

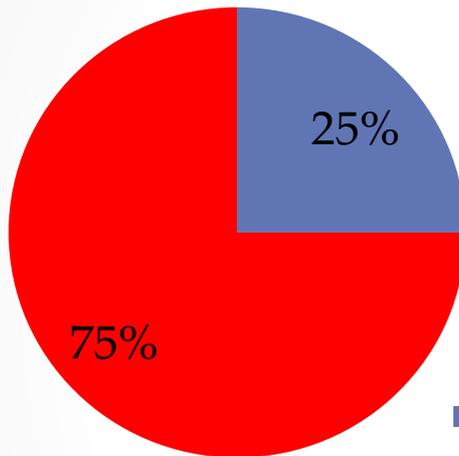
# ANÁLISE DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> EM SISTEMAS METROVIÁRIOS

Eng<sup>o</sup> Carlos Eduardo S. de Andrade – COPPE / UFRJ

Prof. Marcio D'Agosto – COPPE / UFRJ

# Introdução

## Emissão de CO<sub>2</sub>



■ Sistemas de Transporte  
■ Outros



Previsão de **duplicar**  
**até 2050** (IEA,2009)

### ➤ Transportes:

A melhoria e maior utilização do Transporte público pode retirar usuários do transporte privado e contribuir para a solução do problema

Os metrô contribuem para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> no setor

# Objetivo

- ✓ Analisar a **emissão de CO<sub>2</sub>** por sistemas metroviários, apresentar as diferentes abordagens adotadas por pesquisadores e por alguns **metrôs** do mundo, mostrando possíveis **ações de mitigação** dos impactos ambientais.

# Emissão de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários



➤ Os sistemas metroviários, assim como outras empresas, que contabilizam suas emissões seguem o **GHG Protocol - Greenhouse gas protocol**.

- Escopo 1 – Emissões Diretas
- Escopo 2 – Emissões Indiretas, por uso de eletricidade
- Escopo 3 – Outras Emissões Indiretas

✓ 3 Escopos = Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa dos Metrôs

# Emissão de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários



19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária  
2013



• Km

? CO<sub>2</sub>

# Emissão de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários



19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

2013



Community of Metros  
**CoMET**

Members



# Emissão de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários



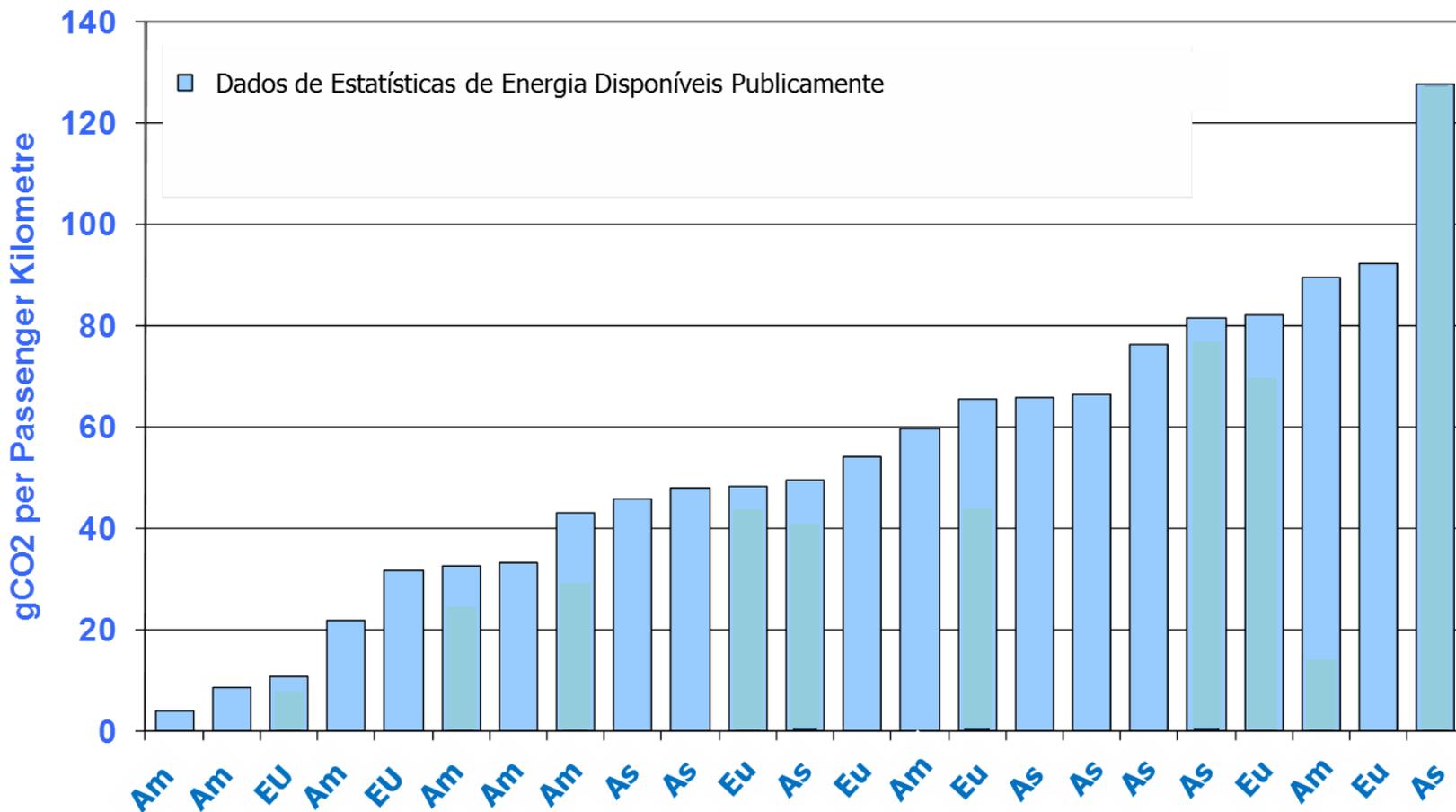
Serão apresentadas **05 diferentes abordagens** de emissões de CO<sub>2</sub> de sistemas metroviários

# 1) Abordagem da Emissão Produzida

aquela descrita no inventário de emissões de gases do efeito estufa

	Londres	Porto	São Paulo	Rio de Janeiro
Escopo 1: Emissões diretas	14.156 tCO <sub>2</sub> e	197 tCO <sub>2</sub> e	1.477 tCO <sub>2</sub> e	2.029 tCO <sub>2</sub> e
Escopo 2: Emissões indiretas, por eletricidade	619.000 tCO <sub>2</sub> e	17.400 tCO <sub>2</sub> e	38.928 tCO <sub>2</sub> e	5.690 tCO <sub>2</sub> e
Escopo 3: Outras emissões indiretas	121.281 tCO <sub>2</sub> e	Não calculado	3.198 tCO <sub>2</sub> e	226 tCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emissões produzidas</b>	<b>754.437 tCO<sub>2</sub>e</b>	<b>17.597 tCO<sub>2</sub>e</b>	<b>43.603 tCO<sub>2</sub>e</b>	<b>7.945 tCO<sub>2</sub>e</b>
Emissões por passageiro-km	93gCO <sub>2</sub> e	66gCO <sub>2</sub> e	3,3gCO <sub>2</sub> e	4gCO <sub>2</sub> e
% participação do Escopo 1	1,9%	1,1%	8,7%	25,5%
% participação do Escopo 2	82,0%	98,9%	76,5%	71,6%
% participação do Escopo 3	16,1%	----	14,8%	2,8%
Ano Base das Emissões	2008	2010	2011	2011
<b>FONTES:</b>	London Underground (2009)	Metro do Porto (2011)	Metrô de São Paulo (2013)	MetrôRio (2012)

# Abordagem da Emissão Operacional



# 3) Abordagem da Emissão da Energia de Tração dos Trens



- É a emissão relacionada somente ao “combustível” do metrô, que é a eletricidade que realiza a movimentação dos trens
- Exemplos de emissões em metrôs do Grupo CoMET/NOVA

Continentes dos Metrôs	Emissão em gCO <sub>2</sub> e por passageiro-km	Fontes Térmicas das Matrizes Energéticas			
		% carvão	% óleo	% gás	Total
EUROPA	48	14%	15%	52%	81%
AMÉRICAS	60	49%	1%	21%	71%
ASIA/OCEANIA	97	84%	1%	12%	97%

Fonte: MetrôRio (2013)

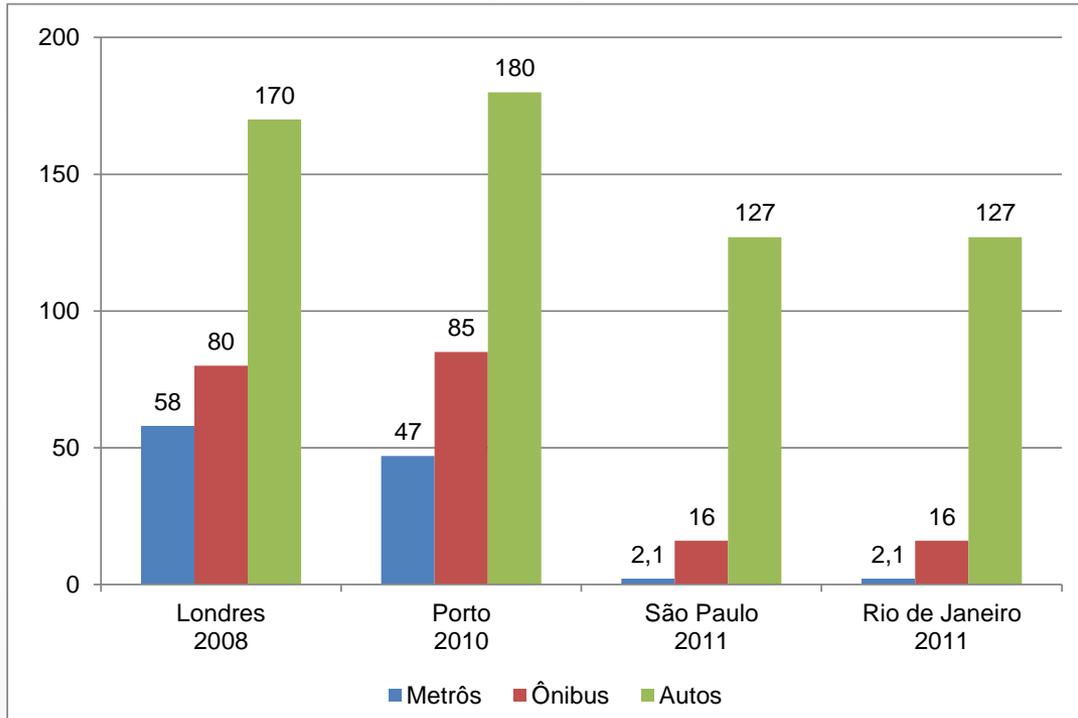
# 3) Abordagem da Emissão da Energia de Tração dos Trens



19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2013

a mais apropriada para a comparação de resultados com outros meios de transporte – consumo de combustível

Emissões em gCO<sub>2</sub>e por pass-km



	Fontes (metrô)	Fontes (autos e ônibus)
Londres	London Underground (2009)	TFL (2011)
Porto	Metro do Porto (2011)	AGENEAL (2005)
São Paulo	Metrô de São Paulo (2013)	IPEA (2011)
Rio de Janeiro	MetrôRio (2012)	



# 4) Abordagem da Emissão Evitada



- ✓ Essa abordagem foi **utilizada pelo Metrô de São Paulo** no Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa do ano 2012, chegando-se ao **resultado de 821 mil tCO<sub>2</sub>e de emissões evitadas**.
- ✓ Considerando essas emissões evitadas com as emissões geradas em decorrência do consumo de energia elétrica para tração dos trens, há um **balanço líquido de emissões evitadas de mais de 790 mil tCO<sub>2</sub>e**.

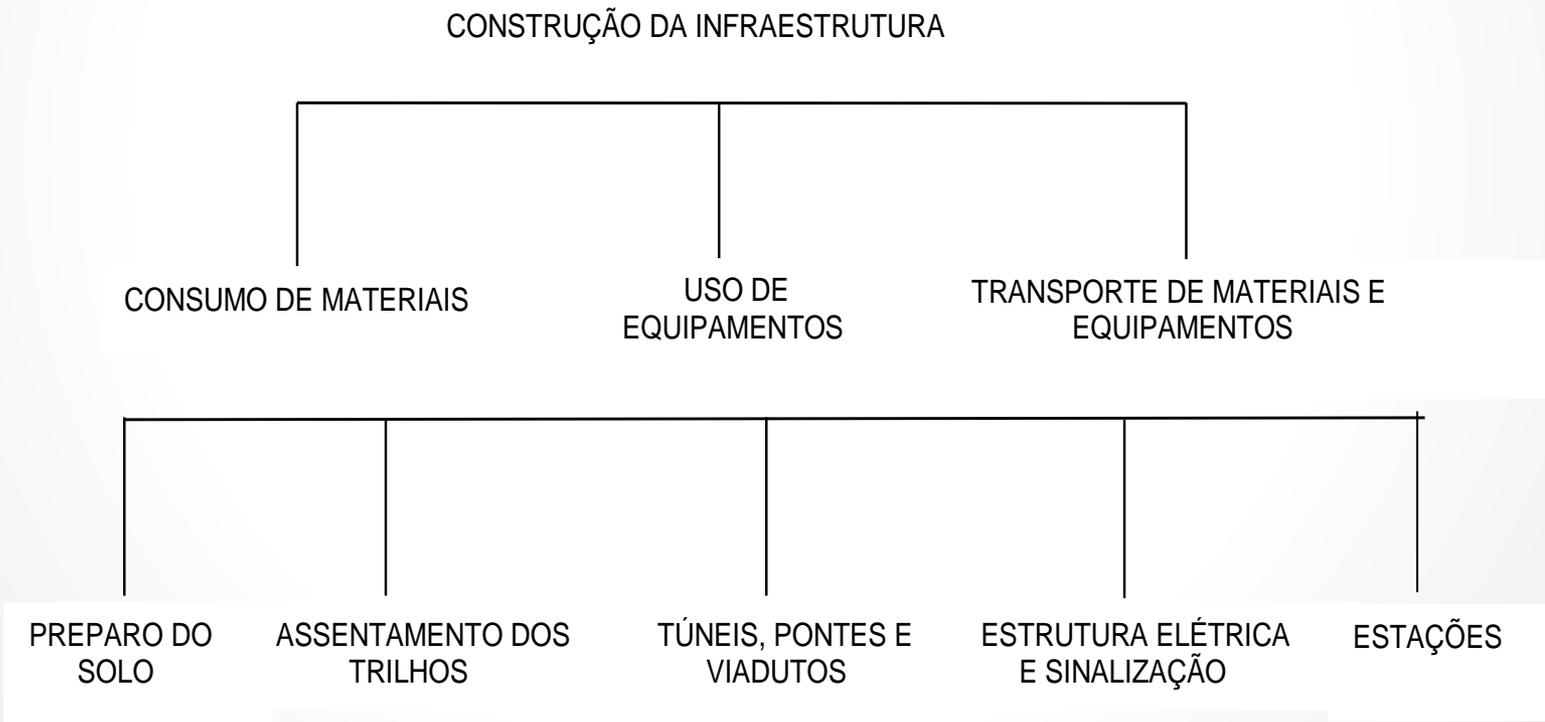
Fonte: Metrô de São Paulo (2013)

➤ Artigo Científico - REVISTA TRANSPORTES, da ANPET, publicação em 2013.

# 5) Abordagem da Emissão na Avaliação do Ciclo de Vida de um metrô

AEAMESP  
19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária  
2013

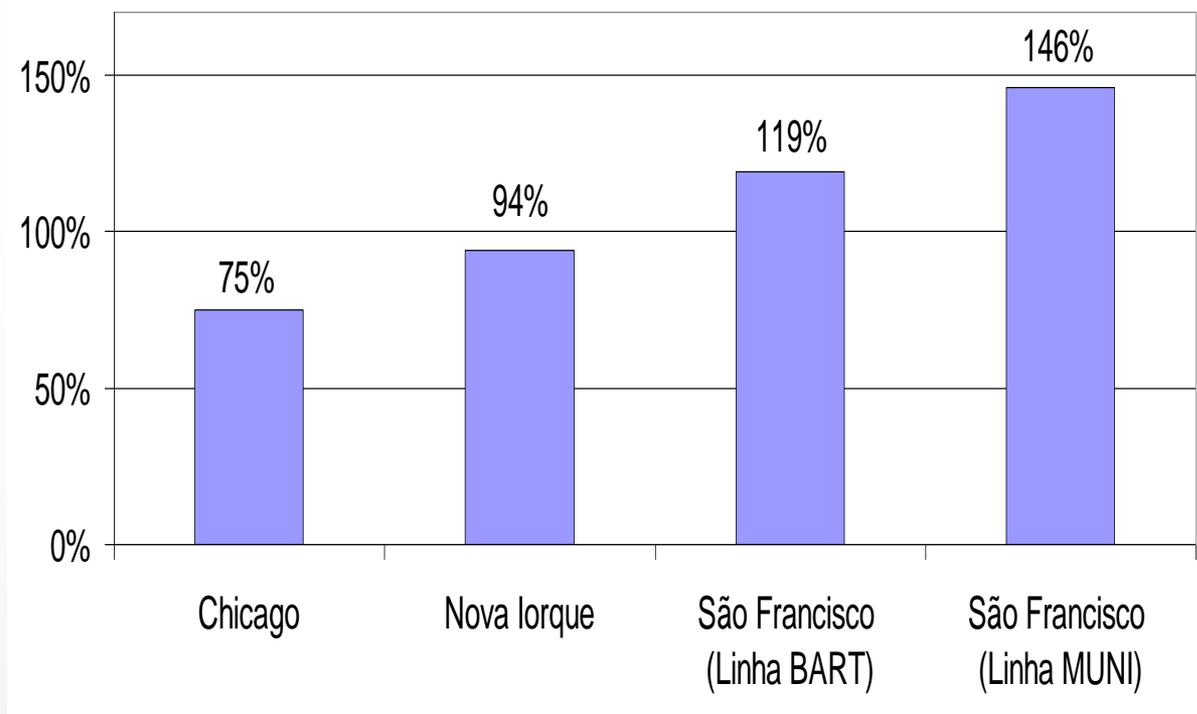
Quantidade de CO<sub>2</sub> emitida durante o tempo de vida útil do sistema metroviário - Norma ISO 14.040 (ISO, 2009)



# 5) Abordagem da Emissão na Avaliação do Ciclo de Vida de um metrô (cont.)

AEAMESP  
19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária  
2013

Os estudos de ciclo de vida realizados em metrôs indicam uma contribuição significativa das emissões na fase de construção. Compensadas pelo longo tempo de vida útil do metrô, acarretando um ganho na redução das emissões totais do sistema de transporte



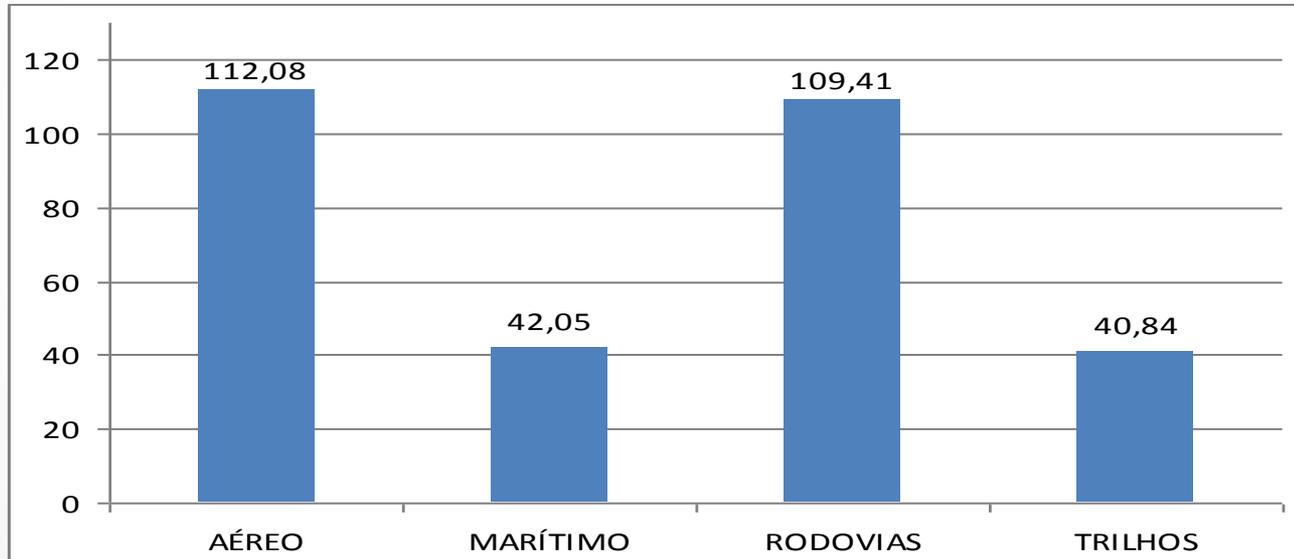
Fontes: Chester (2008) / Chester e Hovarth (2009)

# Emissões de CO<sub>2</sub> em metrô e em outros meios de transportes



Os metrô são, geralmente, o meio de transporte com menor emissão de CO<sub>2</sub>, quando comparado a outros meios de transportes

Médias de emissões, por gCO<sub>2</sub>e por passageiro-km, de meios de transporte da Europa (Fonte: EEA, 2011)



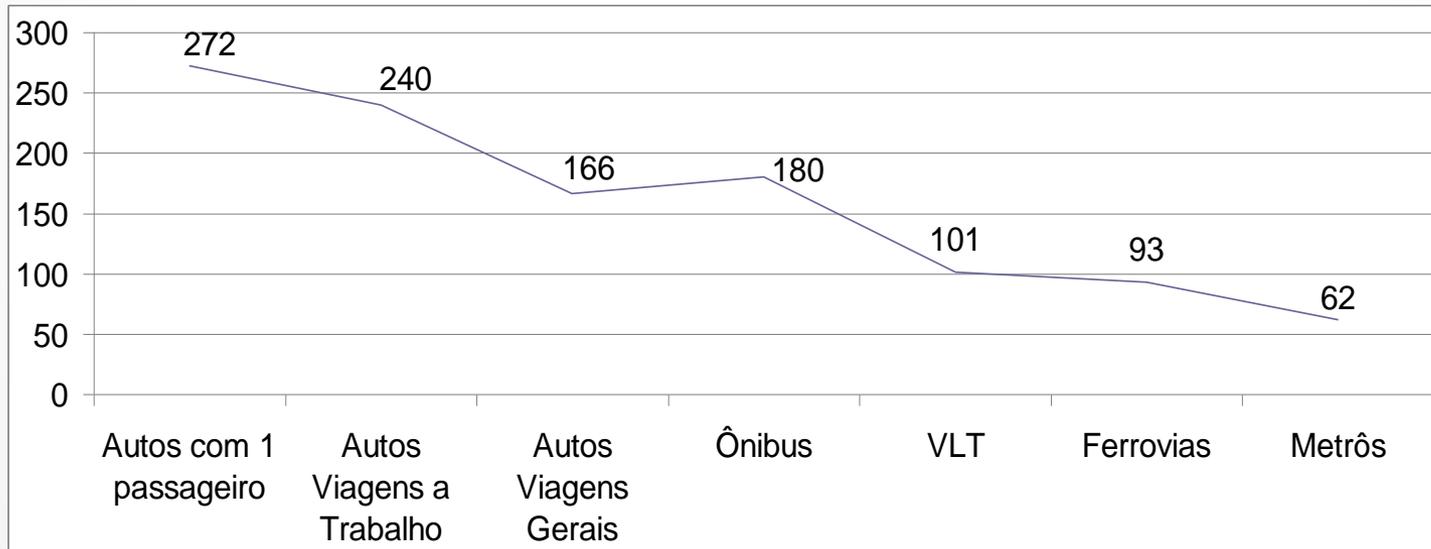
# Emissões de CO<sub>2</sub> em metrô e em outros meios de transportes



19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2013

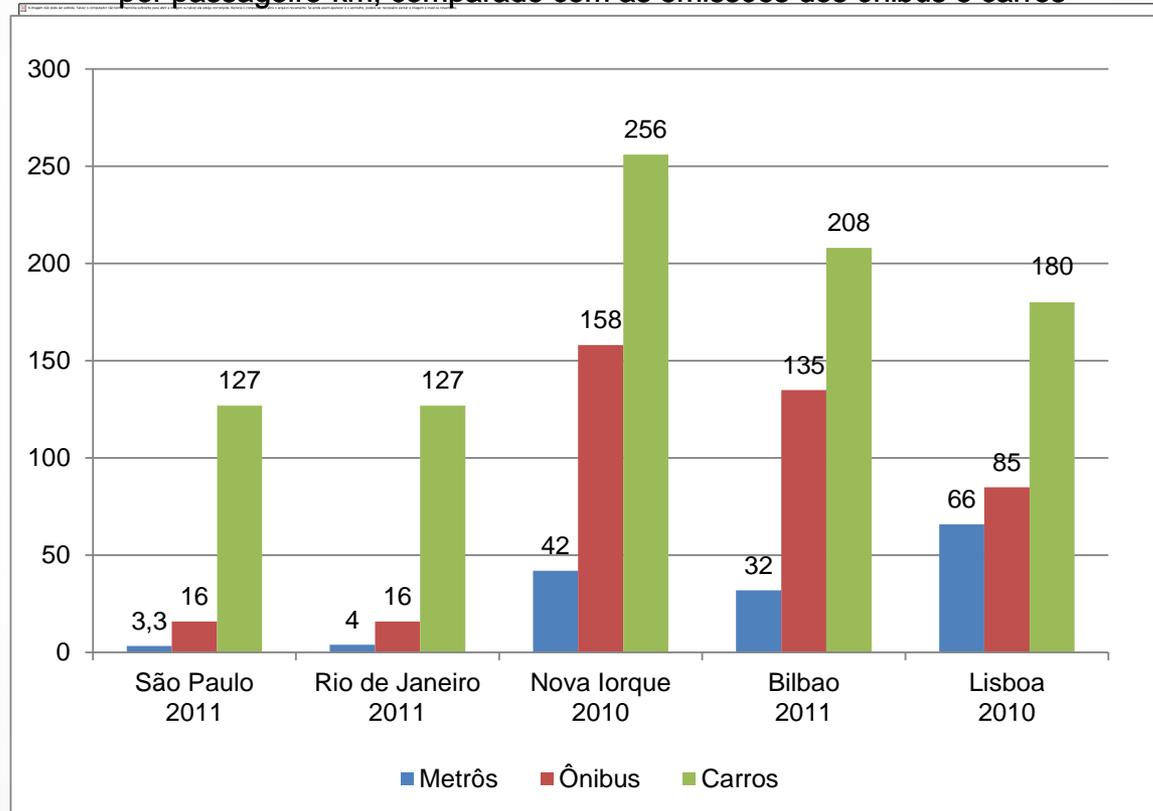
Os metrô são, geralmente, o meio de transporte com menor emissão de CO<sub>2</sub>, quando comparado a outros meios de transportes

Médias de emissões nacionais por meios de transportes dos Estados Unidos em gCO<sub>2</sub>e por passageiro-km (Fonte: FTA, 2010)



# Emissões de CO<sub>2</sub> em metrô e em outros meios de transportes

Emissões da fase da operação de metrô - Inventários - em gCO<sub>2</sub>e por passageiro-km, comparado com as emissões dos ônibus e carros



	Ano Base	Fontes (metrô)	Fontes (carros e ônibus)
São Paulo	2011	Metrô de São Paulo (2013)	IPEA (2011)
Rio de Janeiro	2011	MetrôRio (2012)	
Nova Iorque	2010	MTA (2012)	
Bilbao	2010	Metro Bilbao (2011)	Metro Bilbao (2012)
Lisboa	2010	Metro Lisboa (2011)	AGENEAL (2005)

# Ações de mitigação da emissão de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários

AEAMESP

19ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2013

Ainda existem possibilidades dos metrô realizarem ações de mitigações que os façam **reduzir** ainda **mais** essas **emissões de CO<sub>2</sub>**

- O principal fator é a **eficiência energética**.
- Quanto **menor a quantidade de energia elétrica** utilizada por passageiro-km **menor será a emissão**
- ✓ CoMET (2008 e 2012) define alguns fatores que contribuem para a eficiência energética, como:
  - a) **Melhor sistema de ventilação nos túneis e estações**, diminuindo a energia gasta no sistema de ar condicionado
  - b) **Controle rigoroso da temperatura** no interior dos trens, nas estações e nos túneis, possibilitando ajustes na ventilação e ar condicionado
  - c) **Uso de “regenerative braking”**, sistema que, na frenagem, reconduz parte da energia de volta ao sistema, ao invés de dissipá-la sob forma de calor

# Ações de mitigação da emissão de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários (cont.)



**d) Uso de lâmpadas LED** - *Light emitting diode* na iluminação dos trens e estações

**e) Uso de “platform screen doors”**

Sistema no qual o passageiro ao entrar na estação encontra uma porta fechada, a qual só se abre quando o trem chega.

Dessa maneira minimiza-se a entrada do ar quente externo no interior do trem, melhorando o desempenho do sistema de ar condicionado

**f) Carga balanceada de passageiros por viagem**, para evitar viagens com poucos passageiros

**g) Uso de energia própria renovável.**

Projetos para geração particular de energia baseada em fontes renováveis dão pequenas contribuições, mas que, para metrô pequenos, podem alcançar 10% da energia total necessária

# Conclusões

- As emissões de CO<sub>2</sub> em sistemas metroviários podem ser estimadas e analisadas sob diferentes abordagens, dependendo dos aspectos a serem considerados. Nesse trabalho foram apresentadas 05 abordagens.
- Para fins de comparação com outros meios de transportes, a abordagem da Emissão da Energia de Tração dos Trens é a mais adequada, pois considera somente o “combustível” dos metrô
- Em todas as abordagens de emissões analisadas, os metrô demonstraram que, em geral, em todo o mundo, são a melhor alternativa de transporte de passageiros, com a menor emissão de CO<sub>2</sub>
- A emissão de CO<sub>2</sub> produzida pelos metrô 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
- 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

# Conclusões

- Os metrô brasileiros levam grande vantagem em relação à maioria dos sistemas do resto do mundo em virtude de disporem de uma matriz energética baseada em hidrelétricas, com pouco uso de fontes térmicas
- Em estimativas conservadoras os metrô do Rio de Janeiro e de São Paulo apresentam, em média, emissão 8 vezes menor que os ônibus e 63,5 vezes menor que os carros
- A abordagem da avaliação do ciclo de vida é ainda incipiente em metrô, devido à sua complexidade, mas algumas pesquisas indicam que as fases de construção aumentam significativamente a emissão total, podendo chegar a um aumento de 146%. No entanto essas emissões podem ser compensadas pelo longo tempo de vida útil do sistema
- Um projeto orientado para causar o menor impacto ambiental possível deve utilizar uma tecnologia menos poluente, com maior eficiência energética, com o uso de materiais de menor emissão, com a escolha, entre as alternativas, daquela que represente a menor agressão ao meio ambiente

# 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

Chester, M. (2008) Life-cycle environmental inventory of passenger transportation in the United States. Tese autorada na Universidade da Califórnia, Berkeley, 2008. Disponível em <<http://escholarship.org/uc/item/7n29n303>>. Acesso em 03/08/12

Chester, M. e A. Horvath (2009) Life-cycle energy and emissions inventory for motorcycles, diesel, automobiles, school buses and metropolitan rails. Disponível em <<http://escholarship.org/uc/item/6z37f2jr.pdf>>. Acesso em 10/08/12

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

CoMET (2012) Temperature Control and Air Quality. Community of Metros.

IEA (2009) International Energy Agency - Transport, energy and CO2. Disponível em <<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/transport2009.pdf>>. Acesso em 01/08/12

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 05/06/13

ISO (2009) ISO 14040:2009 Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.

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

MTA (2012) *Sustainability report*. Metropolitan Transport Authority. Disponível em <<http://www.mta.info/sustainability/pdf/2012Report.pdf>>. Acesso em 20/07/12

Metro do Porto (2011) Relatório de Sustentabilidade de 2010. Disponível em <[http://www.metroporto.pt/PageGen.aspx?WMCM\\_Paginald=17246](http://www.metroporto.pt/PageGen.aspx?WMCM_Paginald=17246)>. Acesso em 07/07/13

● Metrô de São Paulo (2013) Inventário de emissões de gases do efeito estufa Metrô 2012. Disponibilizado pela Coordenadora de Sustentabilidade e Ecomercados do Metrô de São Paulo, Cacilda Bastos Pereira da Silva.

# Referências Bibliográficas

Metro Bilbao (2011) Informe de Gases Efecto Invernadero 2011. Disponível em < [www.metrobilbao.net/assets/system/attachments/510698fafc7a7b6532000002/original/Informe%20GEIS%202011\\_vdo.pdf?2013-01-28T15:27:54+00:00](http://www.metrobilbao.net/assets/system/attachments/510698fafc7a7b6532000002/original/Informe%20GEIS%202011_vdo.pdf?2013-01-28T15:27:54+00:00)>. Acesso em 07/07/13

Metro Bilbao (2012) 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 07/07/13

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 fornecidas por funcionário do MetrôRio: Paulo Lacerda, Analista de benchmarking.

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 28/06/13

Metro do Porto (2011) *Relatório de Sustentabilidade de 2010*. Disponível em < [http://www.metroporto.pt/PageGen.aspx?WMCM\\_Paginald=17246](http://www.metroporto.pt/PageGen.aspx?WMCM_Paginald=17246)>. Acesso em 07/07/13

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](http://desafios2.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf)>. Acesso em 03/05/13

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 05/06/13

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 05/06/2013

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

# OBRIGADO!

## DADOS DOS AUTORES

Carlos Eduardo Sanches de Andrade, M.Sc.,

- Engenheiro do MetrôRio desde 2003, na Gerência de Inteligência de Mercado
- Formações completas em duas graduações e duas pós-graduações *latus sensus*
- Formação completa no Mestrado em Engenharia de Transportes
- Doutorando em Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ

[carlos.andrade@pet.coppe.ufrj.br](mailto:carlos.andrade@pet.coppe.ufrj.br)

Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc., Coordenador e Professor do curso de pós-graduação (Mestrado e Doutorado) em Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ

- Formações completas no Mestrado e Doutorado em Engenharia de Transportes
- Presidente da ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes

[dagosto@pet.coppe.ufrj.br](mailto:dagosto@pet.coppe.ufrj.br)