

ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CO₂ NA ABORDAGEM DA ENERGIA DE TRACÇÃO DOS TRENS METROVIÁRIOS

Data de submissão: 30/11/2023

Data de aceite: 01/12/2023

Carlos Eduardo Sanches de Andrade

Universidade Federal de Goiás -
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Docente das graduações em Engenharia
de Transportes e Engenharia Civil
Aparecida de Goiânia - Goiás

Isabela Araujo Bittencourt

UniAraguaia Centro Universitário
Discente de graduação
Goiânia - Goiás

RESUMO: As emissões de CO₂ pelos metrô podem ser estimadas e analisadas sob diferentes abordagens, dependendo dos aspectos a serem considerados. A abordagem da emissão causada pelo consumo da energia de tração dos trens, ou seja, da eletricidade que realiza a movimentação dos trens, possibilita a comparação dos resultados das emissões com outros meios de transportes, provocada pelo combustível utilizado. A emissão da energia de tração dos trens metroviários, estimada por passageiro-km, apresenta oscilação de resultados em todo mundo, em função da matriz energética utilizada em cada localidade e da demanda de passageiros. Este trabalho tem por

finalidade analisar, em diferentes metrô do mundo, a emissão de CO₂ da energia de tração dos trens, comparando os resultados obtidos com outros metrô e com outros meios de transporte. Os metrô do Rio de Janeiro e de São Paulo apresentaram os melhores resultados de emissão de CO₂ entre todos os metrô, ônibus e automóveis pesquisados.

PALAVRAS-CHAVE: Emissões, CO₂, Metrô, Energia de Tração.

ANALYSIS OF CO₂ EMISSIONS IN THE TRACTION ENERGY APPROACH OF SUBWAY TRAINS

ABSTRACT: CO₂ emissions from subways can be estimated and analyzed using different approaches, depending on the aspects to be considered. The approach to emissions caused by the consumption of train traction energy, that is, the electricity that moves the trains, makes it possible to compare the results of emissions with other means of transport, caused by the fuel used. The emission of traction energy from metro trains, estimated per passenger-km, presents fluctuating results around the world, depending on the energy matrix used in each location and passenger demand.

This work aims to analyze, in different subways around the world, the CO₂ emission from the traction energy of trains, comparing the results obtained with other subways and other means of transport. The Rio de Janeiro and São Paulo subways presented the best CO₂ emission results among all the subways, buses and cars surveyed.

KEYWORDS: Emissions, CO₂, Subways, Traction Energy.

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 (CO₂).

As emissões de CO₂ nos metrô 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 CO₂ 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 | REVISÃO DA LITERATURA

Existem diferentes abordagens para estimar a emissão de CO₂ pelos 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ sob a avaliação do ciclo de vida (ISO, 2009).

- **Emissão operacional** – É a emissão de CO₂ 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 CO₂ relacionada somente ao “combustível” dos trens metroviários, que é a eletricidade que realiza a movimentação dos trens. Ela está diretamente ligada ao consumo de energia de tração dos trens dos metrôs, desprezando outros tipos de consumo de energia elétrica do sistema metroviário. 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.

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.

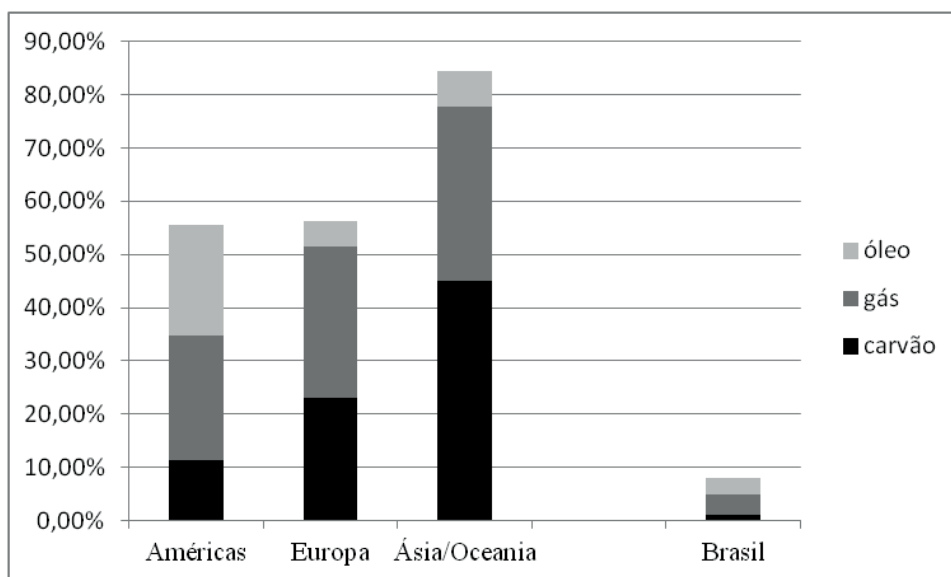


Figura 1: Valores médios da utilização de fontes térmicas na geração de energia, do Brasil e dos continentes, do grupo CoMET/NOVA (MetrôRio, 2013)

No Brasil há pouca utilização de fontes térmicas, com predominância de fontes hidrelétricas, responsáveis por cerca de 82% 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, em média, emissões de CO₂ menores que os demais metrô do mundo.

A tabela 1 mostra as emissões de carbono, pelo uso da eletricidade na tração dos trens, 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 CO₂ equivalente (CO₂e).

Continentes dos Metrô	Consumo da Energia Elétrica de Tração dos Trens (MWh)	Emissão da Energia de Tração (tCO ₂ e)	Emissão da Energia de Tração em gCO ₂ e 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%

Tabela 1: Consumo da energia elétrica de tração dos trens, emissões em CO₂e e fontes térmicas das matrizes energéticas de 3 Metrô do CoMET/NOVA (MetrôRio, 2013)

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 gCO₂e) 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 gCO₂e) é o que tem o menor percentual de utilização de carvão. A emissão média de todos os metrô componentes do grupo CoMET/NOVA é de 54 gCO₂e por passageiro-km (CoMET, 2012).

3 | RESULTADOS

São 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 metrô são apresentados na tabela 2.

Metrô	Emissão da Energia de Tração (tCO ₂ e)	Emissão da Energia de Tração em gCO ₂ e por passageiro-km	Fontes
Londres	473.491	58	London Underground (2009)
Lisboa	28.272	33	Metro de Lisboa (2011)
São Paulo	11.917	2	Metrô de São Paulo (2013)
Rio de Janeiro	4.110	2	MetrôRio (2012)

Tabela 2: Emissões em CO₂e da energia de tração dos trens pelos metrô

Observa-se que os metrô do Rio de Janeiro e São Paulo apresentaram os melhores resultados, em gCO₂e 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 gCO₂e). Para efeito de comparação de resultados com outros meios de transportes, na tabela 3 são apresentadas as emissões em CO₂e para ônibus, carros e metrô, de cada uma das localidades.

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).

Tabela 3: Emissões em gCO₂e, por passageiro-km, de metrô, carros e ônibus

Constata-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.

4 | CONCLUSÕES

A emissão de CO₂ 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 metrô pesquisados, a emissão por passageiro-km variou entre 2 gCO₂e e 97 gCO₂e, o que indica, de um modo geral, que os resultados dos metrô apresentam o melhor desempenho entre os principais meios de transportes. 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

AGENEAL (2005) *Estratégia local para as alterações climáticas*. Agência municipal de energia de Almada.

Brasil Gov (2013) Carvão mineral.

CoMET (2008) *Energy Costs, Renewables and CO₂ Emissions Nova Phase 10 Case Study*.

CoMET (2012) *Key Performance Indicators – Annual Report (2011 data)*.

EPE (2012) *Balanço energético nacional*. Empresa de Pesquisa Energética.

IEA (2009) *Transport, energy and CO₂*. International Energy Agency.

IPEA (2011) *Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

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*.

Metro de Lisboa (2011) *Relatório de Sustentabilidade de 2010*.

Metrô de São Paulo (2013) *Inventário de emissões de gases do efeito estufa Metrô SP 2012*.

MetrôRio (2012) *Inventário de emissões de gases do efeito estufa Metrô Rio 2011*.

MetrôRio (2013) *Informações da base de dados de cálculos do grupo CoMET/NOVA, disponibilizadas pelo Metrô do Rio de Janeiro*.

TFL (2011) *Environment Report 2010*. Transport for London.