

MEIO AMBIENTE



A contribuição dos sistemas metroviários para o atingimento das metas de redução das emissões de gases do efeito estufa – estudos em metrô do Brasil e de Portugal

Carlos Eduardo Sanches de Andrade

*Doutorado em Engenharia de Transportes da Coppe/UFRJ e engenheiro do Metrô do Rio de Janeiro.
E-mail: carlos.andrade@pet.coppe.ufrj.br*

Márcio de Almeida D'Agosto

*Professor e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Coppe/UFRJ.
E-mail: dagosto@pet.coppe.ufrj.br*

As emissões de gases do efeito estufa (GEE) pelo setor de transportes respondem por aproximadamente 25% do total das emissões do planeta (IEA, 2009). Em diversos países, representa o principal setor responsável pelas emissões, como ocorre no Brasil e em Portugal, que contam com uma importante participação do setor de transportes no total da energia consumida, com 30% no Brasil (EPE, 2012) e 40% em Portugal (Ageneal, 2005). O dióxido de carbono (CO₂) é o principal gás do efeito estufa, sendo usualmente utilizada a medida dióxido de carbono equivalente (CO₂e) nas medições de emissões de GEE.

A emissão de GEE por passageiro-quilômetro pelos sistemas metroviários, movidos a eletricidade, geralmente é menor do que as emissões de outros meios de transportes de passageiros do modo rodoviário, como os automóveis, ônibus, vans e motocicletas, que utilizam diretamente combustíveis fósseis. O setor de transportes de uma grande cidade produziria maior emissão caso seus passageiros não dispusessem dos metrô, acarretando a necessidade da população utilizar com maior intensidade, na realização de suas viagens, os meios de transportes de passageiros do modo rodoviário.

Além disso, sem a operação dos metrô, haveria um maior número de veículos do modo rodoviário circulando nas ruas, o que aumentaria ainda mais os congestionamentos no trânsito, crescendo o consumo e a queima dos combustíveis fósseis, produzindo, dessa forma, uma maior emissão total de GEE.



www.antp.org.br

Atualmente, a consciência ambiental cresce em todo mundo. Os governos têm criado políticas de estímulo à redução das emissões de GEE nas grandes cidades, estabelecendo planejamentos e metas de redução nesse sentido. A cidade de Londres, por exemplo, estabeleceu um programa de redução das emissões de GEE, estipulando uma meta de 60% na redução das emissões até 2025, tendo como base o ano de 1999 (LU, 2009).

Nas cidades com grandes densidades demográficas, a operação ou implantação de um sistema metroviário é normalmente avaliada como uma solução de transporte de alta capacidade, com menor impacto nas emissões de GEE. Além de seus benefícios característicos, como regularidade, rapidez e confiabilidade, poderia a operação de um metrô contribuir para que as grandes cidades alcancem seus objetivos de redução de emissão de GEE? Em que proporção?

O objetivo deste trabalho é analisar o impacto na emissão de GEE pelo setor de transportes de uma região em função da operação do metrô, analisando como, e em que proporção, esses sistemas poderiam contribuir para o atingimento das metas de redução das emissões estabelecidas. Diferentes estudos realizados em todo o mundo estimaram a emissão evitada pelo fato de sistemas metroviários terem sido implantados e disponibilizados aos usuários, permitindo que os mesmos deixassem de utilizar outros meios de transporte de maior emissão. Esse resultado é um indicativo de que os metrô podem ser uma solução de transporte de passageiros que vise à redução das emissões totais do setor de transporte, contribuindo para o atingimento das metas de redução das emissões das grandes cidades.

Para melhor comparação de resultados foram pesquisados sistemas metroviários de países de matrizes elétricas de baixa (Brasil) e alta (Portugal) emissão. No Brasil, a matriz elétrica é predominantemente hidrelétrica e, em Portugal, as fontes térmicas predominam na matriz elétrica.

A seção 1 constitui-se como uma introdução, com breve contextualização do estudo em questão e a definição do objetivo. A seção 2 apresenta as metas de redução nas emissões de GEE definidas pelos governos de quatro cidades de dois países: Rio de Janeiro e São Paulo no Brasil e Porto e Lisboa em Portugal, definindo os conceitos de emissões evitadas pela operação do metrô. A seção 3 apresenta e analisa estudos sobre as emissões evitadas em função da operação dos metrô nessas quatro cidades, detalhando as metodologias adotadas nesses estudos e divulgando os resultados atingidos. A seção 4 realiza uma análise comparativa dos resultados apresentados nos estudos, e a contribuição desses sistemas para auxiliar o atingimento das metas de redução. A seção 5 trata das conclusões deste trabalho.

METAS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE E AS EMISSÕES EVITADAS PELOS METRÔS

O transporte rodoviário é responsável pela maioria das emissões de GEE e terá grande crescimento nos próximos anos, já que a previsão é de que a frota global de veículos será multiplicada em três ou quatro vezes nas próximas décadas, tendo como base o ano de 2010 (ONU, 2011). Em virtude da necessidade de minimizar o aumento progressivo previsto das emissões de GEE para os próximos anos, diversos governos de cidades, estados e países de todo o mundo vêm estabelecendo metas de redução das emissões.

Ainda que objetivos explícitos de redução não sejam compromissados por governos ou entidades privadas, há um crescente interesse em criar sistemas de transportes sustentáveis, menos poluentes. A implantação, melhoria e maior utilização dos metrô podem contribuir para a redução das emissões, por meio da diminuição do uso do transporte de baixa capacidade, como automóveis particulares, táxis e motocicletas, e do transporte de média capacidade, como os ônibus e vans. Esse conceito é chamado de emissões evitadas pela operação do sistema metroviário.

As metas de redução das emissões de GEE estabelecidas por governos

Diversos governos estabeleceram objetivos de redução das emissões de GEE. No Brasil, o estado do Rio de Janeiro determinou objetivos de redução de 30% das emissões entre 2010 e 2030, em relação ao ano de 2010, através do Decreto 43.216 de 30/09/2011, enquanto que o estado de São Paulo aprovou e estabeleceu, através do Decreto 58.107 de 05/06/2012, objetivos de redução de 20% das emissões até 2020, tendo por base o ano de 2005. Em Portugal, a cidade do Porto estabeleceu uma meta de redução de 45% até 2020, em relação a 2004 (Adeporto, 2010), enquanto que a cidade de Lisboa estabeleceu meta de 20% de redução entre 2002 e 2020 (Lisboa e-Nova, 2009).

A emissão de GEE nos metrô acontece basicamente através da geração da energia elétrica necessária para suprir toda a operação dos sistemas, incluindo a energia consumida necessária para prover a força de tração dos trens e o funcionamento dos equipamentos auxiliares das estações. No Metrô do Rio de Janeiro, a emissão pela geração da energia elétrica representou 72% de toda a emissão produzida pela empresa metroviária da cidade do Rio de Janeiro no ano de 2011 (Metrôrio, 2012).

Analisando os objetivos de redução das emissões do setor de transportes da União Europeia, Nelldal e Andersson (2012) sugerem que a



www.antp.org.br

maneira mais eficiente de alcançar essa redução é aumentando a participação do transporte sobre trilhos. Nesse estudo, foi concluído que, com uma realocação de investimentos, seria possível aumentar a participação dos sistemas sobre trilhos no mercado de transporte de passageiros para 29% e diminuir a participação dos automóveis para 61%, permitindo uma redução de 30% nas emissões de GEE de 2010 a 2050.

Em um estudo comparativo de resultados das emissões de GEE em diversos sistemas de transportes de passageiros, concluiu-se que, em todas as abordagens de emissões pelos sistemas de transporte sobre trilhos, estes demonstram que, em geral, constituem uma boa alternativa de transporte de passageiros de baixa emissão em todo o mundo, sendo que os metrô brasileiros apresentam um bom desempenho em termos de emissão de GEE devido à capacidade de atração de usuários e à predominância de fontes hidrelétricas na matriz de geração da eletricidade (Andrade *et al.*, 2013a).

As emissões evitadas pela operação do sistema metroviário

As emissões evitadas pela operação do sistema metroviário são calculadas, principalmente, através da quantificação do deslocamento de usuários de outros meios de transporte de maior emissão. Este deslocamento é conhecido como fator *mode shift*, sugerido em estudo da American Public Transportation Association (APTA), envolvendo todo o sistema de transporte público da cidade de Nova Iorque (APTA, 2009), sendo este conceito amplamente utilizado em estudos específicos para os metrô. A base desse conceito é o fato de que, sem a operação de um sistema metroviário, a cidade teria uma circulação muito maior de outros meios de transportes mais poluentes. Isso produziria por si só, em geral, maior emissão. A diferença entre a emissão evitada e a produzida fornecerá a emissão evitada líquida.

A APTA também sugeriu o fator *congestion relief*, em que o trânsito, sem a operação ou implantação do sistema metroviário, traria às ruas mais veículos em circulação, aumentando o nível de congestionamento e provocando maior queima de combustíveis fósseis, e, conseqüentemente, aumentando as emissões do setor de transporte de uma região (APTA, 2009).

A determinação da emissão evitada pela operação do sistema metroviário, através da utilização do fator *mode shift*, é a mais usual em estudos já realizados em metrô. Ela consiste na estimativa da emissão de GEE produzida por outros meios de transporte na absorção da demanda diária do metrô. Para isso devem-se obter os dados de qual meio de transporte cada usuário utilizaria se não existisse o sistema, estimando a quantidade de GEE emitida na utilização desses meios de transpor-

tes. De acordo com Florida Department of Transportation (FDT) existem quatro formas usuais para se fazer a estimativa das emissões evitadas através da utilização do fator *mode shift* (FDT, 2008):

- simular a ausência do metrô em modelos de demanda de viagens;
- examinar o comportamento das viagens durante longas interrupções do sistema metroviário, como greves;
- pesquisa com os usuários sobre suas preferências de viagens;
- uso de um conjunto de padrões baseado no tamanho da população.

É possível estabelecer diferentes metodologias de cálculo para se chegar ao resultado das emissões líquidas evitadas, cujo valor irá depender do que será considerado no cálculo da emissão produzida pelo metrô.

As emissões líquidas evitadas serão determinadas por meio da diferença entre a emissão produzida pelo metrô e a sua emissão evitada. Pode-se concluir, por meio do resultado dessa diferença, se o metrô possui emissão líquida positiva ou negativa. A emissão líquida positiva significa que o sistema produz mais do que evita. A emissão líquida negativa significa que a operação do sistema compensa as emissões produzidas e ainda evita uma determinada quantidade de emissão, que é usualmente quantificada em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e).

A emissão evitada pode ser expressa em forma de toneladas de carbono evitadas para cada tonelada produzida, o que dará uma medida da eficiência de redução de carbono oferecida pelo sistema.

ESTUDOS DE EMISSÕES EVITADAS PELA OPERAÇÃO DE SISTEMAS METROVIÁRIOS DO BRASIL E DE PORTUGAL

Estudos de emissões produzidas e evitadas pela operação de sistemas metroviários foram pesquisados em metrô do Brasil, nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo, e em Portugal, nas cidades do Porto e de Lisboa.

Emissões evitadas pela operação do Metrô do Rio de Janeiro

Este estudo, publicado por Andrade *et al.* (2013b), chegou ao resultado das emissões evitadas pela operação do Metrô do Rio de Janeiro no ano de 2011. A metodologia utilizada para calcular o resultado das emissões evitadas considerou apenas a utilização do fator *mode shift* e consistiu em quatro etapas:

Etapa 1: Determinação das escolhas dos usuários por outros meios de transportes (automóveis particulares, táxis, motocicletas, ônibus e vans) que seriam utilizados em caso da ausência do metrô do Rio de Janeiro, sendo esses dados obtidos através de pesquisa realizada pelo Ibope diretamente com os usuários do metrô.



www.antp.org.br

Etapa 2: Determinação da quantidade de passageiros-km de cada meio de transporte escolhido pelos usuários.

Etapa 3: Determinação da quantidade de veículos-km correspondentes a cada meio de transporte e a cada tipo de combustível utilizado (gasolina, etanol, diesel e gás natural veicular), com as correspondentes quantidades de cada tipo de combustível.

Etapa 4: Determinação da emissão produzida por cada meio de transporte e cada tipo de combustível.

A metodologia utilizada nesse estudo considerou os passageiros-km de cada meio de transporte escolhido pelos usuários relacionado aos horários de pico, admitindo-se, conservadoramente, que, nas demais faixas horárias do dia, a demanda seria absorvida pela capacidade ociosa dos outros meios de transportes, não gerando necessidade de veículos-km adicionais.

As emissões produzidas pelo Metrô do Rio de Janeiro contemplam o resultado das emissões indiretas pelo uso da eletricidade (escopo 2) extraído do inventário de emissões de GEE do Metrô do Rio de Janeiro, do ano de 2011, conforme definido na Norma ISO 14064 (ISO, 2007). A tabela 1 apresenta os resultados obtidos no estudo das emissões evitadas pelo Metrô do Rio de Janeiro no ano de 2011.

Tabela 1
Resultados das emissões produzidas e evitadas do Metrô do Rio de Janeiro em 2011

Emissões de GEE produzidas, considerando as emissões de toda energia elétrica da empresa metroviária	5.690 tCO ₂ e
Emissões de GEE evitadas, considerando apenas o fator <i>mode shift</i>	41.039 tCO ₂ e
Emissões de GEE líquidas evitadas	- 35.349 tCO ₂ e

Fonte: Andrade *et al.* (2013b) e Metrôrio (2012).

A relação entre a emissão produzida e a emissão evitada pela operação do Metrô do Rio de Janeiro indica que, no ano de 2011, para cada tonelada de GEE produzida pelo sistema, considerando toda a geração da energia elétrica desse sistema, cerca de 7 toneladas foram evitadas.

Emissões evitadas pela operação do Metrô de São Paulo

O Metrô de São Paulo calcula e divulga em seus relatórios de sustentabilidade os resultados das emissões evitadas, contabilizando os benefícios sociais em função da sua rede em operação. Neste balanço, são divulgados apenas os resultados das emissões evitadas em virtude da operação do Metrô de São Paulo (2014), com base em metodologia própria definida, que contempla os fatores *mode shift* e *congestion relief*.

As emissões produzidas contemplam apenas a geração da energia elétrica necessária para prover a força de tração dos trens. A tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos estudos das emissões líquidas evitadas no Metrô de São Paulo, relacionadas aos anos de 2011 a 2013.

Tabela 2
Resultados das emissões produzidas e evitadas do Metrô de São Paulo, de 2011 a 2013

	2011	2012	2013
Emissões de GEE produzidas, considerando apenas as emissões da energia elétrica de tração dos trens	13.000 tCO ₂ e	29.000 tCO ₂ e	42.000 tCO ₂ e
Emissões de GEE evitadas, considerando os fatores <i>mode shift</i> e <i>gestion relief</i>	790.000 tCO ₂ e	820.000 tCO ₂ e	862.000 tCO ₂ e
Emissões de GEE líquidas evitadas	- 777.000 tCO ₂ e	- 791.000 tCO ₂ e	- 820.000 tCO ₂ e

Fonte: Metrô de São Paulo (2014).

A relação entre a emissão produzida e a emissão evitada pela operação do Metrô de São Paulo indica que, no ano de 2013, para cada tonelada de GEE produzida pela geração da energia elétrica necessária para prover a força de tração dos trens do sistema, cerca de 20 toneladas foram evitadas.

Emissões evitadas pela operação do Metrô do Porto

A implantação do Metrô do Porto, ocorrida em dezembro de 2002, já previa uma contribuição significativa para o alcance das metas de redução de GEE previstas no protocolo de Quioto. O estudo do cálculo das emissões evitadas pela operação do Metrô do Porto foi divulgado em seu relatório de sustentabilidade de 2012 (Metrô Porto, 2013), chegando ao resultado das emissões líquidas evitadas pela operação do Metrô do Porto nos anos de 2010 a 2012. Na metodologia adotada foi utilizado apenas o fator *mode shift*, sendo possível identificar a proporção das captações dos usuários do Metrô do Porto que, em 2012, segundo o Metrô do Porto (2013), foi de:

- 24% do transporte privado, sendo consideradas as viagens por automóveis e motocicletas;
- 65% do transporte coletivo, sendo consideradas as viagens por ônibus e ferrovias;
- 11% do transporte não motorizado, contabilizando as viagens a pé ou de bicicleta.

A metodologia adotada pelo Metrô do Porto considera como emissão produzida toda a geração da energia elétrica da empresa metroviária da cidade do Porto, considerando a energia necessária para suprir a

força de tração dos trens, dos equipamentos auxiliares das estações, do centro de controle operacional, do setor administrativo e outros. A tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos estudos das emissões líquidas evitadas no Metrô do Porto, para os anos de 2010 a 2012.

A relação entre a emissão produzida e a emissão evitada pela operação do Metrô do Porto indica que, no ano de 2012, para cada tonelada de GEE produzida pelo sistema, considerando toda a geração da energia elétrica desse sistema, cerca de 4,5 toneladas foram evitadas.

Tabela 3
Resultados das emissões produzidas e evitadas do Metrô do Porto, de 2010 a 2012

	2010	2011	2012
Emissões de GEE produzidas, considerando as emissões de toda energia elétrica da empresa metroviária	16.310 tCO ₂ e	15.499 tCO ₂ e	13.302 tCO ₂ e
Emissões de GEE evitadas, considerando apenas o fator <i>mode shift</i>	56.403 tCO ₂ e	61.895 tCO ₂ e	59.512 tCO ₂ e
Emissões de GEE líquidas evitadas	- 40.093 tCO ₂ e	- 46.396 tCO ₂ e	- 46.210 tCO ₂ e

Fonte: Metrô Porto (2013).

Emissões evitadas pela operação do Metrô de Lisboa

O Metrô de Lisboa divulgou o resultado das emissões evitadas pela operação de seu sistema no ano de 2010 (Metrô Lisboa, 2011). A metodologia adotada para realizar o cálculo considerou somente o fator *mode shift*, levando em conta apenas a transferência dos usuários para os automóveis e os ônibus, desprezando do cálculo as transferências para os outros meios de transportes.

Este estudo considerou as emissões diretas e as emissões indiretas pela geração de toda a energia elétrica da empresa metroviária de Lisboa. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos no estudo das emissões evitadas pelo Metrô de Lisboa no ano de 2010.

Tabela 4
Resultados das emissões produzidas e evitadas do Metrô de Lisboa, em 2010

	2010
Emissões de GEE produzidas, considerando os resultados das emissões diretas + emissões indiretas pela geração de toda energia elétrica da empresa metroviária	56.851 tCO ₂ e
Emissões de GEE evitadas, considerando apenas o fator <i>mode shift</i>	130.275 tCO ₂ e
Emissões de GEE líquidas evitadas	- 73.424 tCO ₂ e

Fonte: Metrô Lisboa (2011).



A relação entre a emissão produzida e a emissão evitada pela operação do Metrô de Lisboa indica que, no ano de 2010, para cada tonelada de GEE produzida pelo sistema, considerando as emissões diretas e as emissões de toda a geração da energia elétrica desse sistema, cerca de 2,3 toneladas foram evitadas.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES EVITADAS PELA OPERAÇÃO DOS METRÔS DO BRASIL E DE PORTUGAL

A estrutura da matriz energética é essencial para determinar o resultado final da emissão líquida evitada, pois afetará diretamente a emissão produzida. A demanda do metrô também é outro fator relevante para o resultado, pois é necessário que a taxa de ocupação do sistema não seja baixa, para que a emissão evitada tenha valores relevantes e seja maior que a emissão produzida.

A tabela 5 apresenta um resumo dos resultados encontrados e das metodologias adotadas nos cálculos das emissões evitadas para os quatro estudos apresentados. Os resultados obtidos indicam que, em todas as cidades analisadas, as emissões evitadas pela operação do metrô foram muito maiores do que as emissões produzidas pelo sistema, comprovando a importância da operação dos metrô como forma de mitigar o aumento das emissões pelo setor de transportes do Brasil e de Portugal.

Tabela 5
Emissões evitadas pelos metrô de São Paulo, Rio de Janeiro, Porto e Lisboa

Ano base das emissões	São Paulo	Rio de Janeiro	Porto	Lisboa
	2013	2011	2012	2010
Emissões produzidas (em tCO ₂ e)	Energia de tração dos trens	Energia elétrica da empresa	Energia elétrica da empresa	Diretas + energia elétrica da empresa
	42.000	5.690	13.302	56.851
Emissões evitadas (em tCO ₂ e)	<i>mode shift + congestion relief</i>	<i>mode shift</i>	<i>mode shift</i>	<i>mode shift</i>
	862.000	41.039	59.512	130.275
Resultado = Emissões líquidas evitadas (em tCO ₂ e)	- 820.000	- 35.349	- 46.210	- 73.424
Metas de redução das emissões definidas pelos governos locais	20% até 2020 (base 2005)	30% até 2030 (base 2010)	45% até 2020 (base 2004)	20% até 2020 (base 2012)
Nº toneladas evitadas / 1 tonelada produzida	20,5	7,2	4,5	2,3
Fontes	Metrô de São Paulo (2014)	Andrade et al. (2013b) e Metrôrio (2012)	Metrô Porto (2013)	Metrô Lisboa (2011)



www.antp.org.br

As cidades de Lisboa e Porto tiveram os resultados menos significativos em função da matriz energética local, já que Portugal importa 90% da energia primária que utiliza, onde grande parte dessa energia é de origem térmica (Lisboa e-Nova, 2010), que são fontes de energia muito emissoras. No Brasil, existe a predominância da fonte hidroelétrica na geração da energia elétrica, que é uma fonte energética com baixo impacto na emissão de GEE, representando 77% do total da matriz energética nacional. Há uma menor utilização de fontes térmicas na geração da energia elétrica do Brasil, comparada à de Portugal, representando apenas 13% do total da matriz energética brasileira (EPE, 2013).

Com isso, os metrô brasileiros tendem a ter uma maior participação na contribuição para as reduções das emissões do setor de transportes, auxiliando os governos locais no atingimento das metas de redução de GEE. Em função da matriz elétrica de Portugal ser baseada na queima de combustíveis fósseis, os metrô portugueses emitem cerca de seis vezes mais gCO₂/kWh do que o calculado para os metrô brasileiros (Ipea, 2011).

O melhor resultado, apresentado pelo Metrô de São Paulo, ocorreu devido à inclusão do fator *congestion relief* no cálculo das emissões evitadas, que contribuiu para aumentar o resultado final da emissão líquida evitada.

Apesar das diferenças nas metodologias adotadas, constata-se que os metrô comprovaram ser um meio de transporte de baixo impacto nas emissões de GEE, contribuindo, dessa forma, para o atingimento das metas de redução das emissões dos governos.

CONCLUSÕES

A proposta do estudo consistiu em avaliar as emissões evitadas pela operação de sistemas metroviários, quantificando a real contribuição dos metrô para o atingimento das metas de redução das emissões estipuladas por governos. O objetivo do estudo foi atingido por meio da apresentação dos estudos e da análise comparativa dos resultados das emissões de GEE evitadas pelos metrô de quatro cidades de dois países com matrizes elétricas de baixa e alta emissão de carbono: Rio de Janeiro, São Paulo, Porto e Lisboa. Foram constatadas importantes contribuições desses metrô para o atingimento das metas de redução, que variaram de 2,3 a 20,5 vezes tCO₂ evitadas para cada tonelada produzida.

Conclui-se que seria indicado às autoridades o estabelecimento de uma política de incentivo ao uso do sistema metroviário e outros sistemas sobre trilhos alimentados a energia elétrica, minimizando a utilização de veículos rodoviários movidos por combustíveis fósseis,

sendo essa uma boa medida para provocar as reduções das emissões de GEE do setor de transporte.

Um fator limitador nesse trabalho consiste na ausência de publicações, nos países analisados, de estudos sobre emissões evitadas específicas para sistemas ferroviários de passageiros, de tal forma que fosse possível quantificar as reais contribuições que os sistemas metroviários e ferroviários de passageiros, conjugados, trazem para as reduções das emissões pelo setor de transportes de uma região.

A proposta de novo estudo se baseia na aplicação de uma das metodologias de cálculo das emissões evitadas apresentadas nesse trabalho em um sistema ferroviário de passageiros de uma grande cidade. Outra proposta de estudo consiste em estabelecer e aplicar uma nova metodologia de emissão evitada pelos sistemas metroviários, que considere como emissão produzida pelo metrô o consumo de toda energia elétrica vital à sua operação, contemplando a geração da eletricidade para prover a força de tração dos trens e para o funcionamento dos equipamentos auxiliares nas estações, desprezando os demais consumos de eletricidade da empresa metroviária. Esta abordagem forneceria uma padronização mais adequada para comparação com outros meios de transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEPORTO - Agência de Energia do Porto. *Plano de ação para a energia sustentável da cidade do Porto*, 2010. Disponível em: http://www.adeporto.eu/fotos/editor2/plano_acciao_alterado.pdf. Acesso em: 05/03/2015.
- AGENEAL - Agência Municipal de Energia de Almada. *Estratégia local para as alterações climáticas*, 2005. Disponível em: www.ageneal.pt/DirEscrita/upload/docs/ELAC_3.pdf. Acesso em: 05/03/2015.
- ANDRADE, C. E. S.; BITTENCOURT, I. A.; D'AGOSTO, M. A.; LEAL JÚNIOR, I. C. O. *transporte de passageiros sobre trilhos e sua contribuição para a redução das emissões de gases do efeito estufa*. CBTU – Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2013a.
- ANDRADE, C. E. S.; D'AGOSTO, M. A.; LEAL JÚNIOR, I. C. Avaliação do ganho na redução de CO₂ devido à disponibilidade de um sistema metroviário: Aplicação no Metrô do Rio de Janeiro. *Transportes*, v. 21, n. 2, 2013b, p. 5-12. DOI: 10.4237/transportes.v21i2.653.
- APTA - American Public Transportation Association. *Recommended practices for quantifying greenhouse gas emissions from transit*, 2009. Disponível em: <http://www.apta.com/resources/hottopics/sustainability/Documents/Quantifying-Greenhouse-Gas-Emissions-APTA-Recommended-Practices.pdf>. Acesso em: 05/03/2015.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço energético nacional de 2011*, 2012. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf. Acesso em: 05/03/2015.
- _____. *Balanço energético nacional de 2012*, 2013. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf. Acesso em: 05/03/2015.



- FDT - Florida Department of Transportation. *Conserve by transit: Analysis of the energy consumption and climate change benefits of transit*, 2008. Disponível em: <http://planfortransit.com/wp-content/ConservebyTransitFinalReport.pdf>. Acesso em: 05/03/2015.
- IEA - International Energy Agency. *Transport, energy and CO₂*, 2009. Disponível em: www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf. Acesso em: 05/03/2015.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros*, 2011. Disponível em: http://desafios2.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf. Acesso em: 05/03/2015.
- ISO - International Organization for Standardization. *ISO 14.064:2007. Gases do efeito estufa*, 2007.
- LISBOA e-NOVA - Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa. *Plano de ação para a sustentabilidade energética de Lisboa*, 2009. Disponível em: http://mycove-nant.eumayors.eu/docs/seap/300_1316002099.pdf. Acesso em: 05/03/2015.
- _____. *Uma estratégia energético ambiental para a cidade de Lisboa*, 2010. Disponível em: www.cfn.ist.utl.pt/conf_energia/files/21_11_Apresentacao.pdf. Acesso em: 05/03/2015.
- LU - London Underground. *London underground carbon footprint*, 2009. Disponível em: <http://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/london-underground-carbon-footprint-2008.pdf>. Acesso em: 05/03/2015.
- METRÔ DE SÃO PAULO. *Relatório de Sustentabilidade de 2013*, 2014. Disponível em: www.metro.sp.gov.br/relatoriosdesustentabilidade-2013. Acesso em: 05/03/2015.
- METRÔ LISBOA. *Relatório de Sustentabilidade de 2010*, 2011. Disponível em: www.metrolisboa.pt/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio-de-sustentabilidade2010.pdf. Acesso em: 05/03/2015.
- METRÔ PORTO. *Relatório de Sustentabilidade de 2011-2012*, 2013. www.metrodoporto.pt/PageGen.aspx?WMCM_Paginald=17246. Acesso em 05/03/2015.
- METRÔ RIO - Metrô do Rio de Janeiro. *Inventário de emissões de gases do efeito estufa de 2011*, 2012.
- NELLDAL, B. L. e ANDERSSON, E. Mode shift as a measure to reduce greenhouse emissions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 48, 2012, p. 3187-3197. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1285.
- ONU - Organização das Nações Unidas. *Rumo a uma economia verde: Caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza*, 2011. Disponível em: http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/Green_Economy_Full_report_pt.pdf. Acesso em: 05/03/2015.