

# EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM SISTEMAS METROVIÁRIOS: ABORDAGEM DA ENERGIA DE TRACÇÃO DOS TRENS

**Carlos Eduardo Sanches de Andrade**

**Isabela Araujo Bittencourt**

COPPE / Universidade Federal do Rio de Janeiro

PET – Programa de Engenharia de Transportes

## RESUMO

As emissões de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários podem ser estimadas e analisadas sob diferentes abordagens, dependendo dos aspectos a serem considerados. A abordagem da emissão causada pela energia de tração dos trens, ou seja, da eletricidade que realiza a movimentação dos trens, possibilita a comparação com a emissão de outros meios de transporte, provocada pelo combustível utilizado. A emissão da energia de tração dos sistemas metroviários, estimada por passageiro-km, apresenta oscilação de resultados em função da matriz energética utilizada em cada localidade e da demanda de passageiros. Este trabalho tem por finalidade analisar, em diferentes sistemas metroviários do mundo, a emissão de CO<sub>2</sub> da energia de tração dos trens, comparando os resultados obtidos em sistemas metroviários e outros meios de transporte. Os metrô do Rio de Janeiro e de São Paulo apresentaram os melhores desempenhos entre todos os sistemas metroviários pesquisados e melhor desempenho do que carros e ônibus.

## 1. INTRODUÇÃO

É estimado que até 2050 a energia utilizada nos sistemas de transporte dobre, o que aumentaria ainda mais a emissão de gases do efeito estufa, caso ações de mitigação dessas emissões não sejam implantadas (IEA, 2009). No Estado do Rio de Janeiro, de acordo com o decreto 43.216, de 30/09/2011, foram estabelecidos objetivos de redução, até 2030, de 30% nas emissões de gases do efeito estufa pelo setor de transportes, em relação ao ano de 2010. Em Londres, o objetivo de redução foi de 60% nas emissões até 2025, com base no ano de 1999 (London Underground, 2009). O principal gás do efeito estufa é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

As emissões de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários podem ser estimadas e analisadas sob diferentes abordagens, dependendo dos aspectos a serem considerados. O objetivo deste trabalho é apresentar as diferentes abordagens que podem ser utilizadas, analisando os resultados do impacto na emissão de CO<sub>2</sub> de diversos sistemas metroviários do mundo sob a abordagem da emissão da energia de tração dos trens, que considera somente a emissão relacionada ao “combustível” dos trens dos metrô, que é a energia elétrica.

## 2. ABORDAGENS DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM SISTEMAS METROVIÁRIOS

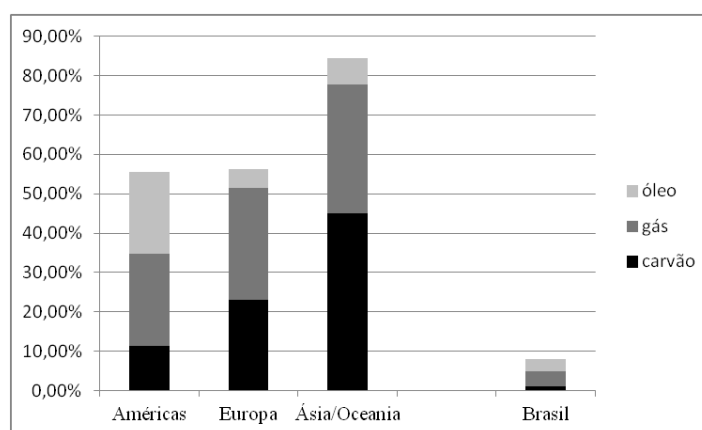
Existem diferentes abordagens para estimar a emissão de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários. As principais abordagens são:

- *Emissão produzida* – É aquela descrita no inventário de emissões de gases do efeito estufa, de acordo com as diretrizes do IPCC – Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas e da norma ISO 14.064 – Gases de efeito estufa. No escopo 1 são calculadas as emissões diretas e no escopo 2 são relacionadas as emissões indiretas, pelo uso da eletricidade. O escopo 3 é opcional e cobre outras emissões indiretas, como viagens de funcionários, tratamento do lixo e efluentes e uso de papel e água (ISO, 2007).
- *Emissão evitada* – É a redução na emissão de CO<sub>2</sub> em função da operação do sistema metroviário, considerando que milhares de passageiros deixam de utilizar outros meios de transportes mais poluentes, como automóveis, ônibus, motos e vans, para utilizar o metrô.

- *Emissão no ciclo de vida* – É a estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> emitida durante o tempo de vida útil do sistema metroviário, em cada estágio do ciclo de vida, desde a construção do sistema até seu fim de vida, incluindo a operação e a manutenção. A norma ISO 14.040 aborda a emissão de CO<sub>2</sub> sob a avaliação do ciclo de vida (ISO, 2009).
- *Emissão operacional* – É a emissão de CO<sub>2</sub> relacionada a toda operação do sistema metroviário, ou seja, a todo o consumo de eletricidade necessário à operação do metrô, seja a energia das estações, do canteiro de obras, dos prédios administrativos, de tração dos trens e outras, sendo amplamente utilizada para fins de comparação de resultados entre os sistemas metroviários (CoMET, 2008).
- *Emissão da energia de tração dos trens* – É a emissão de CO<sub>2</sub> relacionada somente ao “combustível” do sistema metroviário, que é a eletricidade que realiza a movimentação dos trens. Ela está diretamente ligada ao consumo de energia de tração dos trens dos metrô, desprezando outros tipos de consumo de energia elétrica do sistema. É a mais apropriada para a comparação de resultados com outros meios de transporte quando se analisa a emissão provocada apenas pelo consumo de combustível.

### 3. AS MATRIZES ENERGÉTICAS E AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> DA ENERGIA DE TRAÇÃO DOS TRENS

O CoMET/NOVA é um grupo internacional de sistemas metroferroviários com o intuito de, em parceria, criarem projetos cobrindo diversas áreas de interesse comum. Na matriz de energia elétrica dessa comunidade, constata-se que em todos os continentes existe um uso extensivo de fontes térmicas, com um mix de carvão, óleo e gás (CoMET, 2008). A figura 1 apresenta a utilização média de fontes térmicas, por continente, dos componentes do grupo.



**Figura 1:** Valores médios da utilização de fontes térmicas na geração de energia, do Brasil e dos continentes, do grupo CoMET/NOVA (MetrôRio, 2013)

No Brasil há pouca utilização de fontes térmicas, com predominância de fontes hidrelétricas, responsáveis por 81,7% do total da matriz energética (EPE, 2012). Apesar de poderem causar outros problemas ambientais, o que foge ao escopo desse trabalho, a emissão de carbono das hidrelétricas é usualmente considerada desprezível. Por isso os metrô brasileiros terão emissões de CO<sub>2</sub>, em média, menores que os demais metrô.

A tabela 1 mostra as emissões de carbono, pelo uso da eletricidade na tração dos trens, em 2011, em gramas por passageiro-km, de 3 metrô do grupo CoMET/NOVA, um de cada continente, assim identificados para preservação da confidencialidade exigida pelo grupo. Os

resultados são divulgados na medida passageiro-km, mais apropriada para avaliação da eficiência do sistema em termos de emissão de carbono. Para obter esse resultado devem-se multiplicar os totais correspondentes de passageiros transportados no ano pela extensão média das viagens. A emissão dos gases do efeito estufa é calculada em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2e</sub>).

**Tabela 1:** Consumo da energia elétrica de tração dos trens, emissões em CO<sub>2e</sub> e fontes térmicas das matrizes energéticas de 3 Metrô do CoMET/NOVA, em 2008 (MetrôRio, 2013)

Continentes dos Metrô	Consumo da Energia Elétrica de Tração dos Trens (MWh)	Emissão produzida (tCO <sub>2e</sub> )	Emissão em gCO <sub>2e</sub> por passageiro-km	Fontes Térmicas das Matrizes Energéticas			
				% carvão	% óleo	% gás	Total
Américas	1.696.210	1.001.357	60	49%	1%	21%	71%
Europa	17.470	9.112	48	14%	15%	52%	81%
Ásia/Oceania	573.000	509.308	97	84%	1%	12%	97%

Observa-se variação nos resultados das emissões produzidas, decorrentes do tamanho dos sistemas e das variadas matrizes energéticas utilizadas. As emissões por passageiro-km são influenciadas pelas matrizes energéticas e pela carga de passageiros-km. O metrô de maior emissão por passageiro-km (97 gCO<sub>2e</sub>) é o que utiliza o maior percentual de fontes térmicas, com 84% de utilização de carvão, a fonte térmica de maior emissão (Brasil Gov, 2013). O metrô de menor emissão (48 gCO<sub>2e</sub>) é o que tem o menor percentual de utilização de carvão.

Em 2011, a emissão média de 23 metrô do grupo CoMET/NOVA foi de 54 gCO<sub>2e</sub> por passageiro-km (CoMET, 2012).

#### 4. ABORDAGEM DA EMISSÃO DA ENERGIA DE TRAÇÃO DOS TRENS

Serão tomados como base para uma comparação com outros meios de transporte, como ônibus e automóveis, alguns metrô que publicaram dados de emissões devidas à energia de tração dos trens. Esses sistemas são mostrados na tabela 2.

**Tabela 2:** Emissões em CO<sub>2e</sub> da energia de tração dos trens em sistemas metroviários

Metrô	Emissão produzida (tCO <sub>2e</sub> )	Emissão em gCO <sub>2e</sub> por passageiro-km	Ano Base Emissão	Fontes
Londres	473.491	58	2008	London Underground (2009)
Lisboa	28.272	33	2010	Metro de Lisboa (2011)
São Paulo	11.917	2	2011	Metrô de São Paulo (2013)
Rio de Janeiro	4.110	2	2011	MetrôRio (2012)

Observa-se que os metrô do Rio de Janeiro e São Paulo apresentaram os melhores resultados, em gCO<sub>2e</sub> por passageiro-km, estando bem distanciados dos metrô de Londres e de Lisboa, e também do valor médio de emissão do grupo CoMET/NOVA (54 gCO<sub>2e</sub>). Para efeito de comparação de resultados com outros meios de transportes, na tabela 3 são apresentadas as emissões em CO<sub>2e</sub> para ônibus, carros e metrô, de cada uma das localidades.

**Tabela 3:** Emissões em gCO<sub>2e</sub>, por passageiro-km, de metrô, carros e ônibus

Metrô	Metrô	Carros	Ônibus	Fontes (metrô)	Fontes (carros e ônibus)
Londres	58	170	80	London Underground (2009)	TFL (2011)
Lisboa	33	180	85	Metro de Lisboa (2011)	AGENEAL (2005)
São Paulo	2	127	16	Metrô de São Paulo (2013)	IPEA (2011)
Rio de Janeiro	2			MetrôRio (2012)	

Nota: A emissão dos ônibus no Brasil considera uma carga de lotação máxima (80 passageiros por viagem).

Observa-se que todos os sistemas metroviários têm emissão menor que os carros e ônibus, sendo que os metrô do Rio de Janeiro e São Paulo têm os melhores desempenhos.

## 5. CONCLUSÕES

A emissão de CO<sub>2</sub> produzida pelo consumo da energia de tração dos trens metroviários depende de vários fatores, sendo o principal a matriz energética utilizada na geração de energia. A extensão do uso de fontes térmicas na matriz energética implica em maior emissão, o que ocorre na maioria dos sistemas pesquisados. Contudo, a demanda pelo sistema também influi quando se determina a emissão por passageiro-km, mais adequada para realizar comparações entre os metrô e outros meios de transporte.

Nos sistemas metroviários pesquisados, a emissão por passageiro-km variou entre 2 gCO<sub>2</sub>e e 97 gCO<sub>2</sub>e, o que indica, de um modo geral, que os resultados dos metrô apresentam o melhor desempenho entre os principais meios de transporte. Os metrô do Rio de Janeiro e de São Paulo apresentaram resultados que os colocam, a nível mundial, entre os metrô de menor emissão, representando 27 vezes menos emissão que a média de 23 metrô do grupo CoMET/NOVA, 63,5 vezes menos emissão que os automóveis e 8 vezes menos emissão que os ônibus. Esse resultado é devido, principalmente, à predominância de hidrelétricas na matriz energética do Brasil, além de uma adequada carga de passageiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENEAL (2005) *Estratégia local para as alterações climáticas*. Agência municipal de energia de Almada. Disponível em <[http://www.ageneal.pt/DirEscrita/upload/docs/ELAC\\_3.pdf](http://www.ageneal.pt/DirEscrita/upload/docs/ELAC_3.pdf)>. Acesso em 07/07/13
- Brasil Gov (2013) Carvão mineral. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/matriz-energetica/carvao-mineral-e-derivados>>. Acesso em 03/05/2013
- CoMET (2008) *Energy Costs, Renewables and CO<sub>2</sub> Emissions Nova Phase 10 Case Study*.
- CoMET (2012) *Key Performance Indicators – Annual Report (2011 data)*.
- EPE (2012) *Balanco energético nacional*. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf)>. Acesso em 02/08/12
- IEA (2009) *Transport, energy and CO<sub>2</sub>*. International Energy Agency. Disponível em <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>>. Acesso em 01/08/12
- 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](http://desafios2.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf)>. Acesso em 03/05/13
- ISO (2007) *ISO 14.064:2007 Gases do efeito estufa*. International Organization for Standardization.
- ISO (2009) *ISO 14.040:2009 Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. International Organization for Standardization
- London Underground (2009) *London Underground carbon footprint*. Disponível em <<http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/london-underground-carbon-footprint-2008.pdf>>. Acesso em 13/08/12
- Metro de Lisboa (2011) *Relatório de Sustentabilidade de 2010*. Disponível em <<http://www.metrolisboa.pt/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio-de-sustentabilidade2010.pdf>>. Acesso em 03/07/13
- Metrô de São Paulo (2013) *Inventário de emissões de gases do efeito estufa Metrô SP 2012*. Disponibilizado por Cacilda Bastos Pereira da Silva, Coordenadora de Sustentabilidade do Metrô de São Paulo.
- MetrôRio (2012) *Inventário de emissões de gases do efeito estufa Metrô Rio 2011*. Disponibilizado por Anderson Correa, Gerente da área de Saúde e Meio Ambiente do Metrô do Rio de Janeiro.
- MetrôRio (2013) Informações da base de dados de cálculos do grupo CoMET/NOVA, disponibilizadas por Paulo Lacerda, Analista de *benchmarking* do Metrô do Rio de Janeiro.
- TFL (2011) *Environment Report 2010*. Transport for London. Disponível em <<http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/environment-report-2010.pdf>>. Acesso em 10/08/12

---

Carlos Eduardo Sanches de Andrade (carlos.andrade@pet.coppe.ufrj.br)

Isabela Araujo Bittencourt (belabittenc@globo.com)

Departamento de Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Cidade Universitária – Centro de Tecnologia, Bloco D, Sala 106 – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 21.949-900.