

QUALIDADE DO AR

QUANTIFICAÇÃO DAS TAXAS DE EMISSÕES ANUAIS DE CO, NO_x E MP DE ÔNIBUS URBANOS DAS CIDADES COM AS CINCO MAIORES FROTAS DO BRASIL

Fábio Paiva da Silva – f.paivadasilva@yahoo.com.br
Universidade Federal do Pará

Ananda Cristina Fróes Alves – ananda.froes.alves@gmail.com
Universidade Federal do Pará

Gabriela Araújo Fragoso – gabrielafragoso.ufpa@hotmail.com
Universidade Federal do Pará

Jéssica Cristina Conte da Silva – jessicacris07@hotmail.com
Universidade Federal do Pará

Brenda Gonçalves Piteira Carvalho –brendapiteira@gmail.com
Universidade Federal do Pará

Resumo: Uma das principais consequências do crescimento urbano é uma maior demanda por infraestrutura e serviços, sendo a mobilidade urbana uma das mais significativas. Entretanto, os veículos são uma das principais fontes de poluição atmosférica nas cidades. No Brasil, 21,2% da população de cidades com mais de 60000 habitantes usa os ônibus como principal meio de transporte. Portanto, o objetivo do trabalho é quantificar a taxa de emissão de CO, NO_x e MP dos ônibus de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Curitiba e Porto Alegre. Para isso, foi utilizada metodologia desenvolvida pelo Ministério do Meio Ambiente, no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. O principal resultado obtido foi que a cidade de São Paulo sozinha tem maior taxa de emissão anual de poluentes se comparada às outras quatro cidades juntas. O desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis e maior atuação do poder público podem tornar o problema da poluição do ar menos danoso nos grandes centros urbanos do Brasil.

Palavras-chave: Poluição do ar, emissão de poluentes, ônibus urbanos.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Uma das principais consequências do crescimento urbano é uma maior demanda por infraestrutura e serviços. Dentre os quais, pode-se destacar a mobilidade urbana, pois é uma atividade essencial que afeta direta ou indiretamente a qualidade de vida de toda a

população. A dinâmica de grandes centros urbanos é extremamente dependente do sistema de transporte público, sendo inconcebível planejar o desenvolvimento da cidade sem este serviço. Portanto, é essencial estudar todos os aspectos do transporte público, sejam eles positivos ou negativos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

É inegável que a maior circulação de veículos nas cidades tem causado efeitos ambientais negativos, como a diminuição da qualidade do ar, por exemplo. A queima de combustíveis pelos veículos é uma das principais fontes de emissões de poluentes atmosféricos nas cidades, o que pode acarretar em danos significativos na saúde e qualidade de vida da população. Neste sentido, é crucial que se pense na sustentabilidade dos sistemas de transporte urbano, visto que tendem a crescer cada vez mais e, conseqüentemente, aumentar ainda mais a poluição atmosférica.

Existem muitos poluentes relacionados à queima de combustíveis por parte dos veículos, tais como o Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Óxidos de Enxofre (SO_x), Material Particulado, etc. O CO, por exemplo, pode afetar a respiração das células, reduzindo a oxigenação do corpo; o NO_x pode causar aumento a sensibilidade a asma, bronquite, principalmente em crianças e idosos; já os MPs podem causar câncer respiratório, inflamação no pulmão, agravamento no sintomas de asma e arteriosclerose (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, sem data).

De acordo com Bubicz e Sellitto (2012), no Brasil, a principal modalidade transporte público se dá através dos ônibus urbanos, sendo usado por 21,2% da população de municípios com mais de 60.000 habitantes. Ainda que seja o tipo de transporte que gere menores emissões de poluentes por passageiro e seja considerado uma das principais alternativas para a sustentabilidade dos espaços urbanos, é muito importante que haja o monitoramento das emissões de poluentes por parte destes veículos, visto que a frota de ônibus vem crescendo rapidamente em todas as grandes cidades do país. Os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná representam mais de 70% de todos os veículos que circulam no país, por isso deve-se ter um monitoramento ainda mais forte nestes estados, principalmente em suas capitais (SINDIPEÇAS, 2016).

No que diz respeito aos ônibus urbanos, seus motores são sempre movidos a Diesel e seu controle de emissão de poluentes é realizado pelo Ministério do Meio Ambiente, através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), criado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) em 1986. Desde então, o PROCONVE estipula padrões de emissões de poluentes, causando uma diminuição constante nos limites permitidos e fazendo com que os motores tornem-se cada vez menos poluentes. Este controle é realizado através das fases do PROCONVE, em que cada fase, torna os limites de emissões mais criteriosos e menos danosos à qualidade do ar. Atualmente, o Brasil está na sétima fase do PROCONVE (L7 e P7), iniciada em 2012, que trouxe critérios ainda mais rigorosos para a emissão de poluentes por veículos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

O objetivo deste trabalho é quantificar e comparar as taxas de emissões anuais dos poluentes CO, NO_x e MP pelos ônibus urbanos das capitais dos estados com a maior frota, que são São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Curitiba e Porto Alegre.

2. METODOLOGIA

Para quantificação das emissões anuais de CO, NO_x e MP pelos ônibus da cidade de Belém, foi utilizada a equação a seguir (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

$$E = Fr \times Iu \times Fe \quad (1)$$

Onde:

E : taxa anual de emissão do poluente em questão (g/ano);

Fr : frota circulante de veículos no ano em questão (número de veículos);

Iu : intensidade do uso do veículo no ano em questão (km/ano);

Fe : fator de emissão do poluente em questão ($g_{poluente}/km$).

Das variáveis acima, a frota circulante (Fe) pode ser obtida no IBGE. Já a intensidade do uso do veículo (Iu) e o fator de emissão do poluente (Fe) dependem da idade média da frota, que podem ser obtidos em órgãos oficiais como prefeituras e organizações. Para a determinação do Fe para veículos do ciclo Diesel, deve-se usar a Equação 2.

$$Fe = \frac{\frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} \times \frac{g_{diesel}}{L_{diesel}}}{\frac{Km}{L_{diesel}}} \quad (2)$$

Onde:

Fe : fator de emissão do poluente em questão ($g_{poluente}/km$);

$\frac{g_{poluente}}{g_{diesel}}$: é a quantidade de determinado poluente gerado para cada grama de diesel consumida;

$\frac{g_{diesel}}{L_{diesel}}$: é a densidade do Diesel utilizado no veículo (g/L);

$\frac{Km}{L_{diesel}}$: quilometragem por litro de combustível (km/L).

De acordo com Faiz *et al* (1996), a densidade média do Diesel é de 855g/L. Já o Ministério do Meio Ambiente (2011) estima que a quilometragem por litro de Diesel consumido por ônibus urbanos é de 2,3km/L.

Para determinar $g_{poluente}/g_{diesel}$ é preciso primeiramente saber que as emissões de poluentes são medidas de acordo com o trabalho realizado pelo motor ($g_{poluente}/kWh$) e com o consumo específico do motor (g_{diesel}/kWh), ou seja, é necessário usar a Equação 3 para que a variável esteja em $g_{poluente}/g_{diesel}$.

$$\frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} = \frac{\frac{g_{poluente}}{kWh}}{\frac{g_{diesel}}{kWh}} \quad (3)$$

Onde:

$\frac{g_{poluente}}{g_{diesel}}$: é a quantidade de determinado poluente gerado para cada grama de diesel consumida;

$\frac{g_{poluente}}{kWh}$: massa de poluente gerado por unidade de trabalho realizado pelo motor;
 $\frac{g_{diesel}}{kWh}$: consumo específico do motor.

A determinação destas variáveis depende diretamente da fase do PROCONVE do motor Diesel em questão, que, por sua vez, depende do ano de fabricação do motor. Quanto mais moderno, menor será o fator de emissão e, conseqüentemente, a quantidade de poluentes gerados.

Após calcular as emissões anuais de CO, NOx e MP das cinco cidades, foi realizada uma comparação entre elas e uma discussão sobre os resultados obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o IBGE (2015), no ano de 2014, a frota circulante de ônibus (*Fr*) no município de São Paulo era de 42.917, no Rio de Janeiro de 17.723, em Belo Horizonte de 8.989, em Curitiba de 7.182 e em Porto Alegre de 5.166. A idade média da frota de ônibus, por sua vez, é de 5,17 anos em São Paulo (SPTRANS, 2016), 4,06 anos no Rio de Janeiro (FETRANSPOR, 2015), 4,92 anos em Belo Horizonte (BHTRANS, 2016), 7 anos em Curitiba (CURITIBA, 2015) e 5,15 anos em Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2015).

Em posse desses dados, é possível estimar a intensidade de uso dos ônibus (km/ano) e a fase do PROCONVE dos motores Diesel da frota. Segundo o Ministério do Meio ambiente (2011), a intensidade de uso varia de acordo com os anos de uso dos veículos, assim como a fase do PROCONVE está ligada ao ano de implantação do Programa. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos em cada um dos municípios

Tabela 1 – Dados obtidos por município.

| Município | Frota de ônibus - <i>Fr</i> | Idade média da frota (anos) | Intensidade de uso - <i>Iu</i> (km/ano) | Fase do PROCONVE |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|------------------|
| São Paulo | 42.917 | 5,17 | 81000 | P5 |
| Rio de Janeiro | 17.723 | 4,06 | 82800 | P5 |
| Belo Horizonte | 8.989 | 4,92 | 81000 | P5 |
| Curitiba | 7.182 | 7,00 | 77400 | P5 |
| Porto Alegre | 5.166 | 5,15 | 81000 | P5 |

Fonte: SP Trans, 2016, FETRANSPOR, 2015, BHtrans, 2016, Curitiba, 2015 e Porto Alegre, 2015.

Como pode ser observado, a maior frota de ônibus pertence a São Paulo, com 42.917 veículos, e a menor frota é de Porto Alegre, com 5.166 ônibus. Já a frota com maior idade média é de Curitiba, com 7 anos, e a menor é do Rio de Janeiro, com 4,06 anos. Considerando as idades médias das frotas, nota-se que os ônibus entraram em funcionamento entre os anos de 2009 e 2011, o que indicaria que estes pertenceriam à geração P6 da fase do PROCONVE. Entretanto, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2011), a fase P6, que deveria ser implantada em 2009, só entrou em vigor em 2011, portanto, todos os motores a Diesel que entraram em atividade antes deste ano, ainda se incluem na fase P5 do PROCONVE.

Por pertencerem à fase P5, o Ministério do Meio Ambiente (2011) indica determinados valores para o trabalho realizado pelo motor ($g_{poluente}/kWh$) e para o consumo específico do motor (g_{diesel}/kWh), podendo-se, assim, calcular a quantidade de determinado poluente gerado para cada grama de diesel consumida ($g_{poluente}/g_{diesel}$) utilizando a Equação 3, cujos resultados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - $g_{poluente}/g_{diesel}$

| Fase do PROCONVE | $g_{poluente}/kWh$ | | | g_{diesel}/kWh | $g_{poluente}/g_{diesel}$ | | |
|------------------|--------------------|------|-------|------------------|---------------------------|---------------|---------------|
| | CO | NOx | MP | | CO | NOx | MP |
| P5 | 0,83 | 4,67 | 0,078 | 220 | 0,0038 | 0,0212 | 0,0004 |

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2011).

A partir destes dados, é possível finalmente calcular o fator de emissão (Fe) de cada poluente em questão utilizando a Equação 2, visto que a densidade do Diesel é de 855 g/L, a quilometragem por litro de ônibus urbano é de 2,3km/L e que a relação $g_{poluente}/g_{diesel}$ já foi calculada acima. Portanto, tem-se que Fe de CO é igual a 1,402g/km, de NOx é igual a 7,891g/km e de MP é igual a 0,132g/km. Estes valores são válidos para as cinco cidades, visto que os todos os ônibus são movidos a Diesel e estão na mesma fase do PROCONVE.

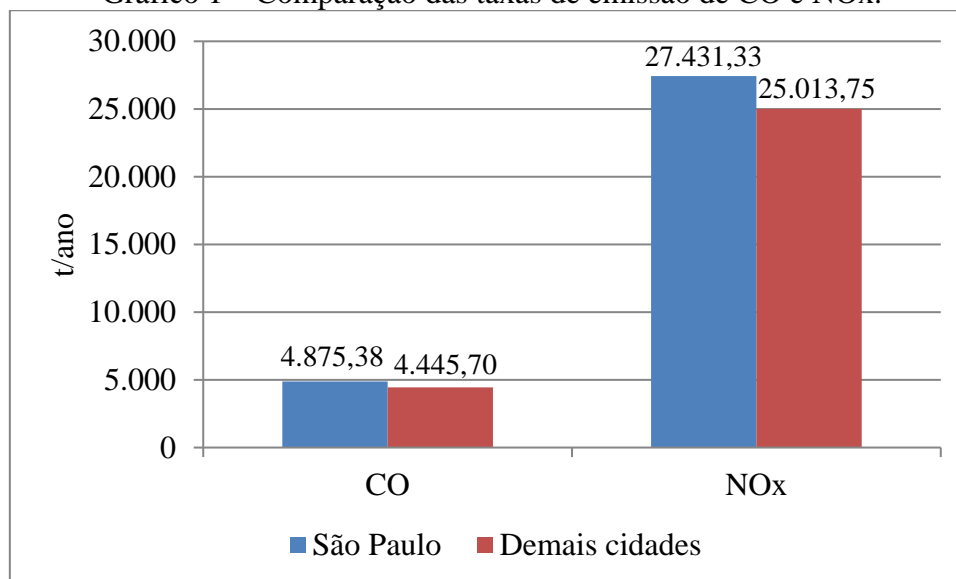
Visto que os valores de Fr e Iu já foram encontrados para todas as cidades, como visto na Tabela 1, e que os valores de Fe foram calculados para os poluentes CO, NOx e MP, pode-se calcular a taxa anual de emissão (E) de cada um dos poluentes utilizando a Equação 1. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3 – Taxa anual de emissão de CO, NOx e MP nas cidades (t/ano).

| Município | Taxa de emissão anual (t/ano) | | |
|----------------|-------------------------------|-----------|--------|
| | CO | NOx | MP |
| São Paulo | 4.875,38 | 27.431,33 | 458,17 |
| Rio de Janeiro | 2.058,08 | 11.579,77 | 193,41 |
| Belo Horizonte | 1.021,15 | 5.745,51 | 95,96 |
| Curitiba | 779,61 | 4.386,51 | 73,27 |
| Porto Alegre | 586,86 | 3.301,96 | 55,15 |

Como já esperado, a taxa de emissão anual dos poluentes é consideravelmente maior na cidade de São Paulo. Isto se deve principalmente à grande frota existente na cidade para atender as necessidades de locomoção de mais de 11 milhões de habitantes. A taxa de emissão de poluentes dos ônibus de São Paulo é tão maior que as demais cidades, que, ainda que se somasse as taxas de emissões das outras quatro cidades, não seria superior à de São Paulo, como visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparação das taxas de emissão de CO e NOx.



Além disso, deve-se notar que estas emissões são referentes às cidades com maior frota de veículos do país, portanto é natural que seus valores de emissão sejam altos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os grandes núcleos urbanos no Brasil apresentam as maiores demandas por infraestrutura e serviços de transporte público e, conseqüentemente, apresentam também grandes taxas de emissões de poluentes. A quantificação destes poluentes é necessária para que haja o monitoramento e conhecimento dos riscos que existem ao meio ambiente e à saúde humana.

Das cidades estudadas, São Paulo é que apresenta a maior taxa de emissão de CO, NOx e MP, justamente por possuir a maior frota do país. O fato de ter uma taxa de emissão maior do que as outras quatro cidades juntas evidencia um sistema de transporte público que causa muita poluição atmosférica, provocando danos principalmente à população de risco, como crianças, idosos e pessoas com problemas respiratórios.

O desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis, o constante monitoramento e manutenção da frota de ônibus urbano pode tornar esse problema menos danoso, mas, para isso, é necessário que haja o devido engajamento do poder público através de políticas públicas eficientes e verdadeiramente comprometidas com o bem estar social e a preservação do meio ambiente.

5. REFERÊNCIAS

BHTRANS. **Sistema de transporte por ônibus convencional e BRT em BH.** 2016.

Disponível em:

[http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublicodl/Temas/Onibus/gestao-](http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublicodl/Temas/Onibus/gestao-transporte-onibus-)

[transporte-onibus-2013/Dados%20Gerenciais%20do%20Sistema%20de%20Transporte%20P%C3%BAblico%20por%20C3%94nibus%20do%20Munic%C3%ADpio%20de%20BH.pdf](http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublicodl/Temas/Onibus/gestao-transporte-onibus-2013/Dados%20Gerenciais%20do%20Sistema%20de%20Transporte%20P%C3%BAblico%20por%20C3%94nibus%20do%20Munic%C3%ADpio%20de%20BH.pdf)

BUBICZ, M. E., SELLITTO, M. A. Considerações sobre impactos ambientais causados pelo transporte coletivo urbano de passageiros. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 13, n. 19, p. 01-XX, jan./jun. 2012.

FAIZ, A. WEAVER, C. S. WALSH, M. P. **Air Polluiton from motor Vehicles: standards and technologies for controlling emissions.** Washington: The World Bank. 1996.

FETRANSPOR. **Mobilidade Urbana: setor em números.** 2015. Disponível em:

<https://www.fetranspor.com.br/mobilidade-urbana-setor-em-numeros>.

IBGE. **Frota municipal de veículos.** 2015. Disponível em:

<http://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>. Acesso em: 24 mar. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários.** 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Poluentes Atmosféricos.** Sem data. Disponível em

<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>

PORTO ALEGRE. **Idade da frota.** 2015. Disponível em:

http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/idade_media_da_frota.pdf

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES (SINDIPEÇAS). **Relatório da Frota Circulante de 2016.** Disponível em:

http://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2016/RFC_2016.pdf. Acesso em: 22 mar. 2016.

SPTRANS. **Indicadores.** 2016. Disponível em <http://www.sptrans.com.br/indicadores/>.