

AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NOS MODOS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS RODOVIÁRIO E METROVIÁRIO: APLICAÇÃO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
carlos.andrade@pet.coppe.ufrj.br

ILTON CURTY LEAL JUNIOR

Universidade Santa Cecília
iltoncurty@vm.uff.br

MARCIO D'AGOSTO

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
dagosto@pet.coppe.ufrj.br

Ao SEST - Serviço Social do Transporte, SENAT - Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte e ITL - Instituto de Transporte e Logística, pelo suporte técnico e financeiro concedido ao trabalho desta pesquisa.

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO SOCIOAMBIENTAL

TÍTULO: AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NOS MODOS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS RODOVIÁRIO E METROVIÁRIO: APLICAÇÃO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

RESUMO

O dióxido de carbono - CO₂ é o principal gás do efeito estufa. O setor de transportes é responsável por uma parcela significativa das emissões globais, em virtude de suas emissões serem resultantes da forma de utilização da energia, basicamente, no modo rodoviário com o consumo de combustíveis fósseis, como a gasolina e o diesel, e no modo metroviário com a geração da eletricidade necessária à operação dos metrô. Este trabalho visa analisar a emissão de CO₂ de dois importantes modos de transportes de passageiros, os modos rodoviário e metroviário, apresentando possíveis ações de mitigação das emissões já implantadas nesses dois modos de transportes. A aplicação desse estudo foi realizada na cidade do Rio de Janeiro, onde serão apresentadas e analisadas as emissões de CO₂ e as ações de mitigação dessas emissões já implantadas nesses modos de transportes da cidade do Rio de Janeiro.

ABSTRACT

Carbon dioxide - CO₂ is the main greenhouse gas. The transport sector is responsible for a significant portion of global emissions, due to its carbon emission resulting from the form of energy use, primarily in the road, with the consumption of fossil fuels such as gasoline and diesel, and so on subway with the generation of electricity required to operate the subway. This work aims to analyze the CO₂ emissions of two major modes of passenger transport, road and metro modes, presenting possible actions to mitigate emissions already implemented in these two modes of transport. The application of this study was conducted in the city of Rio de Janeiro, where they will be presented and analyzed CO₂ emissions and these emissions mitigation actions already implemented these modes of transport in the city of Rio de Janeiro.

Palavras chaves: transportes, emissões, mitigação

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia pelo setor de transportes do Brasil, em 2011, respondeu por 30% de todo o consumo da energia nacional, sendo o óleo diesel, combustível mais comum dos ônibus, responsável por 47% do total da energia consumida pelo setor de transportes do Brasil. O consumo dessa energia pelo setor de transportes correspondeu a 48% do total de emissões de dióxido de carbono - CO₂ do país (EPE, 2012). Na cidade do Rio de Janeiro, as emissões pelo setor de transportes atingiram 66% do total das emissões (MMA, 2011). O CO₂ é o principal gás do efeito estufa - GEE sendo usualmente utilizado como referência nas medições de emissões de gases do efeito estufa. O crescimento em larga escala das emissões de CO₂ pode trazer consequências para o aumento da temperatura média do planeta, chamado aquecimento global, fenômeno que pode provocar grandes prejuízos ambientais ao planeta.

Existe um grande interesse da sociedade em tornar sustentáveis os sistemas de transportes, tornando-os menos poluentes. Algumas cidades definiram quantitativamente objetivos de redução específicos para o setor de transportes, como, por exemplo, Londres, que estabeleceu programa de redução de emissões de CO₂, propondo o corte de 60% das emissões até 2025, tendo como base o ano de 1999 (LU, 2009). No Estado do Rio de Janeiro foram estabelecidos, pelo decreto 43.216, objetivos de redução de 30% nas emissões, em relação ao ano de 2010.

A ausência ou implantação ineficiente, nas grandes cidades, de sistemas de transportes de média ou alta capacidade, como os ônibus e os metrô, faz com que o uso do automóvel seja cada vez mais intenso, aumentando os congestionamentos, e conseqüentemente, as emissões de CO₂. Os modos de transportes de passageiros por ônibus e metrô ocupam lugar de destaque na solução de transporte das grandes cidades, visando o menor impacto na emissão de CO₂. Portanto, a maior utilização dos sistemas de transporte público pode minimizar as emissões totais do setor de transportes, através da redução do uso de automóveis.

Apesar das vantagens ambientais de menor emissão de CO₂ dos sistemas de transporte público em comparação aos automóveis, continuam as pesquisas de procedimentos e tecnologias para aumentar a eficiência energética e diminuir o consumo de energia nos modos de transporte de passageiros rodoviário e metroviário, havendo espaço para mitigar ainda mais as emissões globais de CO₂ do setor de transportes.

O objetivo deste trabalho é analisar a emissão de CO₂ pelos modos de transporte de passageiros rodoviário e metroviário, apresentando as diferenças nos resultados e possíveis ações de mitigação das emissões de CO₂ nesses dois modos de transportes. A aplicação desse estudo foi realizada na cidade do Rio de Janeiro. A seção 1 constitui-se como uma introdução, onde houve uma breve contextualização do estudo em questão e foi definido o objetivo. A seção 2 apresenta, em linhas gerais, a emissão de CO₂ na operação dos modos de transportes de passageiros rodoviário e metroviário e as possibilidades de mitigação dessas emissões nos dois modos de transportes. A seção 3 analisa os dados gerais comparativos das emissões nesses dois modos de transportes. A seção 4 apresenta e analisa as ações de mitigação das emissões de CO₂ já implantadas nos modos de transportes de passageiros rodoviário e metroviário da cidade do Rio de Janeiro. A seção 5 trata das conclusões deste trabalho.

2. EMISSÃO DE CO₂ NA OPERAÇÃO DOS MODOS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS RODOVIÁRIO E METROVIÁRIO E SUAS POSSIBILIDADES DE MITIGAÇÕES

De acordo com IPEA (2011), a matriz modal de deslocamentos de passageiros nos grandes centros urbanos do Brasil apresenta a seguinte estrutura: 4% em sistemas sobre trilhos, envolvendo os modos metroviário e ferroviário, e 96% no modo rodoviário, com destaque para os ônibus (60%) e automóveis (32%). Nos Estados Unidos, o modo rodoviário é responsável por 80% das emissões de CO₂ do setor de transportes, enquanto o modo metroviário representa apenas 2% do total das emissões do setor de transportes do país (Davis e Diegel, 2006). Dados do mundo inteiro comprovam a predominância da utilização do modo rodoviário no transporte de passageiros.

2.1 Emissões de CO₂ na operação do modo de transporte de passageiros rodoviário

O modo de transporte de passageiros rodoviário é realizado nas vias de rodagem pavimentadas ou não, sendo na maioria das vezes, realizada por veículos automotores, principalmente os automóveis, ônibus, motos e vans, que, de acordo com a MCT (2010), representam aproximadamente 61% das emissões de CO₂ do modo rodoviário do Brasil, sendo o restante das emissões do setor de transportes rodoviário de responsabilidade do transporte de carga.

Os veículos automotores constituem, a nível mundial, a principal fonte de poluição do ar nas grandes cidades, sendo esse problema agravado nas últimas décadas em função do aumento da frota de veículos rodoviários movidos a combustíveis fósseis, principalmente a gasolina e o óleo diesel, que são grandes emissores de CO₂. Em virtude da queima direta de combustíveis fósseis, pode-se afirmar que o modo rodoviário é o grande responsável pelas emissões de CO₂ do setor de transportes a nível mundial. Segundo a ONU (2011), o transporte rodoviário é responsável pela maioria das emissões de GEE e seu crescimento estimado, já que a previsão é que a frota global de veículos será multiplicada em 3 ou 4 vezes até 2050, tendo como base o ano de 2010.

Os combustíveis fósseis são recursos naturais que não são renováveis ao longo da escala de tempo humana, sendo os mais utilizados: a) carvão mineral, b) gás natural, e c) os derivados do petróleo, tais como os principais combustíveis dos veículos automotores do modo rodoviário: gasolina, óleo diesel, óleo combustível e outros. O etanol é um combustível renovável, cujas emissões de CO₂ são consideradas neutras, uma vez que já foram ou serão absorvidas no plantio da cana de açúcar ou de outra fonte vegetal. Portanto, a queima dos combustíveis etanol anidro e etanol hidratado não são contabilizadas como emissões de CO₂ para o setor rodoviário. A gasolina tradicional, que abastece os veículos automotores do modo rodoviário, é a gasolina C, que é uma mistura de gasolina A com uma parcela de etanol anidro, que, ao longo de 2011, representou 23,75% da gasolina C (MA, 2012).

O cálculo da estimativa das emissões de CO₂ no modo rodoviário é feito de acordo com a quantidade da queima de litros de cada tipo de combustível dos veículos, que é multiplicado por um fator de emissão, que, de acordo com a COPPETEC (2011), é: 2,25 kgCO₂/l para a gasolina A; 2,71 kgCO₂/l para o óleo diesel e 2,06 kgCO₂/m³ para o gás natural veicular.

Cuenot *et al.* (2012) estimaram que, em 2005, o transporte motorizado de passageiros alcançou 40 trilhões de quilômetros. Simulando uma redução de 25% nas viagens de automóveis, de 2005 até 2050, seria obtida uma redução de 20% na energia consumida e das emissões de CO₂. O resultado desse estudo indicou a grande participação dos automóveis nas

emissões do setor de transportes, comprovando a relevância do modo rodoviário nas emissões de CO₂.

2.2 Mitigação das emissões de CO₂ na operação do modo rodoviário

Existem ações de mitigação das emissões de CO₂ no modo rodoviário implantadas em todo o mundo, que, basicamente, envolvem a economia da energia com o desenvolvimento de novas tecnologias e a maior utilização de combustíveis renováveis. A MTA, que administra o sistema de transporte público de passageiros da cidade de Nova Iorque, planeja obter 80% de sua energia a partir de fontes renováveis até 2050, em um projeto de geração de energia eólica (MTA, 2009).

O próprio lançamento de automóveis com combustíveis *flex* já se constituiu em uma ação mitigadora nas emissões de CO₂ em todo o mundo. Segundo UNICA (2011a), no período de 2003 até 2011, estimou-se que o uso de etanol nos veículos *flex* evitou a emissão de 122 milhões de toneladas de CO₂.

Dentre os combustíveis renováveis existentes, pode-se destacar:

- *Diesel de cana de açúcar* – Já conta com cerca de 180 ônibus circulando nas cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro (Frotas e Fretes Verdes, 2012);
- *Biodiesel* – De acordo com a Lei 11.097 de 2005, o biodiesel é definido como derivado de biomassa renovável, para uso em motores a combustão interna, com ignição por compressão, ou para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. Desde 2010 a Viação Itaim Paulista, empresa de transporte de passageiros da cidade de São Paulo, usa diariamente o biodiesel (B20) em cerca de 2 mil ônibus. Até março de 2013 haviam sido consumidos cerca de 117 milhões de litros de biodiesel, o que significa que cerca de 218 mil toneladas de GEE deixaram de ser emitidas na cidade de São Paulo (MA, 2014).

Dentre as novas tecnologias em desenvolvimento para os ônibus estão:

- *Ônibus 100% de etanol* – O etanol, combustível a base da cana de açúcar produzido no Brasil, é largamente utilizado na Suécia, que foi o primeiro país do mundo a utilizar em grande escala os ônibus a 100% de etanol. A Suécia já conta com uma frota de mais de 600 ônibus movidos a etanol no seu sistema de transporte público de passageiros. O crescimento dos ônibus a etanol na Suécia é algo muito significativo, pois o país é conhecido mundialmente por suas posições e ações favoráveis à preservação ambiental (UNICA, 2011b).
- *Ônibus híbridos* – O Brasil possui duas fábricas de ônibus elétricos híbridos, modelos que possuem um motor elétrico e outro a diesel, reduzindo a emissão de ruído e de CO₂. Em janeiro de 2014, a Colômbia adquiriu 200 ônibus híbridos brasileiros. Segundo VOLVO (2013), os ônibus híbridos consomem até 35% menos combustível e, conseqüentemente, emitem 35% menos CO₂, sendo que em um ano de operação, o ônibus híbrido deixa de emitir 33 toneladas de CO₂ em comparação ao ônibus padrão.
- *Ônibus 100% elétricos* – Em março de 2014 iniciou-se a operação, em teste, de um ônibus 100% elétrico, na cidade de Sorocaba, no Estado de São Paulo. O ônibus é alimentado por baterias de fosfato de ferro, possui tecnologia ambientalmente responsável e não precisa de sistema de rede elétrica, portanto, não emite CO₂, possuindo autonomia de 250 a 350 km, dependendo das condições da operação (Cruzeiro do Sul, 2014).

A implantação de sistemas de *Bus Rapid Transit* - BRT, que utiliza corredores exclusivos de ônibus de média capacidade, para até 160 pessoas, é considerada uma ação mitigadora das

emissões de CO₂ do modo de transporte de passageiros rodoviário. De acordo com a ONU (2011), na cidade de Curitiba, a primeira do mundo que adotou o sistema BRT, houve redução do uso de combustíveis fósseis em função da implantação do BRT, acarretando a redução de 30% das emissões, enquanto que na Colômbia, na cidade de Bogotá, a operação do BRT registrou a redução de 14% das emissões.

2.3 Emissões de CO₂ na operação do modo metroviário

A emissão de CO₂ na operação do sistema metroviário acontece principalmente através da geração da energia elétrica necessária ao funcionamento dos trens e das estações dos metrô. Uma grande quantidade de energia elétrica é necessária para prover a força de tração que movimenta os trens. Como exemplo, pode-se citar o Metrô de Londres, cujo consumo de energia elétrica chega a quase 3% de todo consumo da cidade (LU, 2009).

Essa geração da energia elétrica é denominada de emissões indiretas de CO₂, por eletricidade, ou seja, constituem emissões produzidas por terceiros. Isso ocorre porque, usualmente, essa energia elétrica não é gerada localmente pelo sistema metroviário e sim adquirida de terceiros, da empresa fornecedora de energia elétrica local.

O Metrô de Londres consome mais de 1 TWh de eletricidade por ano. Suas emissões de CO₂ por eletricidade em 2008 foram de 619.000 tCO₂, representando 82% do total de emissões do metrô, sendo 2/3 provenientes dos serviços de trens (LU, 2009). Segundo MTA (2008), o Metrô de Nova Iorque consome 3,4 TWh a cada ano. Em 2010, a operação do Metrô de São Paulo consumiu 549.074 MWh, equivalente a um consumo médio Brasil de 3,5 milhões de residências, sendo a tração elétrica dos trens responsável por aproximadamente 80% da energia consumida (Metrô São Paulo, 2011).

As emissões de CO₂ devido à geração da energia elétrica dos metrôs apresentam grande variação de resultados entre os sistemas metroviários de todo o mundo, em função das diferentes matrizes energéticas utilizadas em cada local. O Brasil é favorecido por utilizar predominantemente fontes hidroelétricas, que, em 2012, representaram 77% da energia elétrica nacional, seguido pelo gás natural com 8%, e pela biomassa com 7% (EPE, 2013).

Devido à grande importância da energia elétrica para os sistemas metroviários, o grupo CoMet/Nova, que é uma comunidade de 31 metrôs do mundo que compartilham informações entre si na busca das melhores práticas do setor, conduziu projetos analisando as emissões entre os metrôs e sugerindo ações para minimizar a quantidade de energia utilizada e as emissões de CO₂. A figura 1 mostra a matriz energética da comunidade CoMet/Nova, com os metrôs identificados pelos continentes (AS=Ásia/Oceania, EU=Europa, AM=Américas).

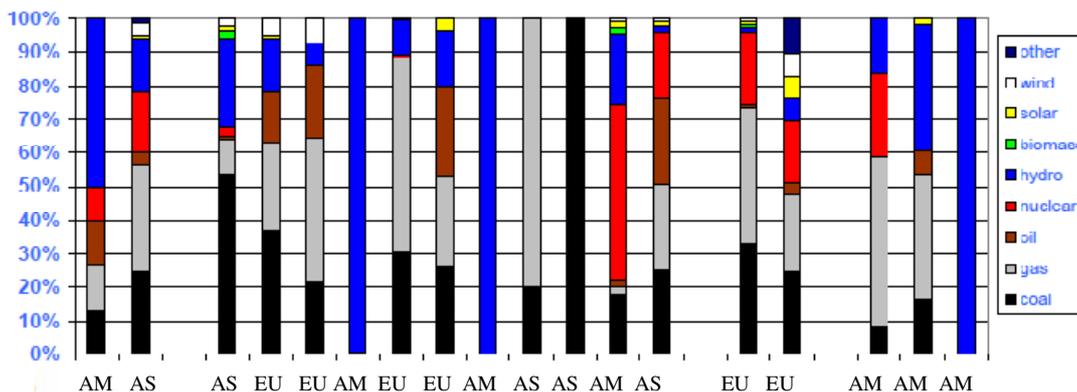


Figura 1: Fontes de energia – Metrôs do grupo CoMet/Nova (CoMet, 2008)

2.4 Mitigação das emissões de CO₂ no modo metroviário

Na operação do sistema metroviário o principal fator que deve ser objeto de atenção no intuito de redução das emissões é a eficiência energética. Quanto maior a eficiência energética menor será a quantidade de energia elétrica utilizada por passageiro-km e consequentemente menor será a emissão. Alguns fatores que contribuem para a eficiência energética são:

- a) Melhor sistema de ventilação nos túneis e estações, diminuindo a energia gasta no sistema de ar condicionado. Dentre os metrô do grupo CoMet/Nova, o Metrô de São Paulo é uma referência nesse item. Seu projeto contempla facilidades de ventilação, como túneis largos, sem comprimento excessivo, estações desenhadas privilegiando a ventilação, equipamentos de ventilação eficientes e bem localizados, permitindo uma perfeita comunicação com o ambiente externo (CoMet, 2012);
- b) Uso de “*regenerative braking*”, sistema que, na frenagem, reconduz a energia de volta ao sistema, ao invés de dissipá-la sob forma de calor. O metrô de Delhi estima que esse sistema reaproveite em torno de 35% da energia total consumida na tração dos trens em todo o metrô. Essa energia reaproveitada evita a emissão de 41.160 tCO₂ por ano (UNU, 2012);
- c) Uso de “*platform screen doors*”, que funciona com portões de vidro automáticos, localizados entre a plataforma e a via operacional, que só abrem quando uma composição para e estaciona na plataforma. Dessa maneira minimiza-se a entrada do ar quente externo no interior do trem, melhorando o desempenho do sistema de ar condicionado. Esse sistema foi implantado primeiramente na Linha 13 do metrô de Paris (Metrô Paris, 2014);
- d) Carga balanceada de passageiros por viagem, para evitar viagens com poucos passageiros, como acontece no Metrô de Baltimore (FTA, 2010);
- e) Uso de energia própria renovável. Em 2010, no Metrô de Lisboa, com a utilização da energia própria renovável, foi possível obter uma recuperação de 23 GWh de energia elétrica (Metrô Lisboa, 2010).

3. RESULTADOS COMPARATIVOS DE EMISSÕES DE CO₂ NOS MODOS RODOVIÁRIO E METROVIÁRIO

Os sistemas de transportes do modo rodoviário usualmente analisam e divulgam os resultados das emissões provocadas somente pelo consumo e queima dos combustíveis fósseis. Para os metrô, a emissão indireta, por eletricidade, se torna a mais apropriada para fins de comparação de resultados com outros sistemas de transportes, já que ela considera somente a emissão relacionada ao “combustível” dos sistemas metroviários, que é a energia elétrica. Segundo CoMet (2008), a emissão indireta, por eletricidade, é amplamente utilizada e a mais adequada para fins de comparação dos resultados de emissões de CO₂ entre os sistemas metroviários e outros sistemas de transportes.

A atividade de transporte de passageiros é medida em passageiro-km, sendo mais representativa do que os valores absolutos das emissões e a mais apropriada para estabelecer comparação de resultados de emissões de CO₂ entre todos os sistemas e modos de transportes. Ela é obtida da seguinte forma: multiplicam-se os totais correspondentes de passageiros transportados no ano pela extensão média das viagens, baseada em pesquisas de origem-destino dessas viagens.

Diversos fatores influenciam os valores das emissões nos metrô, destacando-se a matriz energética da geração de eletricidade, a eficiência energética, a tecnologia utilizada, a idade do sistema, o projeto do sistema, como o desenho dos túneis e estações, a carga de passageiros, a existência ou não de sistema de ar condicionado e de como ocorre sua utilização. Diferentes pesquisas indicam que os sistemas metroviários que utilizam energia elétrica de fontes menos poluentes levam vantagem sobre outros meios de transporte, quando

se faz uma comparação de emissão por passageiro-km. Andrade *et al.* (2013) concluiu que, em todas as abordagens de emissões de gases do efeito estufa, os sistemas de transporte sobre trilhos constituem, em geral, em todo o mundo, a melhor alternativa de transporte de passageiros de baixa emissão de CO₂, com destaque para os metrô brasileiros.

A autoridade de transporte de Londres realizou um estudo que mostra a emissão por passageiro-km de diversos sistemas de transporte. Essa comparação, mostrada na tabela 1, comprova a superioridade do modo metroviário quanto à menor emissão de CO₂ em relação ao modo rodoviário, mais especificamente, os ônibus e automóveis.

Tabela 1: Emissão de CO₂ por pass-km na cidade de Londres (TFL, 2006)

Modos de transportes	Sistemas de transporte	Gramas de CO ₂ por pass-km	% CO ₂ em relação ao transporte da cidade
Metroviário	Metrô	50	4
Rodoviário	Ônibus	80	5
	Automóveis particulares e Táxis	110	53

Em 2011, foi realizado um estudo na Europa para identificar os valores médios de emissões de CO₂ pelos diferentes modos de transporte de passageiros de 27 países da Europa. O resultado das emissões de CO₂, por passageiro-km, do modo rodoviário é de 109, enquanto que no modo metroviário é de 41 (EEA, 2011). Na cidade de Bilbao, na Espanha, foram encontrados, em gCO₂ por passageiro-km, os valores de 28, 135 e 208, respectivamente, para os metrô, ônibus e automóveis (Metrô Bilbao, 2012a; Metrô Bilbao, 2012b).

Nos Estados Unidos, as médias nacionais de emissões, em gCO₂ por passageiro-km, dos modos de transporte de passageiros rodoviário e metroviário são mostradas na figura 2.

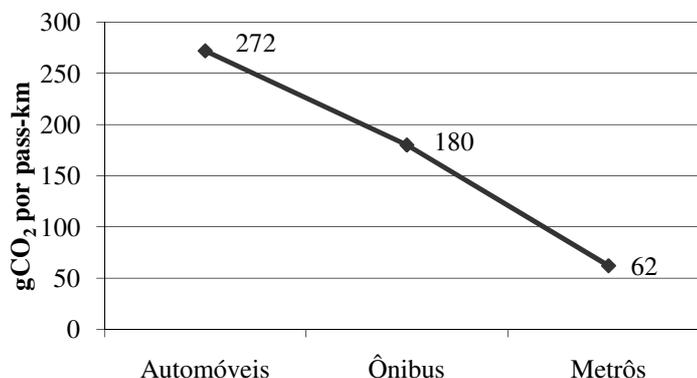


Figura 2: Média de emissões, em gCO₂ por pass-km, por automóveis, ônibus e metrô dos Estados Unidos (FTA, 2010)

Esse mesmo levantamento revelou também que, se fossem consideradas as cargas máximas de lotação dos automóveis, ônibus e metrô, o modo metroviário continuaria tendo os menores valores de emissões, em gCO₂ por passageiro-km, com 31 para os metrô, 51 para os ônibus e 68 para automóveis. A figura 3 mostra quatro exemplos comparativos de resultados de emissões entre automóveis, ônibus e metrô em cidades dos Estados Unidos. Constatou-se que, dentre todas as cidades americanas, apenas um metrô, o Metrô de Baltimore, apresentou valor de emissão, por passageiro-km, superior a dos ônibus. Isso ocorreu porque a taxa de utilização nesse metrô foi muito baixa, com apenas 17% de ocupação na média (FTA, 2010).

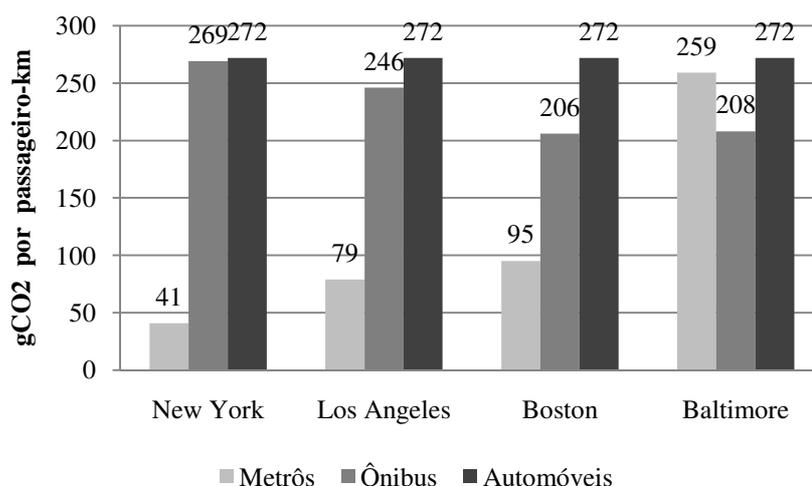


Figura 3: Média de emissões, em gCO₂ por pass-km, por automóveis, ônibus e metrô dos Estados Unidos (FTA, 2010)

4. AÇÕES DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ NA OPERAÇÃO DOS MODOS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS RODOVIÁRIO E METROVIÁRIO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Existe uma busca permanente de minimização das emissões de CO₂ nos modos de transporte de passageiros, seja por novas tecnologias ou novos procedimentos. Serão apresentadas ações de mitigações implantadas nos modos rodoviário e metroviário da cidade do Rio de Janeiro.

4.1 Ações de mitigação das emissões de CO₂ na operação do modo de transporte de passageiros rodoviário da cidade do Rio de Janeiro

O modo de transporte rodoviário é o maior responsável pelas emissões totais do setor de transportes da cidade do Rio de Janeiro. Segundo MMA (2011), o modo rodoviário representa 80,2% do total das emissões de CO₂ do setor de transportes da cidade do Rio de Janeiro, enquanto que os modos metroviário e ferroviário atingiram juntos apenas 0,2% do total das emissões.

Em setembro de 2009 foi realizado um experimento com 14 ônibus na cidade do Rio de Janeiro, denominado de “biodiesel 20% experimental - o Rio de Janeiro sai na frente”, onde houve o abastecimento com biodiesel (B20) nessa frota durante 12 meses. O experimento visava obter mais informações sobre a viabilidade do uso do Biodiesel (B20) em frotas de ônibus, com a finalidade de orientar as estratégias de governo voltadas a priorização e uso de combustíveis mais limpos (FETRANSPOR, 2014a).

Entre fevereiro/2012 a janeiro/2013 foi realizado um teste na cidade do Rio de Janeiro com 40 ônibus. Uma frota com 20 ônibus utilizou uma mistura de 70% do biodiesel (B5) e 30% de diesel de cana de açúcar, e outra frota com 20 ônibus utilizou uma mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel (B5). O resultado desse teste concluiu que houve uma redução da emissão da ordem de 16,5 mil toneladas de CO₂ (D’Agosto e Franca, 2013).

Em 28 de março de 2014 foi iniciada a operação, em teste, de um ônibus 100% elétrico, na cidade do Rio de Janeiro, na linha 249 (Água Santa – Carioca), da empresa Rodoviária A. Matias, associada a Rio Ônibus. De acordo com a FETRANSPOR (2014b), a tecnologia elétrica independente é uma das grandes inovações do modo rodoviário, visto que estes

veículos 100% elétricos têm emissão zero de CO₂, durabilidade superior e vantagens consideráveis quanto à sustentabilidade.

Em 7 de abril de 2014 entrou em operação, no transporte interno da Universidade Federal do Rio de Janeiro, um ônibus híbrido a hidrogênio, denominado de H2+2. O veículo, que foi desenvolvido pela COPPE, possui um sistema integrado computadorizado de controle inteligente da distribuição de energia elétrica para os vários sistemas elétricos do veículo. O ônibus H2+2 coloca o Brasil no grupo de países que ingressa na pesquisa do hidrogênio como alternativa energética. Esse ônibus é praticamente livre de emissões, visto que apenas um terço da energia necessária é proveniente da eletricidade. O restante da energia é produzida dentro do próprio ônibus, por uma pilha combustível alimentada com hidrogênio e por um sistema de regeneração da energia cinética que entra em funcionamento durante a frenagem (UFRJ, 2014).

A atual implantação de quatro corredores de BRT na cidade do Rio de Janeiro traz projeções bem favoráveis quanto à redução das emissões de CO₂ no modo rodoviário da cidade. A capacidade de um ônibus BRT do Rio de Janeiro corresponde a de três ônibus padrões. Segundo Wilson (2013), de acordo com o planejamento realizado pela Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro, em um período de três anos, entre 2014 a 2017, a operação dos quatro corredores de BRT irá reduzir as emissões do setor de transportes da cidade do Rio de Janeiro em 45.354 toneladas de CO₂.

4.2 Ações de mitigação das emissões de CO₂ na operação do modo de transporte metroviário da cidade do Rio de Janeiro

Um fator que pode contribuir negativamente para a eficiência energética é quando o metrô não utiliza o sistema de sinalização de piloto automático, deixando nas mãos dos condutores a forma de conduzir a composição, o que pode acarretar na aceleração e/ou freadas bruscas, aumentando o consumo da energia elétrica de tração dos trens. Portanto, se faz necessário o estabelecimento de uma condução padrão aos condutores, de modo a consumir menos eletricidade, incluindo uma redução de velocidade em períodos de menor movimento. Os condutores são instruídos e monitorados para conduzirem o trem sem excesso de freadas e acelerações, de forma padronizada. O Metrô do Rio de Janeiro implementou esse sistema em grande parte da linha 2, não coberta pelo piloto automático, e, diariamente, as viagens são monitoradas e reportadas, permitindo que os objetivos de condução econômica sejam atingidos (MetrôRio, 2014).

Segundo dados do MetrôRio (2014), a empresa metroviária também montou dois grupos de estudos com a participação de funcionários especialistas, um sobre gestão da energia e um sobre sustentabilidade, com o intuito de o grupo apresentar sugestões para minimizar os desperdícios do consumo de energia elétrica, a fim de reduzir os custos e mitigar as emissões de CO₂. Além disso, representantes do Metrô do Rio de Janeiro participam de encontros periódicos com representantes de outros sistemas metroviários do Brasil, em um grupo de trabalho denominado de GT - Energia, que é um conjunto de metrôs brasileiros que conduzem reuniões e palestras, a fim de trocar experiências quanto às ações de redução de desperdícios de eletricidade nos metrôs.

O Metrô do Rio de Janeiro adquiriu recentemente 19 trens, que começaram a entrar em operação em 2012. De acordo com a empresa fornecedora dos trens, a energia reaproveitada pelo sistema “*regenerative braking*” dos novos trens pode chegar a até 40% do consumo da energia de tração, dependendo da carga de passageiros na composição (CRC, 2012).

5. CONCLUSÕES

O modo de transporte de passageiros rodoviário e metroviário se faz necessário para o deslocamento das pessoas no dia a dia. Contudo, com o crescimento súbito do número de automóveis nas ruas, aumentam os congestionamentos e o consumo de combustíveis fósseis pelos veículos automotores, e conseqüentemente, as emissões de CO₂ do setor de transportes de uma cidade.

O modo metroviário, por ser um meio de transporte de alta capacidade, a base de energia elétrica, que não utiliza diretamente o consumo de combustíveis fósseis, geralmente se trata do modo de transporte mais sustentável, com menor emissão de CO₂ do que os outros meios de transportes. Conforme dados de emissões de CO₂ analisados dos dois modos de transportes, constatou-se que os metrô emitem menos do que os dois principais meios de transportes do modo rodoviário, os automóveis e os ônibus.

As ações de mitigação dos impactos ambientais relacionadas às emissões de CO₂ pelos modos de transportes de passageiros rodoviário e metroviário recaem no aumento da eficiência energética, na diminuição do consumo de combustíveis fósseis, na melhoria da matriz de energia elétrica e no projeto e desenvolvimento de novas tecnologias voltado para o levantamento e atenuação dos impactos das emissões de CO₂ do setor de transportes.

A proposta do estudo consistiu em avaliar as emissões de CO₂ pelos modos de transportes de passageiros rodoviário e metroviário, a fim de analisar as diferenças nos resultados das emissões e seus motivos, apresentando soluções para minimizar as emissões de CO₂ nos dois modos de transportes de passageiros. O estudo foi aplicado na cidade do Rio de Janeiro.

O objetivo do estudo foi atingido por meio da análise comparativa de resultados gerais das emissões de CO₂ dos automóveis, ônibus e metrô, sendo identificados os meios de transportes mais poluentes, com maior impacto na emissão. Foram também apresentadas ações mitigadoras já implantadas em algumas cidades do mundo e na cidade do Rio de Janeiro para evitar o crescimento das emissões do setor de transportes.

Conclui-se que seria indicado às autoridades o estabelecimento de uma política de incentivo à sociedade sobre a troca dos automóveis para o sistema de transporte público, por ônibus ou metrô, como forma de mitigar o aumento das emissões de CO₂ do setor de transportes.

Um fator limitador ao estudo desenvolvido é a necessidade de uma análise criteriosa sobre os custos envolvidos na implantação das ações mitigadoras mencionadas, visto que, na maioria das vezes, há necessidade de investimentos adicionais para a implantação dessas soluções sustentáveis. O levantamento desses investimentos e de seus custos não foi abordado nesse trabalho.

A proposta de novos estudos se baseia no aprofundamento da limitação desse trabalho, realizando uma análise criteriosa dos custos x benefícios das soluções sustentáveis do transporte de passageiros dos modos rodoviário e metroviário. Propõe-se avaliar as vantagens e desvantagens que a implantação das ações mitigadoras nesses dois modos de transportes pode trazer, a médio e longo prazo.

Agradecimentos:

Ao SEST - Serviço Social do Transporte, SENAT - Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte e ITL - Instituto de Transporte e Logística, pelo suporte técnico e financeiro concedido ao trabalho desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. E. S., Bittencourt, I. A.; D'Agosto, M. A., Leal Júnior, I. C. (2013) O transporte de passageiros sobre trilhos e sua contribuição para a redução das emissões de gases do efeito estufa. *1º lugar do 9º Concurso de Monografias da CBTU de 2013*.
- CoMet (2008) *Energy Costs, Renewables and CO₂ Emissions Nova Phase 10*. Community of Metros.
- CoMet (2012) *Temperature Control and Air Quality*. Community of Metros.
- COPPETEC (2011) *Inventário de emissões atmosféricas por veículos automotores do Estado do Rio de Janeiro*. Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos.
- CRC (2012) Especificação técnica da documentação dos 19 trens CRC do Metrô do Rio de Janeiro. Changchun Railway Vehicles.
- Cruzeiro do Sul (2014) *Compra de ônibus elétrico após testes ainda é incerta*. Disponível em: <<http://www.cruzeirodosul.inf.br/materia/538891/compra-de-onibus-eletrico-apos-testes-ainda-e-incerta>> Acesso em 21/04/14.
- Cuenot, F.; Fulton, L.; Staub, J. (2012) *The prospect for modal shifts in passenger transport worldwide and impacts on energy use and CO₂*. Energy Policy, 41, p. 98-106
- D'Agosto, M.A.; Franca, L.S. (2013) Avaliando o potencial de inserção do diesel de cana na frota de ônibus urbano do município do Rio de Janeiro. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Ano 36 - 2013 - 3º quadrimestre*.
- Davis, S.C.; Diegel, S.W. (2006) *Transportation Energy Data Book: Edition 25*.
- EEA (2011) *Specific CO₂ emissions per passenger-km and per mode of transport in Europe, 1995-2011*. European Environment Agency. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/specific-co2-emissions-per-passenger-3>> Acesso em 11/02/14.
- EPE (2012) *Balanço energético nacional de 2011*. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf> Acesso em 15/05/14.
- EPE (2013) *Balanço energético nacional de 2012*. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf> Acesso em 15/05/14.
- FETRANSPOR (2014a) *Combustíveis Mais Limpos. O Programa Biodiesel*. Disponível em: <<http://www.fetranspor.com.br/wps/portal/fetranspor/transporte-sustentavel/combustiveis-mais-limpos>> Acesso em 10/05/14.
- FETRANSPOR (2014b) *Ônibus 100% elétrico já circula pelas ruas do Rio*. Disponível em: <<http://www.fetranspor.com.br/wps/portal/fetranspor-interno/noticias-e-imprensa/noticia/?nome=Onibuseletrico>> Acesso em 15/05/14.
- Frotas e Fretes Verdes (2012) *Relatório final do Seminário Internacional Frotas e Fretes Verdes de 2012*.
- FTA (2010) *Public Transportation's Role in Responding to Climate Change*. Federal Transit Administration. Disponível em: <<http://www.fta.dot.gov/documents/PublicTransportationsRoleInRespondingToClimateChange2010.pdf>> Acesso em 08/08/13.
- IPEA (2011) *Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em <http://desafios2.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf> Acesso em 08/08/13.

- LU (2009) *London underground carbon footprint*. Disponível em <<http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/london-underground-carbon-footprint-2008.pdf>> Acesso em 04/06/13.
- MA (2012) *Mistura carburante automotiva (Etanol anidro/Gasolina) – Cronologia*. Ministério da Agricultura. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/Orientacoes_Tecnicas/01-Mistura%20etanol%20anidro-gasolina-CRONOLOGIA%28Atualiz_02_09_2011%29.pdf> Acesso em 04/06/13.
- MA (2014) *Benefícios ambientais da produção e do uso do biodiesel*. Ministério da Agricultura. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/relatorio_biodiesel_p_web.pdf> Acesso em 21/06/13.
- MCT (2010) *Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Rodoviário. Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatórios de Referência*. Ministério de Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/nacional/2_comunicacao_nacional/rr/energia/brasil_mcti_rodoviario.pdf> Acesso em 24/05/14.
- Metro Bilbao (2012a) *Informe de Gases Efecto Invernadero 2011*. Disponível em <http://www.metrobilbao.net/assets/system/attachments/510698fafc7a7b6532000002/original/Informe%20GEIS%202011_verificado.pdf?2013-01-28T15:27:54+00:00> Acesso em 28/05/13.
- Metro Bilbao (2012b) *Huella de carbono*. Disponível em: <<http://metro-bilbao.cms.nuatt.es/system/attachments/4f6b1b0afc7a7b3629000001/original/huella%20de%20carbono.pdf?2012-03-22T12:28:58+00:00>> Acesso em 24/05/14.
- Metro Lisboa (2011) *Relatório de Sustentabilidade de 2010*. Disponível em <<http://www.metrolisboa.pt/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio-de-sustentabilidade2010.pdf>> Acesso em 20/06/13.
- Metrô Paris (2014) Informações do site oficial do Metrô de Paris. Disponível em: <http://www.ratp.fr/en/ratp/c_9104/platform-edge-doors-for-line-13> Acesso em 22/08/13.
- Metrô São Paulo (2011) *Inventário de emissões de gases do efeito estufa do Metrô de São Paulo de 2010*. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/sustentabilidade/pdf/inventario-emissoes-gases.pdf>> Acesso em 24/07/13.
- MetrôRio (2014) Informações fornecidas por funcionário do Metrô do Rio de Janeiro: Paulo Lacerda, Analista de *benchmarking* da Coordenação da Gestão da Informação e da Energia.
- MMA (2011) *Inventário e cenário de emissões dos gases de efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro*. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1712030/DLFE222982.pdf/Nelson_SINVENTARIOFINALMAC_Resumo_Geral_Inv_e_Cenario_v05abr_E.pdf> Acesso em 16/05/13.
- MTA (2008) *Renewable energy task report*. Metropolitan Transport Authority. Disponível em: <<http://www.mta.info/sustainability/pdf/MTA%20Renewable%20Energy%20Report%2010%2029%2008.pdf>> Acesso em 11/08/13.

- MTA (2009) *Impact of public transportation on GHG in the MTA area*. Metropolitan Transport Authority. Disponível em: <www.mta.info/sustainability/pdf/MTA%20Carbon%20Model%20Report%20&%20Presentation.pdf> Acesso em 11/08/13.
- TFL (2006) *Surface Advisory Panel*. Transport for London. Disponível em: <<http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/Agenda-and-Papers-SAP-31-05-06.pdf>> Acesso em 06/05/13.
- UFRJ (2014) *Ônibus a hidrogênio da Coppe reforça transporte da Cidade Universitária*. Disponível em: <http://www.ufrj.br/mostranoticia.php?noticia=14786_Onibus-a-hidrogenio-da-Coppe-reforca-transporte-da-Cidade-Universitaria.html> Acesso em 13/05/14.
- UNICA (2011a) *Uso de etanol em carros flex já evitou emissão de 122 milhões de toneladas de CO₂*. União da Indústria de Cana de Açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/27656310920338419546/uso-de-etanol-em-carros-flex-ja-evitou-emissao-de-122-milhoes-de-toneladas-de-co2/>> Acesso em 13/05/14.
- UNICA (2011b) *Crescimento no uso de ônibus a etanol na Suécia consolida ideia de transporte urbano sustentável*. União da Indústria de Cana de Açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/37526624920338419546/crescimento-no-uso-de-onibus-a-etanol-na-suecia-consolida-ideia-de-transporte-urbano-sustentavel/>> Acesso em 03/05/14.
- ONU (2011) *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. Disponível em: <http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/Green_Economy_Full_report_pt.pdf> Acesso em 03/05/14.
- UNU (2012) *Development options for Delhi's Metro*. United Nations University. Disponível em: <<http://ourworld.unu.edu/en/mind-the-gap-development-options-for-delhi%E2%80%99s-metro/>> Acesso em 03/05/14.
- VOLVO (2013) *Volvo vende 200 ônibus híbridos para Bogotá, na Colômbia*. Disponível em: <http://www.volvogroup.com/group/brazil/pt-br/imprensa_revistaeurodo/pressreleases/_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=144062&News.Language=pt-br> Acesso em 03/05/14.
- Wilson, G. (2013) Potencial de redução de emissões do setor de transportes coletivo por ônibus no município do Rio de Janeiro. Projeto de transportes para o município do Rio de Janeiro. FETRANSPOR. *Frotas e Fretes Verdes*.
-