Rio de Janeiro**. 178f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.
9. SIQUEIRA, M.R.D. PAES, R.P.D. FIGUEIREDO, G.S. LEMO, R.F. SATO, M.C.S. **Estimativa dos poluentes emitidos pelos ônibus e microônibus de Cuiabá e Várzea Grande - MT, empregando como combustível diesel, biodiesel ou gás natural**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., Belo Horizonte. Anais.. Belo Horizonte: ABES, 2007.