

PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CO₂ NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS METROVIÁRIOS E ÔNIBUS INTEGRADOS: APLICAÇÃO NO METRÔ DO RIO DE JANEIRO E NA SUA FROTA DE ÔNIBUS – METRÔ NA SUPERFÍCIE

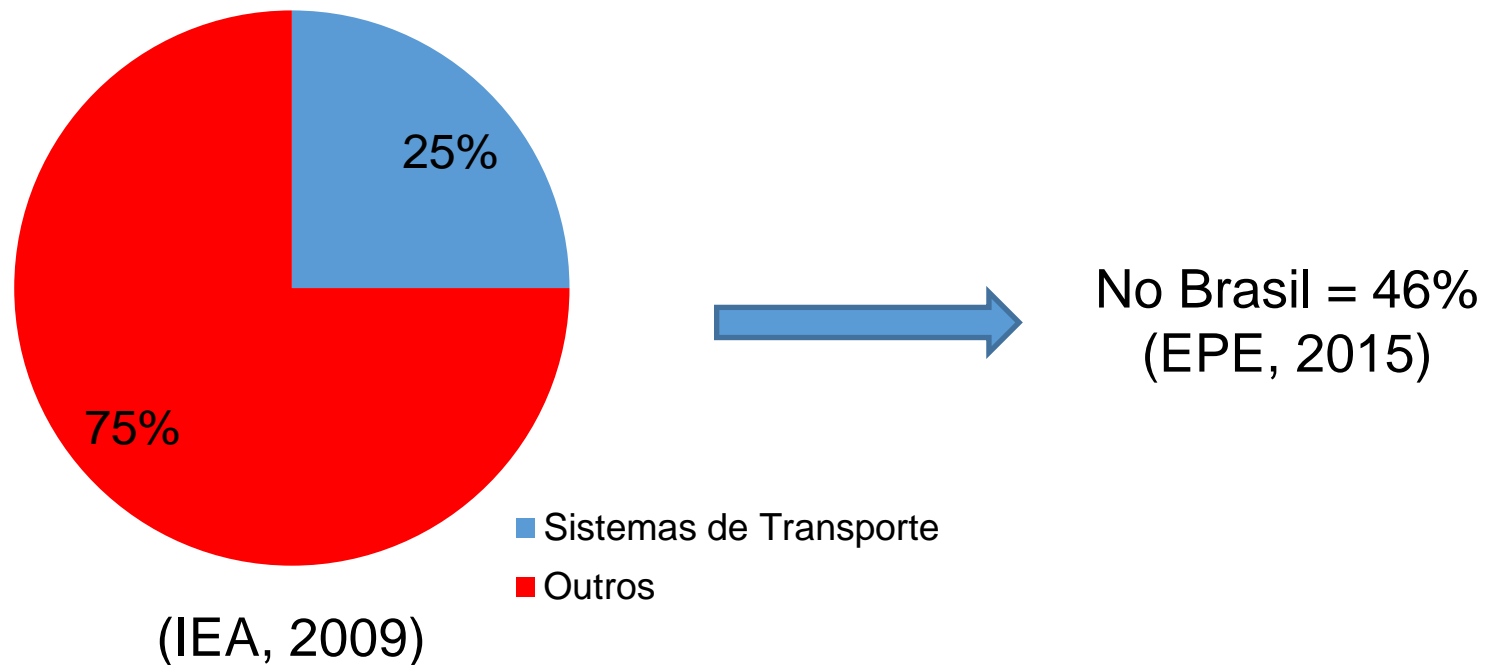
Carlos Eduardo Sanches de Andrade, D.Sc. , Engenheiro da Gerência de Planejamento de Transportes do Metrô do Rio de Janeiro

Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc. , Professor da Pós Graduação em Engenharia de Transportes da COPPE / UFRJ

22ª Semana de Tecnologia Metroferroviária



Introdução – Emissões de CO₂ no mundo



- ✓ O sistema metroviário é considerado um meio de transporte de passageiros sustentável, com menor impacto na emissão de CO₂, por não consumir diretamente combustíveis fósseis em sua operação.

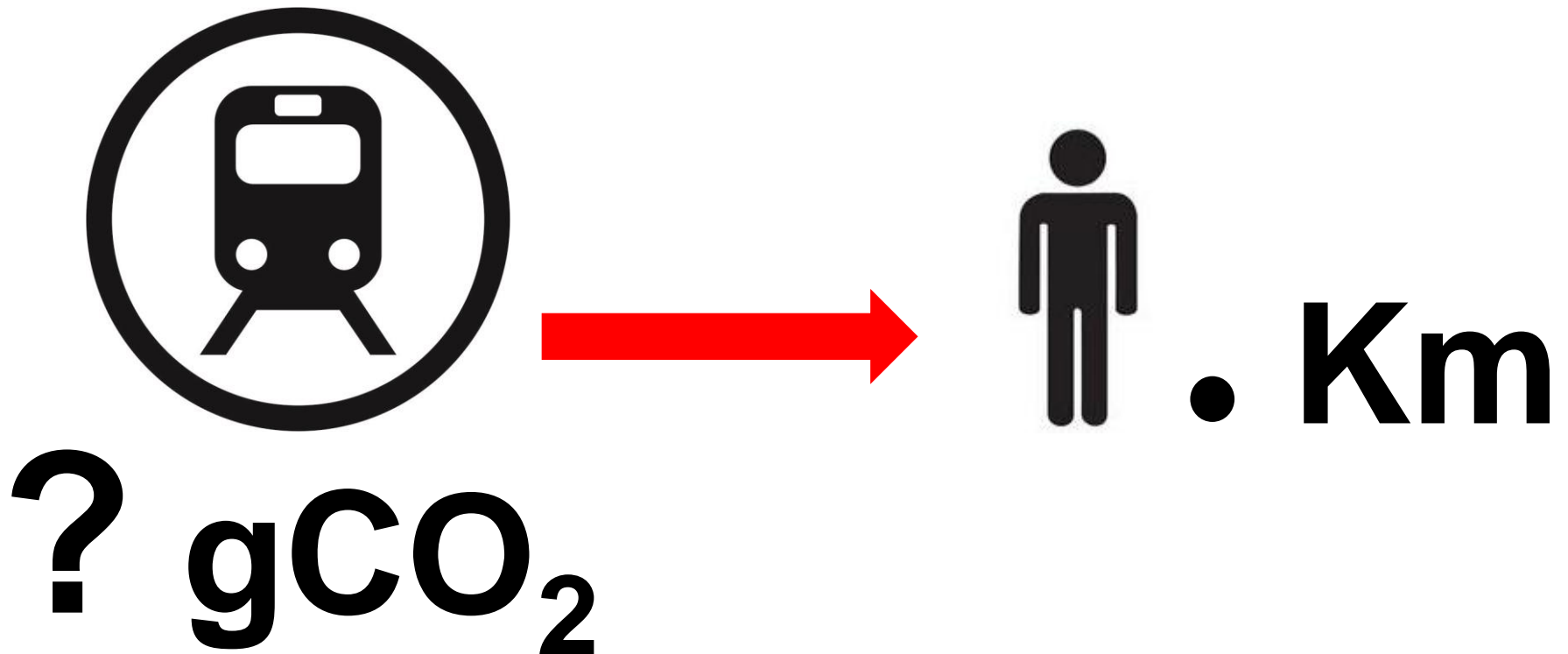
Objetivos

- Apresentar os procedimentos de cálculo da emissão, em gCO₂ por pass-km, na operação de sistemas metroviários e seus ônibus integrados;
- Aplicação dos 2 procedimentos definidos, na operação dos Trens do Metrô do Rio de Janeiro e da sua frota de ônibus, denominada “Metrô Na Superfície” – ano base 2015.

Ônibus Integrados – Serviços adicionais de frota de ônibus em sistemas metroviários

- Alguns sistemas metroviários possuem e administram frota de ônibus, seja por frota própria, ou alugada, para complementar parte dos itinerários, não supridos pela malha de trens do sistema metroviário.
- **Exemplos:**
- Sistemas Metroviários: Delhi, Nova York, Paris, Santiago e Rio de Janeiro (Metrô Delhi, 2014; New York Pass, 2014; Paris Metro, 2014; Targeta Bip, 2014; MetrôRio, 2016).

Medida da emissão de CO₂ em sistemas de transportes



- ✓ Ela é mais representativa do que os valores das emissões totais das viagens dos veículos, uma vez que considera as emissões de CO₂ relacionada diretamente à quantidade de passageiros transportados.

Emissões de CO₂, por pass-km, na operação dos metrô

- Ocorrem principalmente na geração da energia elétrica necessária para prover a força de tração dos trens;
- A composição da matriz energética é um fator determinante no resultado da emissão de CO₂ dos metrô.

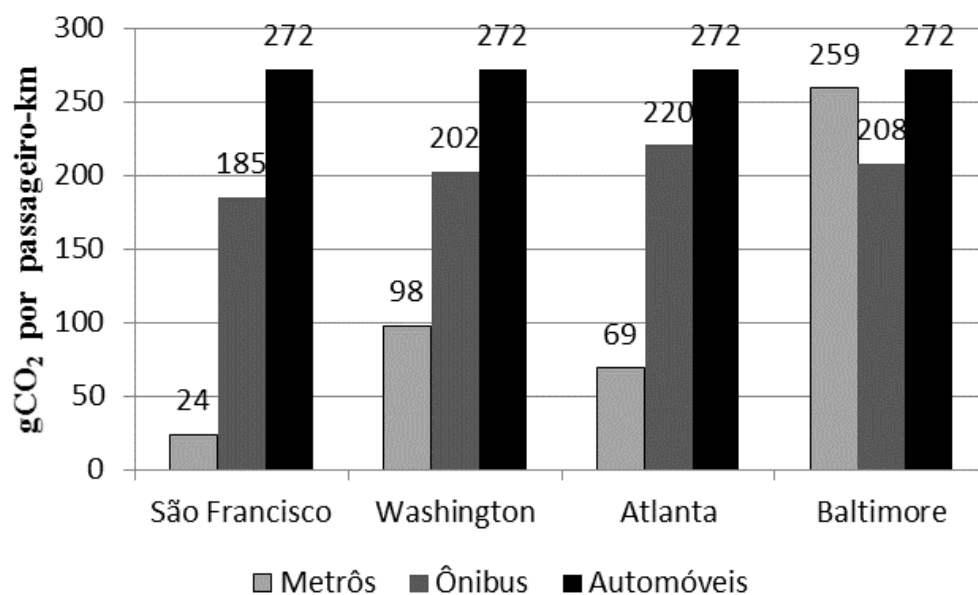
Metrô	Consumo anual de energia elétrica	% da força de tração dos trens	Fontes:
Nova Iorque	3,4 TWh	75%	MTA (2008)
Londres	1,0 TWh	67%	LU (2009)
São Paulo	0,6 TWh	70%	METRÔ SÃO PAULO (2014)
Porto	0,5 TWh	75%	METRÔ PORTO (2013)

✓ No Brasil há pouca utilização de fontes térmicas na geração de energia elétrica, com predominância de fontes renováveis, responsáveis por 79,30% do total da matriz energética (EPE, 2014).

Emissões de CO₂, por pass-km, na operação dos ônibus

- O transporte rodoviário é responsável pela maioria das emissões atuais e do seu crescimento estimado, já que a previsão é que a frota global de veículos será multiplicada em 3 ou 4 vezes até 2050 – ano base 2010 (ONU, 2011);
- O cálculo é realizado de acordo com a quantidade da queima de litros do combustível, geralmente o óleo diesel, que é multiplicada por um fator de emissão médio;
- Os valores das emissões, em gCO₂ por pass-km, nos ônibus dependem muito da carga de passageiros.

Resultados comparativos das Emissões de CO₂, por pass-km, na operação dos metrôs e ônibus



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

Procedimento de cálculo das Emissões de CO₂, por pass-km, na operação dos metrô

- No Brasil, o sistema de energia elétrica é interligado através do SIN - Sistema Interligado Nacional;
- Com isso, foram utilizados os fatores médios nacionais de emissão do setor elétrico, divulgados pelo Governo Brasileiro de forma mensal e anual (MCTI, 2016).

Procedimento de cálculo das Emissões de CO₂, por pass-km, na operação dos metrôs

- 1 – Apurar a energia de tração mensal consumida pelo metrô, em MWh, adicionando no resultado os percentuais relativos às perdas técnicas de transmissão e na distribuição da energia elétrica, divulgadas pela ANEEL (2015) e LIGHT (2015).
- 2 – Levantar o fator médio mensal da emissão na geração da energia elétrica, definido pelo Governo Brasileiro, em tCO₂/MWh (MCTI, 2016).
- 3 – Multiplicar o total da energia mensal consumida pelo metrô (tração + perdas técnicas de transmissão e distribuição da energia elétrica), pelo fator médio mensal da emissão na geração da energia elétrica definido pelo Governo Brasileiro, que resultará nas emissões totais, naquele mês, em tCO₂. Transformar a medida tCO₂ para a medida kCO₂.
- 4 – Apurar a quantidade de pass-km mensal do sistema metroviário.
- 5 – Dividir o resultado das emissões totais, em kCO₂, pelo resultado do pass-km para o mês analisado. Com isso, encontra-se o resultado mensal das emissões totais, em kCO₂ por pass-km, na operação de um metrô. Transformar a medida kCO₂ por pass-km para a medida gCO₂ por pass-km.
- 6 – O resultado anual da emissão, em gCO₂ por pass-km, na operação do metrô, será obtido através da divisão da soma das emissões totais mensais, em gCO₂, pela soma dos resultados mensais de pass-km.

Procedimento de cálculo das Emissões de CO₂, por pass-km, na operação dos ônibus

- 1 – Levantar o total do consumo de combustível mensal da frota de ônibus do sistema metroviário, retirando a parcela relativa do biodiesel.
- 2 – Multiplicar esse resultado pelo fator médio de emissão, em kgCO₂ por litro, do combustível utilizado nos ônibus. Com isso, chega-se ao resultado das emissões totais, em kgCO₂, da frota de ônibus do sistema metroviário.
- 3 – Apurar o resultado de pass-km mensal da frota de ônibus do sistema metroviário.
- 4 – Dividir o resultado mensal das emissões totais, em kCO₂, pelo resultado do pass-km mensal da frota de ônibus. Com isso, encontra-se o resultado mensal das emissões, em kCO₂ por pass-km, na operação da frota de ônibus de um sistema metroviário. Esse resultado de kCO₂ por pass-km deve ser transformado para a medida gCO₂ por pass-km.
- 5 – O resultado anual da emissão, em gCO₂ por pass-km, na operação da frota de ônibus de um metrô será obtido através da divisão da soma das emissões totais mensais, em gCO₂, pela soma dos resultados mensais do pass-km.

Aplicação do Procedimento na operação dos Trens do MetrôRio (ano 2015)

TRENS DO METRÔRIO - 2015									
MÊS	CONSUMO TRACÇÃO SEM PERDAS (MWh)	Perdas na distribuição da energia da LIGHT (8%)	Perdas na transmissão da energia do SIN (4%)	Energia total (considerando todas as perdas)	Fator de emissão nacional (em tonelada de CO ₂)	Emissão total (Kilos de CO ₂)	Resultado do passageiro-km	Emissão Média por passageiro-km (gramas de CO ₂ por passageiro-km)	
jan-15	13.593	1.087	544	15.224	0,1275	1.941.080,400	199.063.581	9,8	
fev-15	13.345	1.068	534	14.946	0,1321	1.974.419,440	200.276.785	9,9	
mar-15	13.940	1.115	558	15.613	0,1369	2.137.392,320	225.872.852	9,5	
abr-15	12.835	1.027	513	14.375	0,1301	1.870.213,520	198.328.083	9,4	
mai-15	13.477	1.078	539	15.094	0,1258	1.898.855,392	210.545.119	9,0	
jun-15	13.350	1.068	534	14.952	0,1406	2.102.251,200	211.668.896	9,9	
jul-15	14.497	1.160	580	16.237	0,1221	1.982.493,744	223.087.307	8,9	
ago-15	13.623	1.090	545	15.258	0,1183	1.804.993,008	220.934.521	8,2	
set-15	13.157	1.053	526	14.736	0,1217	1.793.351,728	217.156.785	8,3	
out-15	13.141	1.051	526	14.718	0,1180	1.736.714,560	217.978.949	8,0	
nov-15	12.258	981	490	13.729	0,1127	1.547.253,792	205.787.268	7,5	
dez-15	13.070	1.046	523	14.638	0,1075	1.573.628,000	214.088.246	7,4	
TOTAL 2015						22.362.647,104	2.544.788.390	8,8	

A determinação do fator de emissão de CO₂ dos metrôs foi obtida no site

do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI, 2016)

Aplicação do Procedimento na operação dos Ônibus Integrados do MetrôRio (ano 2015)

ÔNIBUS DO METRÔ NA SUPERFÍCIE DO DO METRÔRIO - 2015							
MÊS	CONSUMO DE LITROS DE COMBUSTÍVEL (ÓLEO DIESEL)	CONSUMO DE LITROS DE COMBUSTÍVEL (ÓLEO DIESEL) SEM O BIODIESEL	Fator de emissão do litro do óleo diesel (em kg de CO2)	Emissão total (Kilos de CO2)	Resultado do passageiro-km	Emissão Média por passageiro-km (gramas de CO2 por passageiro-km)	
jan-15	64.922,0	60.377,5	2,60	156.981,490	2.532.607	62,0	
fev-15	58.950,1	54.823,6	2,60	142.541,396	2.394.654	59,5	
mar-15	64.692,3	60.163,8	2,60	156.425,981	3.026.977	51,7	
abr-15	58.363,0	54.277,6	2,60	141.121,801	2.615.407	54,0	
mai-15	60.175,5	55.963,2	2,60	145.504,399	2.779.618	52,3	
jun-15	57.450,7	53.429,2	2,60	138.915,860	2.777.192	50,0	
jul-15	62.235,0	57.878,5	2,60	150.484,176	2.828.384	53,2	
ago-15	62.827,2	58.429,3	2,60	151.916,062	2.862.338	53,1	
set-15	61.570,1	57.260,2	2,60	148.876,421	2.851.748	52,2	
out-15	65.663,3	61.066,8	2,60	158.773,739	2.905.879	54,6	
nov-15	65.390,0	60.812,7	2,60	158.112,966	2.681.659	59,0	
dez-15	66.863,3	62.182,9	2,60	161.675,540	2.581.058	62,6	
TOTAL 2015				1.811.329,832	32.837.522	55,2	

A determinação do fator de emissão de CO₂ dos ônibus foi calculada através da fórmula: $(ECO_2)_c = PCI_c \times EC_c \times FO_c \times (44/12)$

$$(35,50 / 1000000) \text{ TJJ/l} \times 20,2 \text{ tC/TJ} \times 0,99 \times (44/12) = 0,00260 \text{ tCO}_2/\text{l} = \mathbf{2,60 \text{ kg CO}_2/\text{l}}$$

Análise dos Resultados – Emissões de CO₂ dos Trens do MetrôRio

- Média das Emissões dos Trens do MetrôRio em 2015 = 8,8 gCO₂/pass-km;
- Resultado bem abaixo quando comparado a outros metrôs do mundo, principalmente em função da matriz energética brasileira, composta basicamente por fontes renováveis;
- Adequada taxa de ocupação dos trens do MetrôRio = 50% em 2015.

Análise dos Resultados – Emissões de CO₂ dos Ônibus Integrados do MetrôRio

- Média das Emissões dos Ônibus Integrados do MetrôRio em 2015 = 55,2 gCO₂/pass-km;
- Resultado um pouco abaixo quando comparado a outros ônibus do mundo;
- Adequada taxa de ocupação dos Ônibus Integrados do MetrôRio = 45% em 2015.

Conclusões

- A análise comparativa mostrou que o modo metroviário, em geral, constitui uma solução de transporte com a menor emissão de CO₂ por pass-km, do que outros meios de transportes, como os ônibus;
- A adequada taxa de ocupação do MetrôRio e da sua frota de ônibus, conjugada com o pouco uso de fontes térmicas na matriz energética brasileira, possibilitou esses bons resultados encontrados.

PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CO₂ NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS METROVIÁRIOS E ÔNIBUS INTEGRADOS: APLICAÇÃO NO METRÔ DO RIO DE JANEIRO E NA SUA FROTA DE ÔNIBUS – METRÔ NA SUPERFÍCIE

OBRIGADO!

Carlos Eduardo Sanches de Andrade, D.Sc., carlos.andrade@metrorio.com.br
Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc., dagosto@pet.coppe.ufrj.br

22ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

