

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Magdala Satt Arioli**

**Emissões do transporte urbano: da quantificação à mitigação**

Porto Alegre  
março de 2014

**Magdala Satt Arioli**

**Emissões do transporte urbano: da quantificação à mitigação**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de concentração de Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Luis Antonio Lindau, *Ph.D.*

Porto Alegre  
março de 2014

**Magdala Satt Arioli**

## **Emissões do transporte urbano: da quantificação à mitigação**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, março de 2014.

---

**Prof. Luis Antonio Lindau, *Ph.D.***

Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.**

Coordenador PPGEP/UFRGS

### **BANCA EXAMINADORA**

Professor João Fortini Albano, Dr. (DEPROT/UFRGS)

Professora Leticia Dexheimer, Dr. (UFPel/CIM)

Professor Luiz Afonso dos Santos Senna, *Ph.D.* (PPGEP/UFRGS)

À minha família e aos meus amigos do coração.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus

Agradeço aos meus pais Dante e Magda, meus exemplos de vida, pelo intenso e fiel apoio.

Agradeço em especial ao meu orientador, Prof. Lindau, por todos os ensinamentos repassados e por me orientar na construção deste trabalho.

Agradeço à EMBARQ Brasil por me proporcionar um aprendizado constante e imensurável.

Agradeço aos professores do LASTRAN por terem contribuído na minha formação em Transportes.

Aos membros da banca, Prof<sup>a</sup> Leticia, Prof. Senna e Prof. Albano, que com suas críticas muito contribuíram para o aperfeiçoamento do trabalho.

Por fim, agradeço à minha família de coração, meus amigos, que estiveram sempre presentes.

*“Go confidently in the direction of your dreams. Live the life you've imagined. As you simplify your life, the laws of the universe will be simpler.”*

Henry David Thoreau

## RESUMO

Uma das principais externalidades dos transportes na dimensão urbana é a emissão de poluentes locais e a geração de gases de efeito estufa (GEE). O estudo tem por finalidade quantificar as emissões da frota de ônibus urbano de uma cidade brasileira e propor um mecanismo de mitigação de GEE. Para atingir o objetivo, o estudo apresenta os combustíveis e tecnologias disponíveis no Brasil, e através de uma meta-análise identifica as combinações de combustível e tecnologia que proporcionam a maior redução das emissões de CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2</sub>e. Os resultados da análise mostram que algumas das opções de combustível e tecnologia que apresentam melhor desempenho são: B100 associado ao DPF e SCR, GNV associado ao 3WC, B20 associado ao DPF e SCR, e D15 associado ao DPF e SCR. A seguir, as contribuições dos mecanismos de mitigação de GEE para o setor de transportes são analisadas. O impacto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no setor é limitado, e não há muitas perspectivas de atuação. As Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMAs), têm potencial para atuar na redução de GEE, e devem proporcionar apoio financeiro oriundo dos fundos climáticos para as ações implantadas nos países em desenvolvimento. Um estudo de caso foi desenvolvido para avaliar a possibilidade de elaboração de uma NAMA para a renovação da frota de ônibus urbano de uma cidade. Os resultados obtidos na meta-análise foram aplicados para avaliar o combustível e tecnologia que proporcionam maior redução das emissões. Os resultados mostram que a renovação da frota tem potencial de desenvolvimento de uma NAMA, visto que reduz emissões de GEE e proporciona co-benefícios; contudo, deve-se estabelecer um sistema de MRV (Monitorar, Reportar, Verificar) capaz de quantificar as emissões na mitigação.

Palavras-chave: Emissões de ônibus urbanos. Poluentes atmosféricos. Mecanismos de mitigação de GEE. Tecnologias veiculares alternativas.

## ABSTRACT

One of the main externalities from urban transportation is the emission of local pollutants and greenhouse gases (GHG). The study aims to quantify the emissions from the urban bus fleet of a Brazilian city and propose a GHG mitigation mechanism. First, the study presents the fuels and technologies available in Brazil, and through a meta-analysis identifies combinations of fuel and technology that provide the greatest reduction in emissions of CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM and CO<sub>2e</sub>. Results show the fuel and technology that perform best are: B100 associated with DPF and SCR, CNG associated with 3WC, B20 associated with DPF and SCR, and D15 associated with DPF and SCR. The contribution of GHG mitigation mechanisms for the transport sector was analyzed. The impact of the Clean Development Mechanism (CDM) in the sector is limited, and there are not many perspectives for the future. The Nationally Appropriate Mitigation Actions, named NAMAs, have the potential to act in reducing GHG in transport sector, and should provide financial cooperation through climate funds for implementation of actions in developing countries. A case study was developed to evaluate the possibility of developing a NAMA for the renewal of the fleet of urban buses in a Brazilian city. The results obtained in the meta-analysis were applied to evaluate which fuel and technology provide greater reductions in emission. The results show that the renewal of the fleet has the potential for developing a NAMA, since it reduces greenhouse gas emissions and provide co-benefits; however it requires a serious MRV (Monitor, Report, Verify) capable of quantifying the mitigation of emissions.

Key words: Transit bus emissions. Air pollutants. Mitigation mechanisms of GHG. Alternative buses technologies.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3 DELIMITAÇÃO.....	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
<b>2 ARTIGO 1: META-ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES NA EXAUSTÃO DOS ÔNIBUS URBANOS</b> .....	16
<b>3 ARTIGO 2: MECANISMOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO TRANSPORTE URBANO</b> .....	29
<b>4 ARTIGO 3: POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO DE UMA NAMA PARA RENOVAÇÃO DA FROTA DE ÔNIBUS URBANO</b> .....	41
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	55
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57

## LISTA DE ABREVIACÕES

- 3WC – Catalisador de oxidação de três vias
- ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - Brasil
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- ARLA32 – Agente redutor líquido de NOx
- B100 – Biodiesel 100%
- B20 – Mistura 20% biodiesel e 80% diesel
- BEN – Balanço Energético Nacional
- CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CH<sub>4</sub> – Gás Metano
- CO - Monóxido de Carbono
- CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico
- CO<sub>2</sub>e - Dióxido de Carbono Equivalente
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- COP – Conferência das Partes
- CQNUMC – Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas
- D>150 - Diesel com teor de enxofre maior que 150 ppm
- D10 – Diesel com teor de enxofre 10 ppm
- D15 - Diesel com teor de enxofre 15 ppm
- D50 - Diesel com teor de enxofre 50 ppm
- DOC – Catalisador de Oxidação
- DPF - Filtro de Particulado de Ação Regenerativa
- EGR - Sistema de Recirculação dos Gases de Exaustão
- GEE – Gases de Efeito Estufa
- GNV - Gás Natural Veicular
- GWP – Global Warming Potential
- HC - Hidrocarbonetos
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
- MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Tratado de Quioto
- MMA - Ministério do Meio Ambiente
- MP - Material Particulado
- MRV – Monitorar, Reportar e Verificar
- N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso
- NAMA –Ações de Mitigação Nacionalmente Adequadas (Nationally Appropriated Mitigation)

Actions, em inglês)

NO<sub>x</sub> - Óxidos de nitrogênio

PROCONVE - Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

RCEs – Reduções Certificadas de Emissões

SCR – Sistema Catalítico de Redução

SO<sub>2</sub> - Dióxido de Enxofre

tCO<sub>2</sub>e – Tonelada de dióxido de carbono equivalente

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte é um elemento essencial na atividade econômica e conectividade social. Embora o aumento da mobilidade traga benefícios, o ritmo vertiginoso deste crescimento exige novos desafios, tornando necessária atenção política para atenuar as externalidades causadas pelo crescimento da mobilidade urbana (IEA, 2013). Os efeitos da urbanização e da mudança climática estão convergindo de forma perigosa, potencializando seus impactos negativos. As áreas urbanas, com a sua alta concentração de população, indústrias e infraestrutura, estão vulneráveis aos impactos mais graves da mudança climática (UN-HABITAT, 2011).

O setor de transportes é uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE), sendo responsável por 22% das emissões globais devido ao consumo energético, das quais 73% representam emissões do transporte rodoviário (IEA, 2013). As emissões do setor de transporte rodoviário são provenientes da queima de combustível fóssil. No Brasil, 97% do consumo de óleo diesel no setor de transporte é oriundo do setor rodoviário (BEN, 2013). Diante desse quadro, torna-se importante a busca por tecnologias veiculares alternativas e combustíveis limpos que sejam menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

As emissões de gases poluentes dos veículos automotores implicam em uma série de efeitos que contribuem para problemas ambientais e de saúde. A poluição atmosférica compromete a saúde de pessoas em todo o mundo. Em 2012, 3,7 milhões de mortes prematuras foram atribuídas aos efeitos da poluição atmosférica (WHO, 2014). Em São Paulo estima-se um excesso de 7 mil mortes prematuras ao ano na região metropolitana e 4 mil na capital, decorrentes do impacto da poluição na saúde das pessoas, além da redução de 1,5 anos de vida (ISS, 2013).

A mudança climática é uma preocupação para muitos países e instituições financeiras. Os recentes esforços por parte dos governos e instituições têm-se centrado sobre o uso de mecanismos de mitigação e de financiamento, através de fundos climáticos, para reduzir as emissões de GEE, especialmente em países em desenvolvimento (Ríos et al., 2013). O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e as Ações de Mitigação

Nacionalmente Apropriadas (NAMAs) são os mecanismos de mitigação mais importantes para o setor transporte, dentro da conformidade da Convenção-Quadro da Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC, do inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change*), que podem proporcionar reduções quantificáveis e verificáveis no setor de transportes (Allen *et al.* 2013).

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é quantificar as emissões da frota de ônibus urbano de uma cidade brasileira e propor um mecanismo de mitigação de GEE.

Os objetivos específicos do estudo são:

- a) Identificar os combustíveis e tecnologias veiculares disponíveis no mercado para os ônibus urbanos
- b) Quantificar as emissões de exaustão em função dos combustíveis e tecnologias veiculares
- c) Identificar quais combustíveis e tecnologias proporcionam maiores reduções de gases poluentes locais e de efeito estufa
- d) Explorar o potencial dos mecanismos de mitigação de GEE para o setor de transportes
- e) Verificar as contribuições dos mecanismos de mitigação para o setor, e analisar suas perspectivas futuras
- f) Propor mecanismo de mitigação para setor de transportes

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A quantificação dos principais poluentes gerados pelo setor é fundamental para a formulação de políticas públicas ambientais e de gestão de transporte e trânsito, visto que o consumo de energia no transporte urbano deverá duplicar até 2050 (IEA, 2013).

As políticas públicas devem buscar resultados mais efetivos no controle das emissões, focando nos maiores agentes poluidores.

O Brasil é um país predominantemente urbano, com mais de 80% da sua população vivendo em áreas urbanas, do que se deduz que a maior parte das emissões veiculares se concentra nessas áreas (IBGE, 2010). A frota brasileira de ônibus representa 1% da composição dos veículos em circulação no país e 34% das emissões de poluentes atmosféricos locais e GEE (ANTP, 2012). Uma considerável parte dessas emissões resultam da grande quantidade de ônibus antigos e com tecnologia defasada. Dado que há uma necessidade de renovação da frota de ônibus será estudado o impacto nas emissões.

### 1.3 DELIMITAÇÃO

Este trabalho aborda as emissões de gases de exaustão de ônibus urbanos de diferentes combustíveis e tecnologias. Os gases de exaustão considerados foram CO<sub>2</sub>e, e os gases regulados pelo PROCONVE, CO, HC, NO<sub>x</sub> e MP. O estudo limita-se a avaliar apenas as combinações de combustível e tecnologias disponíveis no mercado brasileiro. A base de dados que embasa a meta-análise é composta por pesquisas e estudos realizados, em sua maioria, na Europa e nos Estados Unidos, e considera apenas ônibus convencionais.

Os mecanismos abordados para mitigação dos gases do efeito estufa são aqueles que atuam dentro das conformidades da CQNUMC. Quanto aos Fundos Climáticos, foram identificados e citados apenas os que investiram em projetos no setor de transportes.

Os modelos mais difundidos para estimar gases do efeito estufa e outros poluentes são modelo *top-down* e *bottom-up*. No estudo de caso para quantificar as emissões da renovação da frota, foi utilizado o método *bottom-up*, visto que engloba mais fatores para fazer as estimativas, proporcionando valores mais próximos da realidade.

A análise do potencial de desenvolvimento de uma NAMA para renovação da frota limitou-se a avaliar os impactos das emissões dos poluentes locais e globais. Não foram realizadas análises no âmbito econômico e político, dado que o objetivo do trabalho é quantificar e avaliar o potencial de mitigar as emissões.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo consta uma introdução ao tema abordado, os objetivos e etapas da pesquisa, bem como uma justificativa para o seu desenvolvimento. O segundo capítulo apresenta o primeiro artigo da dissertação, no qual uma meta-análise das emissões de gases na exaustão dos ônibus urbanos é realizada a fim de identificar os combustíveis e tecnologias veiculares que proporcionam reduções nas emissões GEE e poluentes locais. O terceiro capítulo apresenta o segundo artigo da dissertação, no qual explora-se a contribuição dos mecanismos de mitigação de GEE para o setor de transportes e suas perspectivas de futuro. Os mecanismos analisados foram: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas, chamadas NAMAs, e Fundos Climáticos. O quarto capítulo apresenta o terceiro artigo da dissertação, que consiste na avaliação do potencial de desenvolvimento de uma NAMA para a renovação da frota de ônibus urbano de uma cidade brasileira. No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões e considerações para trabalhos futuros.

# META-ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES NA EXAUSTÃO DOS ÔNIBUS URBANOS

**Magdala Satt Arioli**

**Luis Antonio Lindau**

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

**Erin Cooper**

**Aileen Carrigan**

EMBARQ/WRI

**Umang Jain**

EMBARQ India

## RESUMO

Este estudo identifica os combustíveis e tecnologias veiculares disponíveis no Brasil, e através de uma meta-análise identifica as combinações de combustível e tecnologia que proporcionam a maior redução das emissões de CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2e</sub>. Os resultados da análise mostram que algumas das opções de combustível e tecnologia que apresentam melhor desempenho são: biodiesel 100% (B100) associado ao filtro de particulado (DPF) e sistema catalítico seletivo (SCR), gás natural veicular (GNV) associado ao catalisador de três vias (3WC), mistura de biodiesel 20% (B20) associado ao DPF e SCR, e diesel com teor de enxofre de 15 ppm (D15) associado ao DPF e SCR. As análises mostram que não há uma única combinação que proporcionará redução de todos os poluentes analisados, sendo importante considerar o ciclo de vida das emissões para uma análise completa de desempenho das combinações de combustível e tecnologias.

## ABSTRACT

This study identifies the fuels and technologies available in Brazil, and through a meta-analysis identifies combinations of fuel and technology that provide the greatest reduction in emissions of CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM and CO<sub>2e</sub>. The analysis results show that some of the fuel and technology that perform best options are: B100 associated with DPF and SCR, CNG associated with 3WC, B20 associated with DPF and SCR, and D15 associated with DPF and SCR. The analyzes show that there is not a unique combination that will provide reduction of all pollutants analyzed, it is important to consider the life cycle emissions for a complete analysis of the performance of combinations of fuel and technologies.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os ônibus urbanos veem sendo objeto de testes e pesquisas com o propósito de avaliar o custo-benefício proporcionado por diferentes combustíveis e tecnologias veiculares alternativas ao diesel. Mesmo com a disponibilidade atual de informações, nem sempre fica claro quais os combustíveis e tecnologias irão proporcionar melhor desempenho da frota de ônibus urbano, dado que os resultados das pesquisas não são facilmente comparáveis com os resultados de outros estudos.

Padrões de emissões são estabelecidos em muitos países para conduzir o aprimoramento dos veículos de ciclo diesel, e, assim, proporcionar reduções de gases na exaustão (An *et al.*, 2011). Esses padrões são considerados tecnologicamente neutros, pois qualquer combustível ou tecnologia que atender aos padrões poderá ser utilizado. Diferentes combustíveis têm características distintas de emissões, que podem alterar à medida que a qualidade do combustível varia.

Este estudo tem como objetivo analisar as combinações de combustíveis e tecnologias relevantes para a frota de ônibus urbanos nos próximos anos no Brasil, e que irão proporcionar maior redução de gases poluentes locais e de efeito estufa. O Brasil possui uma matriz energética diversificada, e inclui, em sua matriz mais de 20% de consumo



de biocombustível; no entanto, esse percentual representa apenas o consumo dos veículos leves (BEN, 2013). Apesar da frota de ônibus urbanos ser predominantemente de motor a diesel, algumas cidades brasileiras já possuem em sua frota, ainda que em quantidades pequenas, ônibus com tecnologias alternativas, tais como ônibus a etanol, biodiesel, GNV e modelo híbrido diesel-elétrico (ANFAVEA, 2012).

O estudo inicia contextualizando as emissões geradas no setor de transportes. Em seguida são apresentados os combustíveis e as tecnologias que serão analisadas, e as características de suas emissões na exaustão. Apresenta-se o método da meta-análise e a partir dos resultados obtidos os combustíveis e tecnologias são avaliados em termos de suas emissões de poluentes locais e de efeito estufa.

## 2. EMISSÕES NO SETOR DE TRANSPORTES

A poluição atmosférica proporcionada pelos gases poluentes emitidos na exaustão dos veículos automotores é um problema que implica em uma série de efeitos que contribuem para problemas ambientais e de saúde, afetando as pessoas em todo o mundo. Mais de 3 milhões de mortes prematuras a cada ano podem ser atribuídas aos efeitos da poluição atmosférica urbana (WHO, 2014). Outra grande preocupação com relação às emissões de veículos é o impacto das emissões de gases de efeito estufa (GEE), visto que o setor é responsável por aproximadamente 22% das emissões globais de GEE devido ao consumo energético (IEA, 2013).

Os principais poluentes atmosféricos emitidos pelos veículos automotores são: monóxido de carbono (CO); hidrocarbonetos (HC); óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>); óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>); e material particulado (MP). Os efeitos nocivos destes poluentes são apresentados na Tabela 1. Quanto aos poluentes do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal poluente emitido pelos veículos automotores. As emissões de GEE são convertidas em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) a partir do índice Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* – GWP), fornecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 1995).

**Tabela 1:** Efeitos nocivos dos principais poluentes veiculares (D’Agosto *et al.*, 2012)

Poluente	Impacto
CO	Atua no sangue reduzindo sua oxigenação, podendo causar morte após determinado período de exposição
HC	Combustíveis não queimados ou parcialmente queimados formam o smog e compostos cancerígenos. É um precursor do ozônio
NO <sub>x</sub>	Formação de dióxido de nitrogênio e na formação do smog fotoquímico e chuva ácida. É um precursor do ozônio
MP	Pode penetrar nas defesas do organismo, atingir os alvéolos pulmonares e causar irritações, asma, bronquite e câncer de pulmão. Sujeira e degradação de imóveis próximos aos corredores de transporte
SO <sub>x</sub>	Precursor do ozônio, formando chuva ácida e degradando vegetação e imóveis, além de provocar uma série de problemas de saúde

Governos nacionais utilizam padrões de emissões e testes para controlar a quantidade e os tipos de emissões prejudiciais que são liberadas no meio ambiente. Os poluentes locais regulamentados no Brasil são CO, NO<sub>x</sub>, HC e MP. O limites impostos pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) são apresentados na Tabela 2. Os padrões do PROCONVE, equivalentes aos padrões da

União Europeia (Euro), diferenciam-se em termos da nomenclatura das fases.

**Tabela 2:** Limites do PROCONVE para veículos pesados a diesel (g/km<sup>1</sup>) (CNT, 2011)

Fase do PROCONVE	EURO	CO	HC	NO <sub>x</sub>	MP	Vigência	Teor de enxofre (S)
P1	-	25,20	6,30	32,40	-	1989 a 1993	-
P2	Euro 0	20,16	4,41	25,92	1,082	1994 a 1995	3.000 a 10.000 ppm
P3	Euro 1	8,82	2,21	16,20	0,720	1996 a 1999	3.000 a 10.000 ppm
P4	Euro 2	7,20	1,98	12,60	0,270	2000 a 2005	3.000 a 10.000 ppm
P5	Euro 3	3,78	1,19	9,00	0,180	2006 a 2008	500 a 2.000 ppm
P6*	Euro 4	2,70	0,83	6,30	0,036	2009 a 2012	50 ppm
P7	Euro 5	2,70	0,83	3,60	0,036	a partir de 2012	10 a 500 ppm

\*A fase P6 não entrou em vigor, sendo que a P5 foi mantida até 2012

A regulamentação das emissões de GEE é recente. Na União Europeia, apenas os veículos leves têm limites de emissões para GEE (Lindqvist, 2012). Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) está desenvolvendo as primeiras regulamentações de GEE para os veículos pesados. Essas regulamentações deverão entrar em vigor em 2014 e, ao fim de 2018, elas deverão produzir uma redução média de 17% nas emissões de GEE por veículo. Espera-se que os padrões propostos pelos EUA economizem mais de 6 bilhões de barris de petróleo até 2025 e reduzam mais de 3 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (EPA 2012).

### 3. COMBUSTÍVEIS E TECNOLOGIAS

Um dos maiores desafios da indústria automobilística e do transporte rodoviário é a obtenção de novos sistemas de propulsão que possam flexibilizar a utilização ou substituir os motores de combustão interna e/ou novos combustíveis alternativos aos derivados de petróleo. É possível que estejamos no início da Era da Diversidade Energética, na qual cada país ou região irá selecionar tecnologias e os combustíveis que mais favoreçam o equilíbrio das bases da sustentabilidade, tanto a ambiental, a econômica, como a social (Ribeiro e Real, 2006).

O mercado de ônibus urbano no Brasil oferece várias possibilidades. Neste estudo considera-se: diesel com o conteúdo de enxofre, dependendo da região do país, de 500 ppm (S500), 50 ppm (S50) ou 10 ppm (S10); biodiesel, com soluções de 100% de biodiesel, e misturas de 20% biodiesel e 80% diesel, além de todo o diesel distribuído em território nacional conter 5% de biodiesel (ANP, 2012); etanol, gás natural veicular (GNV), e tecnologia híbrido diesel-elétrico.

#### 3.1. Diesel

Ao buscar os combustíveis alternativos ideais, é importante compreender porque o diesel permanece como um importante combustível no trânsito urbano. Sua alta densidade de energia permite que um ônibus ande mais com um volume menor de combustível. Muitas melhorias têm sido feitas em ônibus movidos a diesel para reduzir as emissões. As emissões do diesel são afetadas pela quantidade de enxofre no diesel. A redução do conteúdo de enxofre em combustíveis é uma grande preocupação, não apenas para reduzir a poluição atmosférica relacionada ao enxofre, mas também para

<sup>1</sup> Limites de emissões para veículos pesados geralmente são expressos em g/kWh. Usou-se fator de conversão de 1,8 km por g/kWh para fins de comparação com estudos existentes (Nylund et al., 2004)

permitir o uso de tecnologias de pós-tratamento de emissões, apresentados na Tabela 3 (UNEP, 2007). A maioria das preocupações relativas a poluentes com relação ao diesel são emissões de NO<sub>x</sub> e MP (Nylund et al. 2004).

**Tabela 3:** Tecnologias de pós-tratamento de gases de exaustão (Adaptado de Cooper et al., 2012 e D'Agosto et al., 2012)

Sistema	Sigla	Descrição
Sistema de Recirculação dos Gases de Exaustão	EGR	Dispositivo que promove a recirculação de parte dos gases do escapamento, os quais são resfriados e reinjetados novamente na câmara de combustão reduzindo assim o nível de emissão de NO <sub>x</sub> .
Catalisador de Oxidação	DOC	Dispositivo que visa a oxidação do CO e do HC presentes nos gases de escapamento.
Filtro de Particulado de Ação Regenerativa	DPF	Dispositivo que visa à redução dos níveis de MP nos gases de exaustão do motor. Este sistema apresenta um pré-catalisador que promove a oxidação do CO, do HC e ainda do NO em NO <sub>2</sub> .
Catalisador de Três Vias	3WC	Dispositivo que visa diminuir as emissões de CO, HC e NO <sub>x</sub> .
Sistema Catalítico Seletivo	SCR	Dispositivo que visa à redução da emissão de NO <sub>x</sub> . Para tanto, este dispositivo utiliza uma mistura aquosa de ureia internacionalmente conhecida como <i>AdBlue</i> e denominada no Brasil de ARLA 32, sigla de Agente Redutor Líquido Aquoso com 32% de ureia.

### 3.2. Biodiesel

O biodiesel é derivado de óleo vegetal ou gordura animal (TCRP 2011). Ele tem alto conteúdo energético e eficiência semelhante ao diesel. É normalmente combinado com diesel de petróleo. As tecnologias de sistemas de pós-tratamento de gases que são usados para motores a diesel também podem ser usadas em misturas de biodiesel. O biodiesel é naturalmente mais baixo em enxofre do que o diesel, o que também reduz emissões de PM (Translink, 2006). A diferença entre emissões de diesel e biodiesel depende da porcentagem da mistura ou da porção de diesel versus biodiesel. Para misturas B20 (ou seja, 20% biodiesel e 80% diesel), o biodiesel pode reduzir emissões de HC, CO e PM, enquanto que pode ocorrer um leve aumento nas emissões de NO<sub>x</sub> (McCormick et al., 2006).

### 3.3. Híbrido Diesel-Elétrico

Os veículos híbridos utilizam mais de um sistema de geração de energia para sua movimentação, sendo os híbridos-elétricos os mais comuns (Wayne et al., 2003). Os padrões de emissões de gases associados ao veículo híbrido são os mesmos dos motores de combustão interna, mas pode haver redução das emissões de alguns poluentes devido ao consumo menor de combustível. Isto é resultado do motor elétrico que auxilia a aceleração e as operações em baixa velocidade (IEA, 2013).

### 3.4. Etanol

O etanol é tipicamente derivado do milho e da de cana de açúcar. Em comparação ao diesel, o ônibus movido a etanol, associado a tecnologias de pós-tratamento de gases, pode apresentar redução nas emissões de HC, MP e CO (TCRP, 2011). Estima-se que se todos ônibus a diesel da cidade de São Paulo passassem a usar o etanol, haveria a

redução de 4.588 casos de internações hospitalares e 745 casos de mortes por ano, o que equivaleria a uma redução de gastos de US\$ 145 milhões por ano (Saldiva *et al.*, 2010).

### 3.5. Gás Natural Veicular

O gás natural é uma fonte de energia fóssil com alto conteúdo de metano (CH<sub>4</sub>) que é comprimido para aumentar a densidade energética (TCRP, 2011). As emissões do GNV são principalmente na forma de CH<sub>4</sub> e NO<sub>x</sub>. Comparado ao diesel, as emissões de MP e NO<sub>x</sub> são mais baixas para GNV, apesar desta redução variar de acordo com o ônibus (Melendez *et al.*, 2005). As emissões de MP podem aumentar a níveis comparáveis ao diesel quando houver carga de passageiros muito alta (Nylund *et al.*, 2004, Jayaratne *et al.*, 2009). Os sistemas de pós-tratamento de gases que podem ser associados ao ônibus GNV são DOC e 3WC.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O método da meta-análise foi escolhido pois possibilita extrair informação de dados preexistentes através da união de resultados de diversos trabalhos e pela aplicação de uma ou mais técnicas estatísticas (Luiz, 2002). A meta-análise apresenta uma visão geral das emissões dos poluentes CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2</sub>e decorrentes das emissões de gases na exaustão dos ônibus movidos a diesel, biodiesel, etanol e GNV, associados a tecnologias de pós-tratamento de gases, e modelos de ônibus híbrido diesel-elétrico.

O método da meta-análise pode auxiliar na compreensão da ampla gama de emissões para o mesmo poluente, dado que há uma variação significativa entre as emissões de ônibus do mesmo tipo de combustível, tecnologia e modelo (Yanowitz *et al.*, 2000; Melendez *et al.*, 2005). Um conjunto de mais de 500 entradas de dados foram recolhidos de 28 estudos, a fim de proporcionar os valores mais representativos possíveis para cada combinação de combustível e tecnologia. A Tabela 4 lista as 29 combinações de combustíveis e tecnologias de pós-tratamento de gases consideradas na meta-análise.

A análise utilizou a amplitude interquartil para determinar o intervalo de variação das emissões e um intervalo de confiança de nível 95% para estabelecer os valores médios para as emissões dos poluentes de acordo com o combustível e tecnologia. O método interquartil foi utilizado para desenvolver uma provável faixa de valores para cada categoria e remover os valores atípicos.

As primeiras análises apresentam o histograma para cada poluente (CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2</sub>e) e as respectivas variações dos combustíveis e tecnologias de pós-tratamento de gases associadas. Adicionou-se uma faixa limite de emissões correspondente a fase 7 do PROCONVE (P7) no histograma para verificar as combinações que atendem às especificações.

Em seguida, os valores médios das emissões de NO<sub>x</sub> e MP foram comparadas. A comparação consiste em plotar as emissões em quadrantes classificados de alta emissão e baixa emissão, com a finalidade de identificar quais combinações de combustível e tecnologia apresentam o melhor desempenho em relação a NO<sub>x</sub> versus MP e atendem à especificação do P7

As combinações classificadas no quadrante de baixa emissão no gráfico de NO<sub>x</sub> versus MP foram plotadas novamente, mas dessa vez considerando a amplitude interquartil das

emissões. Esta análise tem como objetivo verificar a faixa de variação das emissões para uma dada combinação de combustível e tecnologia. Adicionou-se os limites do P7 para identificar as combinações que podem vir a atender às especificações.

**Tabela 4:** Combinação de combustíveis e tecnologias usados na meta-análise

Combustível	Combinação com tecnologia	Quantidade de dados
Diesel	D > 150 <sup>1</sup>	49
	D > 150 + DOC	16
	D15 <sup>2</sup>	39
	D15 + DPF	20
	D15 + DPF + EGR	24
	D15 + DPF + SCR	21
	D15 + EGR	17
	D15 + EGR + DOC	5
	D15 + DOC	11
	D15 + SCR	13
	D50 <sup>3</sup>	25
	D50 + DPF	9
	Biodiesel	B100 <sup>4</sup>
B100 + DPF + SCR		7
B100 + EGR		11
B100 + SCR		8
B20 + DPF + SCR <sup>5</sup>		5
B30-B50 <sup>6</sup>		12
B30-B50 + EGR		10
Híbrido diesel-elétrico	B30-B50 + SCR	10
	D15 + Híbrido	21
	D15 + Híbrido + DPF + EGR	14
	D15 + Híbrido + SCR	24
Etanol	D50 + Híbrido	7
	E	16
GNV	E + DOC	7
	GNV	45
	GNV + 3WC	47
	GNV + DOC	28

<sup>1</sup>Diesel com teor de enxofre maior que 150 ppm

<sup>2</sup>Diesel com teor de enxofre 15 ppm

<sup>3</sup>Diesel com teor de enxofre 50 ppm

<sup>4</sup>100% Biodiesel

<sup>5</sup>Mistura 20% Biodiesel e 80% Diesel

<sup>6</sup>Mistura 30%-50% Biodiesel e 70%-50% Diesel

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa seção apresenta os resultados da meta-análise. Primeiro, são apresentadas e discutidas as emissões individuais (CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2e</sub>) de acordo com a combinação de combustível e tecnologia. Em seguida as emissões de NO<sub>x</sub> versus MP são analisadas.

### 5.1. Análise das emissões

As Figuras de 1 a 5 mostram o histograma das médias das emissões de CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2e</sub>, com intervalo de confiança de 95%, das combinações de combustível e tecnologia. As Figuras de 1 a 4 mostram as emissões médias regulamentadas pelo PROCONVE - CO, HC, NO<sub>x</sub> e MP, respectivamente - e os combustíveis e combinações que atendem o limite imposto pelo P7. A figura 5 apresenta as emissões médias de CO<sub>2e</sub> por tipo de tecnologia.

Na Figura 1 todos os combustíveis associados ao DPF e ao DOC atendem às especificações do P7, esse resultado é previsível visto que ambas tecnologias de pós-tratamento de gases tem como finalidade reduzir as emissões de CO. Pode-se observar

ao comparar as médias dos mesmos combustíveis e a diferença que proporciona a associação do DPF e do DOC; por exemplo, as emissões mais baixas de CO são da combinação E+DOC e a mais alta é do etanol sem tecnologia associada. Enquanto DPF e DOC reduzem emissões de CO, o SCR tende a aumentar as emissões de CO.

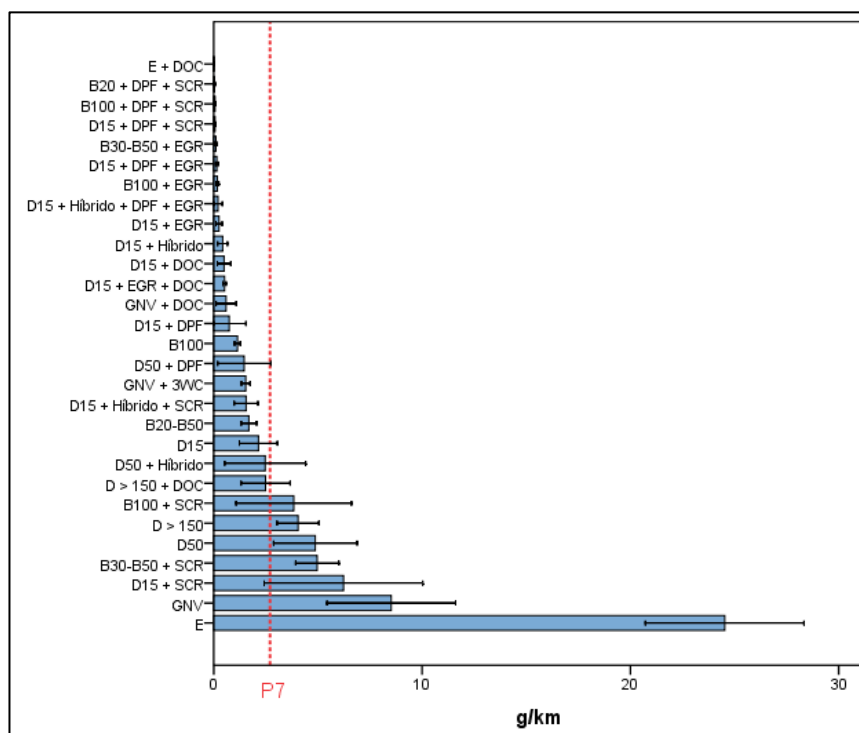


Figura 1: Emissões médias de CO (g/km)

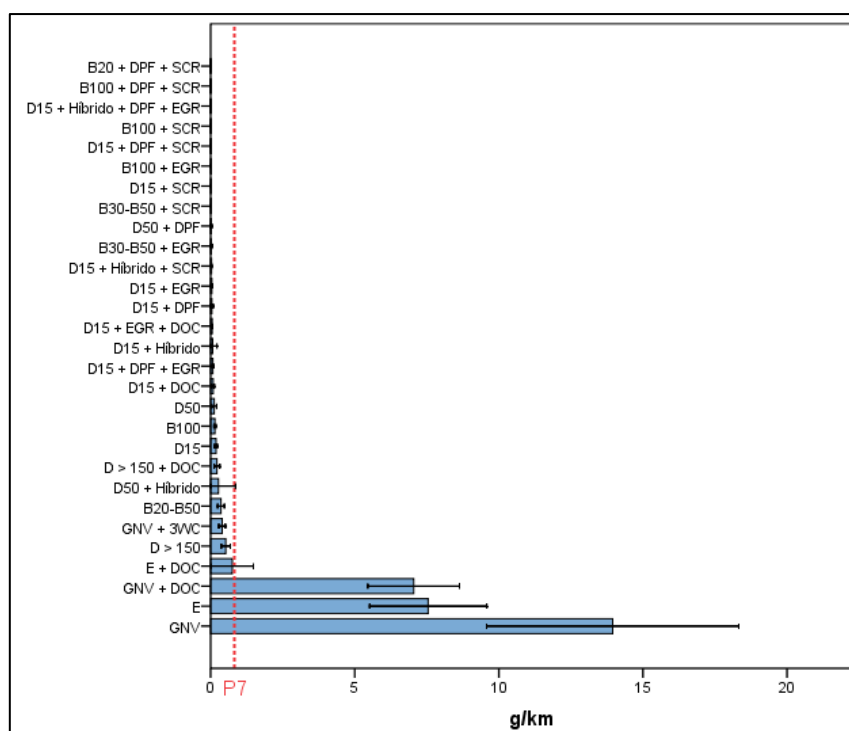
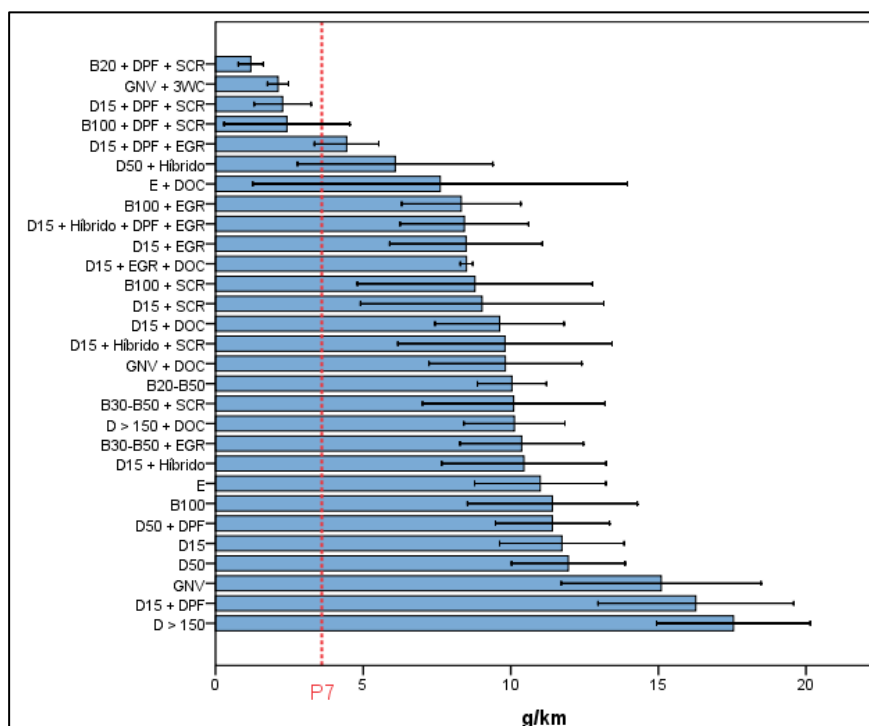


Figura 2: Emissões médias de HC (g/km)

Devido a sua composição, o diesel tem emissões muito baixas de HC, Figura 2. O DOC tem potencial para reduzir as emissões de GNV cerca de 50%, mas na meta-análise não

reduziu o suficiente para atender o padrão P7. O DOC associado ao etanol reduziu cerca de 90% das emissões. Já o 3WC reduziu as emissões do GNV quase em 100%, possibilitando que GNV tenha suas emissões de HC a níveis comparáveis às emissões de diesel e biodiesel.



**Figura 3:** Emissões médias de NO<sub>x</sub> (g/km)

As tecnologias de pós-tratamento de gases que têm finalidade de reduzir as emissões de NO<sub>x</sub>, SCR, EGR e 3WC, não mostraram-se totalmente eficientes, conforme resultados na Figura 3. Apenas 4 combinações atenderam o limite de NO<sub>x</sub> no P7: B20 + DPF + SCR, GNV + 3WC, D15 + DPF + SCR e o B100 + DPF + SCR. A combinação da tecnologia DPF mais SCR, e o 3WC apresentaram alto potencial de redução, enquanto as outras combinações não obtiveram o mesmo desempenho. Todos os combustíveis sem associação de tecnologia tiveram altas emissões de NO<sub>x</sub>.

Na Figura 4, as emissões de MP mostram o quanto as tecnologias de pós-tratamento de gases e o conteúdo de enxofre no diesel influenciam as emissões produzidas pelo diesel. A emissão de MP da combinação D15 + DPF + SCR é 53 vezes menor que a do D >150, o impacto da redução foi de 98%. Todos combustíveis associados ao DPF tiveram suas emissões reduzidas, e quase todas combinações atenderam o P7.

A média das emissões e o IQR mostram que existe uma ampla variação das emissões de CO<sub>2</sub>e na Figura 5. Estes dados também mostram que as tecnologias utilizadas para reduzir os poluentes locais podem aumentar as emissões de CO<sub>2</sub>e. A combinação do GNV + 3WC é a que apresenta maior redução, seguida do B100 + DPF + SCR e B20 + DPF + SCR. A quarta combinação que apresentou maior redução foi o D15 + DPF + SCR, isso demonstra que a qualidade do diesel associada às tecnologias de pós-tratamento dos gases podem ser bem eficientes.

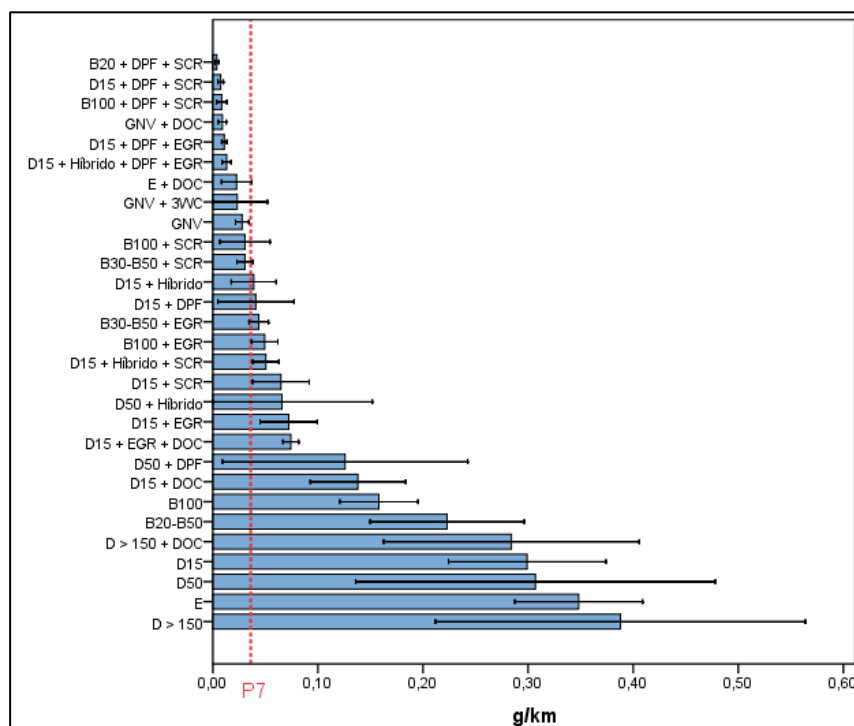


Figura 4: Emissões médias de MP (g/km)

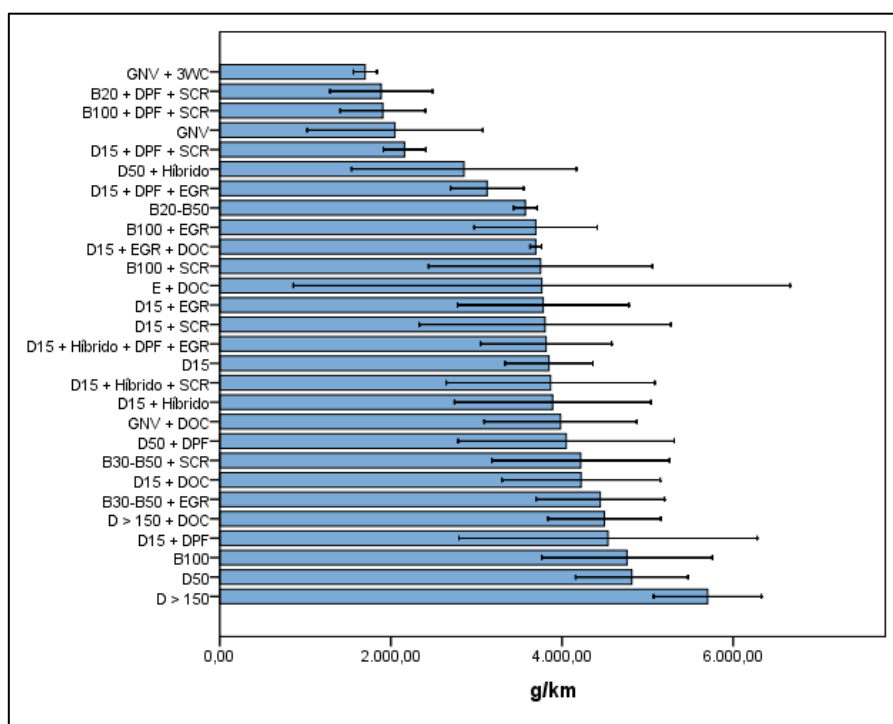


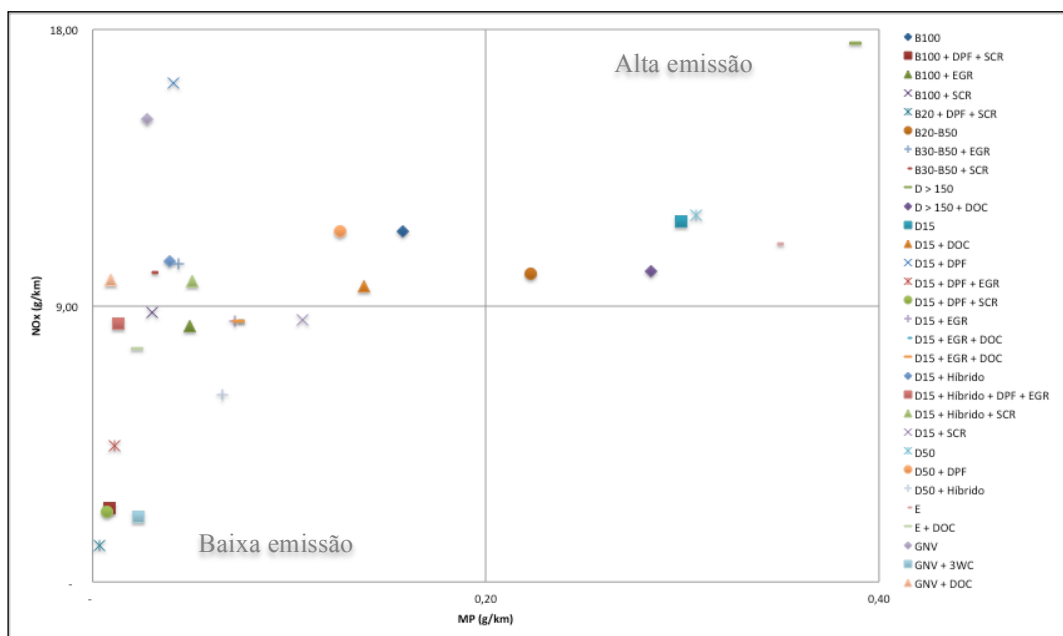
Figura 5: Emissões médias de CO<sub>2</sub>e (g/km)

Em geral, as tecnologias de pós-tratamento de gases são muito eficazes para reduzir CO, HC e MP, e são menos eficazes na redução das emissões de NO<sub>x</sub>. Observando as tecnologias DPF e EGR, os dados mostram que eles claramente reduzem CO, NO<sub>x</sub> e MP. Os veículos híbridos reduzem as emissões de CO e MP. O SCR reduz as emissões de NO<sub>x</sub> e MP. O GNV associados ao DOC reduz as emissões de CO, enquanto que associado ao 3WCs reduz as emissões de NO<sub>x</sub> e MP.

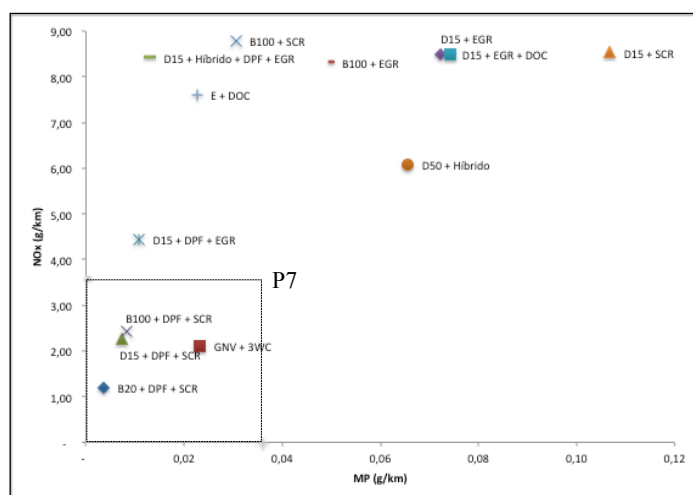


## 5.2. Comparação $\text{NO}_x$ versus MP

A Figura 6 apresenta todas as combinações analisadas na seção 5.1, e são classificadas em quadrantes. Sendo o quadrante 1 o de alta emissão de  $\text{NO}_x$  e MP, e o quadrante 3 o de baixa emissão. Na Figura 7, apresenta-se as combinações localizadas no quadrante 3, para incrementar a análise os limites do P7 para  $\text{NO}_x$  e MP foram adicionados. Apenas 4 combinações atenderam às especificações do P7: GNV + 3WC, B100 + DPF + SCR, B20 + DPF + SCR e D15 + DPF + SCR.

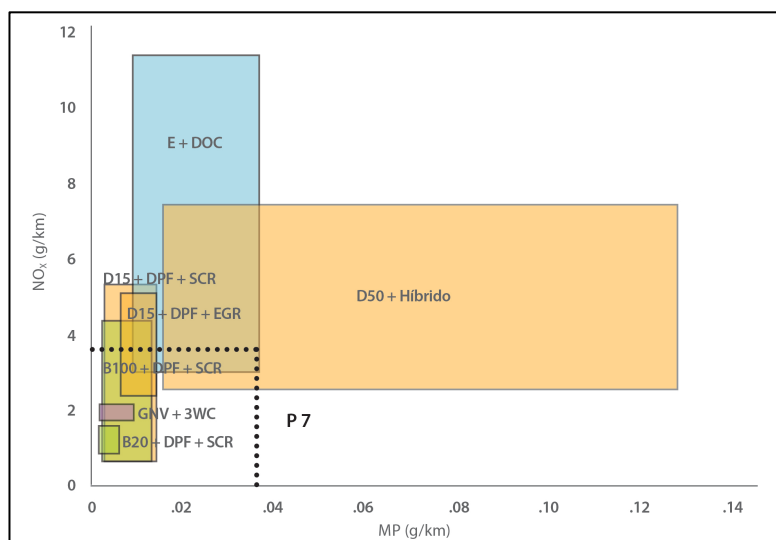


**Figura 6:** Classificação das combinações nos quadrantes de alta emissão e baixa emissão



**Figura 7:** Classificação das combinações no quadrantes de baixa emissão

Na Figura 8, as combinações localizadas no quadrante 3 foram plotadas considerando a amplitude interquartil das emissões. Dada a ampla variação das emissões de E + DOC, e D50 + Híbrido, essas duas combinações podem vir a atingir o limite do P7.



**Figura 8:** Amplitude interquartil das combinações no quadrante de baixa emissão

## 6. CONCLUSÕES

A meta-análise teve como objetivo analisar as combinações de combustíveis e tecnologias que proporcionam redução de gases poluentes produzidos pela exaustão dos ônibus urbanos. Mais de 500 dados foram utilizados para comparar as faixas de emissões para CO, THC, NO<sub>x</sub>, PM e CO<sub>2</sub>e e avaliar quais combinações serão relevantes para a frota de ônibus urbanos nos próximos anos no Brasil. Os resultados da análise mostram que algumas das opções de combustível e tecnologia que apresentam melhor desempenho no Brasil são: B100 associado ao DPF e SCR, GNV associado ao 3WC, B20 associado ao DPF e SCR, e D15 associado ao DPF e SCR.

A combinação D15 associado ao DPF e SCR resultou entre as melhores combinações. Esta combinação é uma opção viável no contexto brasileiro desde que a fase 7 entrou em vigor. Assim, antes de pensar na adoção de uma tecnologia alternativa, é mais importante que os esforços sejam concentrados na melhoria da qualidade do diesel e na sua distribuição em todo o território nacional, e na utilização das tecnologias atuais de pós-tratamento de gases.

As tecnologias de pós-tratamento de gases veem sendo desenvolvidas para reduzir as emissões dos poluentes locais, e de fato elas mostraram sua eficiência na meta-análise. No entanto cada tecnologia tem impacto distinto nas emissões de cada poluente. As análises mostram que não há uma única combinação que proporcionará redução de todos os poluentes analisados. Embora todos poluentes sejam importantes, o NO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2</sub>e destacam-se pelos efeitos nocivos mais agressivos no âmbito local e global.

Compreender quais combinações de combustível e tecnologia proporcionam melhor desempenho em termos das emissões é o primeiro passo avaliar custo-benefício entre as alternativas. Algumas cidades com severos problemas de qualidade do ar poderão querer focar na redução de MP, enquanto que outras cidades poderão priorizar a redução de emissões de CO<sub>2</sub>e. Uma vez que não há um único combustível ou tecnologia que contemple todos os poluentes em todos os contextos, é também importante considerar de ciclo de vida das emissões (*well-to-wheel*).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

An, F.; Earley, R. e L. Green-Weiskel (2011) Global overview on fuel efficiency and motor vehicle

- emission standards: policy options and perspectives for international cooperation. United Nations Department of Economic and Social Affairs.
- ANFAVEA (2012) Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Associação Nacional do Fabricantes de Veículos Automotores.
- BEN (2013) Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia.
- CNT (2011) A fase P7 do Proconve e o impacto no setor de transporte. Confederação Nacional de Transportes– Brasília. Disponível em < <http://www.cntdespoluir.org.br>> Acesso em 25.03.2014
- Cooper, E., Arioli, M.; Carrigan, A. e U. Jain (2012) Exhaust emissions of transit buses – Sustainable urban transportation fuels and vehicles. EMBARQ Working paper. Disponível em < [http://www.embarq.biz/sites/default/files/EMB12\\_WorkingPaper\\_Fuels\\_0.pdf](http://www.embarq.biz/sites/default/files/EMB12_WorkingPaper_Fuels_0.pdf)> Acesso em 25.03.2014
- D'Agosto, M. M.; Souza, C. D. R.; Silva, S. D.; Barboza, A. P. e M. R. L. Almeida (2012) Alternativas tecnológicas para ônibus no Rio de Janeiro. Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ
- Environmental Protection Agency (EPA) (2012) Air Pollutants. Disponível em <<http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>> Acesso em 25.03.2014
- International Energy Agency. (IEA) (2013) Hybrid Electric Vehicles. Disponível em < <http://www.ieahev.org/about-the-technologies/hybrid-electric-vehicles/>> Acesso em 25.03.2014
- IPCC (1995) Economic and Social Dimensions of Climate Change.
- Jayarathne, E.; Ristovski, Z.; Meyer, N. e L. Morawaska (2009) Particle and gaseous emissions from compressed natural gas and ultralow sulphur diesel-fuelled buses at four steady engine loads. *Science of the Total Environment*, v. 407, p. 2845-2852.
- Lindqvist, K. (2012) Emission standards for light and heavy road vehicles. Air Pollution & Climate Secretariat. Gotenburg, Suécia.
- Luiz, A. J. B. (2002) Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.19, n. 3, p.407-428
- McCormick, R. L.; Williams A.; Ireland, J.; Brimhall, M. e R. R. Hayes (2006) Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions. National Renewable Energy Laboratory.
- Melendez, M.; Taylor, J.; Zuboy, J.; Wayne W. S. e D. Smith (2005) Emission Testing of Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA) Natural Gas and Diesel Transit Buses. National Renewable Energy Laboratory.
- Nylund, N.; Erkkila, K.; Lappi, M. e M. Ikonen (2004) Transit Bus Emission Study: Comparison of Emissions from Diesel and Natural Gas Buses. VTT, Finlândia.
- Ribeiro, S.K. e M. V. Real (2006) Novos Combustíveis. Rio de Janeiro: E-papers
- Transit Cooperative Research Program (TCRP) (2011) TCRP Report 146: Guidebook for Evaluating Fuel Choices for Post-1020 Transit Bus Procurements. Washington, DC: Transportation Research Board.
- TransLink (2006) Bus Technology & Alternative Fuels Demonstration Project, Phase 1 –Test Program Report. TransLink. Vancouver, Canadá.
- (UNEP) (2007) Opening the Door to Cleaner Vehicles in Developing and Transition Countries: The Role of Lower Sulphur Fuels. Nairobi, Quênia.
- Wayne, W. S.; Clark, N. N.; Nine, R. D. e D. Elefante (2003) A Comparison of Emissions and Fuel Economy from Hybrid-Electric and Conventional-Drive Transit Buses. *Energy & Fuels*, vol. 18, p. 257-270.
- WHO (2014) Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet N°313. Disponível em <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em 02.04.2014
- Yanowitz, J.; R. McCormick e M. Graboski (2000) In-Use Emissions from Heavy-Duty Diesel Vehicles. *Environmental Science & Technology*, vol. 34, p. 729-740
- Saldiva, P. H. N.; Andrade, M. F.; Miraglia, S. G. K. e P. A. André (2010) O etanol e a saúde. Em: Etanol e Bioeletricidade: A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Editora, 2010, p. 98 - 135.

#### **REFERÊNCIAS DO BANCO DE DADOS DA META-ANÁLISE**

- Battelle, C.K. e L. Eudy (2008) Fuel Cell Transit Buses: Third Evaluation Report. Alameda-Contra Costa Transit District. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP-560-43545-1
- Bose, R. e S. Sundar (2005) Emissions Test Results from Diesel Buses, with and without Oxidation-Catalyst and Regenerating Particle-Trap, and CNG Buses with Three-Way Catalyst in India. 2005 SAE World Congress.
- Clark, N.N.; Gautam, M.; Rapp B. L.; Lyons, D. W.; Graboski, M. S.; McCormick, R. L.; Alleman, T. L. e P. Norton (1999) Diesel and CNG Transit Bus Emissions Characterization By Two Chassis

- Dynamometer Laboratories: Results and Issues. SAE International Spring Fuels & Lubricants.
- Coroller, P. e G. Plassat (2003) Comparative Study On Exhaust Emissions From Diesel and CNG-Powered Urban Buses. French Agency of Environment and Energy Management (ADEME) Air & Transport Division.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2009) EPA Lifecycle Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Renewable Fuels.
- Folkesson, A.; Anderssonb, C.; Alvforsa, P.; Alakulab, M. e L. Overgaardc (2003) Real life testing of a Hybrid PEM Fuel Cell Bus. *Journal of Power Resources*, vol. 118, p. 349–357.
- Frey, H. C.; Roupail N. M.; Zhai, H.; Farias T. L. e G. A. Gonçalves (2007) Comparing real-world fuel consumption for diesel- and hydrogen-fueled transit buses and implication for emissions. *Transportation Research Board Part D*, vol. 12, p. 281–291.
- Jalihal, S. A. e T. S. Reddy (2006) Assessment of the Impact of Improvement Measures on Air Quality: Case Study of Delhi. *Journal of Transportation on Engineering*, vol. 132, p. 482-488.
- Jayarathne, E.; Ristovski, Z.; Meyer, N. e L. Morawaska (2009) Particle and gaseous emissions from compressed natural gas and ultralow sulphur diesel-fuelled buses at four steady engine loads. *Science of the Total Environment*, vol. 407, p. 2845-2852.
- Khillare, P. S.; Agarwal, T. e V. Shridhar (2008) Impact of CNG implementation on PAHs concentration in the ambient air of Delhi: A comparative assessment of pre- and post-CNG scenario. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 147, p. 223–233.
- Lowell, D. M.; Parsley, W.; Bush C. e D. Zupo (2003) Comparison of Clean Diesel Buses to CNG Buses. MTA New York City Transit, Department of Buses, Research & Development.
- McCormick, R. L.; Williams, A.; Ireland, J.; Brimhall, M. e R. R. Hayes (2006) Effects of Biodiesel Blends on Milestone Report. National Renewable Energy Laboratory. Milestone Report NREL/MP-540-40554
- McKenzie, E. C. e P. Durango-Cohen (2010) Environmental Impact and Cost Effectiveness of Hydrogen Fuel Cell Buses: Going Beyond the CTTransit Demonstration Project. *Transportation Research Board. Annual Meeting*.
- Moreira, J. R.; Coelho, S. T.; Velázquez, S. M. S. G.; Apolinário, S. M.; Melo, E. H. e P. H. B. Elmadjian (2009) BEST project – contribution of ethanol usage in public urban Transport. Disponível em < <http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/simea2008.pdf>.> Acesso em 25.04.2014
- Motta, R.; Norton, P.; Kelly, K.; Battelle, C. K.; Schumacher, L. e N. Clark (1996) Alternative Fuel Transit Buses. Final Results from the National Renewable Energy Laboratory (NREL) Vehicle Evaluation Program.
- Murtonen, T. e P. Aakko-Saksa (2009) Alternative fuels with heavy-duty engines and vehicles. VTT Working paper 128. VTT Finlândia.
- Nylund N. e K. Erkkilä (2005) Bus Emission Evaluation: 2002 - 2004 Summary Report. VTT Finlândia.
- Pelkmans, L.; Keukeleere, D.; Bruneel, H. e G. Lenaers (2001) Influence of Vehicle Test Cycle Characteristics on Fuel Consumption and Emissions of City Buses. SAEInternational Spring Fuels & Lubricants.
- Proc, K.; R. Barnitt; R. Hayes; M. Ratcliff e R. McCormick (2006) 100,000-Mile Evaluation of Transit Buses Operated on Biodiesel Blends (B20). SAE International.
- Programme de démonstration en transport urbain Transports Canada (2009) Rapport technique Technologie hybride
- Secretaría del Medio Ambiente (2006) Pruebas en Campo de Autobuses de Tecnologías Alternativas en la Ciudad de México, Reporte Final. Equipo de Transporte y Cambio Climático Región Latinoamérica y Caribe Publicaciones de Desarrollo Sustentable, Secretaría del Medio Ambiente, México 2006
- San Francisco Municipal Transportation Agency (2002) Alternative Fuel Pilot Program: Initial 6 month Evaluation Results. Disponível em <<http://www.sfmta.com/cms/rclean/altipilot.htm>.> Acesso em 20.03.2014
- TransLink (2006) Bus Technology & Alternative Fuels Demonstration Project, Phase 1 –Test Program Report. TransLink. Vancouver, Canada.
- Turrio-Baldassarria, L.; Battistelli, C. L.; Contia, L.; Crebellia, R.; De Berardisa, B.; Iamicelia, N. L.; Gambinob, M. e S. Iannaccone (2004) Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and ‘biodiesel’ blend. *Science of the Total Environment*, vol. 327, p. 147–162.
- Wayne, W. S.; Clark, N. N.; Nine, R. D. e D. Elefante (2004) A Comparison of Emissions and Fuel Economy from Hybrid-Electric and Conventional-Drive Transit Buses. *Energy & Fuels*, vol. 18, p. 257-270.

## MECANISMOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO TRANSPORTE URBANO

**Magdala Satt Arioli**

**Luis Antonio Lindau**

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

### RESUMO

Uma das principais externalidades das atividades de transportes é a geração de gases de efeito estufa (GEE), dessa forma atuar em mecanismos de mitigação para redução desses gases é imprescindível. Este trabalho apresenta os mecanismos de mitigação de GEE que atuam no setor de transportes: MDL, NAMAs e fundos climáticos. Buscou-se explorar a contribuição e o potencial de mitigação que estes mecanismos podem proporcionar para o setor. A maior barreira enfrentada pelo setor para desenvolvimento de mecanismos é a dificuldade de quantificar e monitorar as emissões. O MDL nunca exerceu um papel muito ativo na mitigação das emissões de transportes. A promessa de sucesso entre os mecanismos são as NAMAs, que deverão ser complementares aos fundos climáticos.

### ABSTRACT

One of the main externalities of transport activities is the generation of greenhouse gases (GHG), this way it is important to develop mitigation mechanisms to reduce de GHG. This paper presents the GHG mitigation mechanism that operates in the transport sector: CDM, NAMAs and climate funds. All the mechanisms were evaluated due to the contribution and mitigation potential that the mechanisms could provide to transport sector. The biggest challenge faced by the sector to develop a GHG mechanism is the difficulty to quantify and monitor the emissions. The CDM has never played an active role in transport sector. NAMAs are growing as a potential of mechanism for mitigation in transport are, which should be complementary to climate funds.

### 1. INTRODUÇÃO

O setor de transportes é uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa. Em 2011, o setor foi responsável por 22% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) devidos ao consumo energético, sendo que 73% dessas emissões são do transporte rodoviário (IEA, 2013). Estima-se que até o ano de 2050 o consumo de energia no setor possa aumentar em 70% caso não sejam adotadas novas políticas de apoio ao transporte de baixo carbono (Dulac, 2013).

Para muitos países e instituições financeiras a mudança climática é uma realidade preocupante. Os esforços por parte dos governos e instituições centraliza-se no uso de mecanismos de mitigação e de financiamento, através de fundos climáticos, para reduzir as emissões de GEE, especialmente em países em desenvolvimento (Ríos *et al.*, 2013). Dentro da conformidade da Convenção-Quadro da Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC, do inglês de *United Nations Framework Convention on Climate Change*), o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e as Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMAs) são os mecanismos de mitigação mais importantes para o setor transporte que proporcionam reduções quantificáveis e verificáveis no setor de transportes (Allen *et al.* 2013).

O impacto desses mecanismos de mitigação está sendo limitado, no setor de transportes, por algumas razões como: concorrência entre os setores para acesso aos fundos climáticos disponíveis, aliados aos níveis de incerteza na redução das emissões no setor de transportes em comparação a outros setores; e a complexidade dos métodos

necessários para estimar, monitorar e verificar as reduções de emissões no setor de transportes (Huizenga e Bakker, 2010).

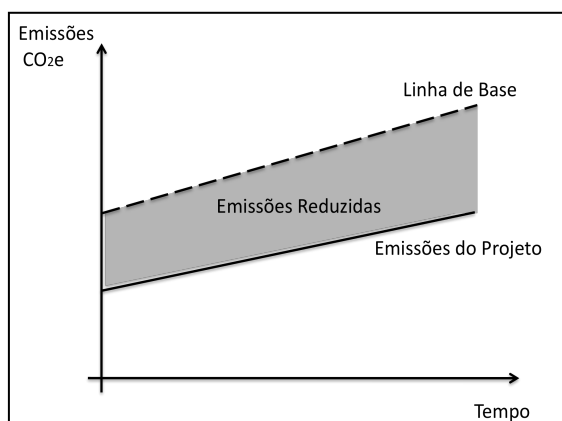
Nesse trabalho busca-se explorar e quantificar a contribuição do MDL, das NAMAs e dos fundos climáticos como mecanismos de mitigação de GEE no setor de transportes. Apresenta-se também as perspectivas futuras para estes mecanismos. O esforço se justifica pelo reconhecimento da importância em contar com mecanismos de mitigação eficientes para reduzir as emissões provenientes das atividades de transportes.

Inicia-se apresentando o MDL, os projetos de MDL desenvolvidos no setor de transportes as perspectivas para este mecanismo no período pós-2012. Em seguida, as NAMAs para transportes são apresentadas e seu potencial de desenvolvimento. Os Fundos Climáticos que proporcionaram recursos para projetos em transportes são apresentados, e alguns fundos que estão em desenvolvimento.

## 2. MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi estipulado pelo Protocolo de Quioto como uma das ferramentas de mitigação de GEE. O MDL visa à redução certificada de emissões de GEE através de projetos realizados pelos países desenvolvidos (Anexo I) nos países em desenvolvimento, beneficiando, assim, o desenvolvimento sustentável nestes países. Os projetos elegíveis para o MDL resultam em Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), medidas em tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente ( $tCO_2e$ ) (Protocolo de Quioto, 1997; Lopes, 2002).

Há requerimentos mínimos para tornar um projeto elegível de realização, dentre eles destacam-se: adicionalidade, linha de base e abrangência do projeto. A adicionalidade é o critério fundamental para a elegibilidade do MDL. Um projeto de MDL é dito adicional se emissões de GEE são reduzidas abaixo do que ocorreriam na ausência do projeto. O requerimento linha de base é o cenário hipotético que representa as emissões de GEE que ocorreriam sem a implantação do projeto. A abrangência do projeto compreende o monitoramento de todas as emissões de GEE do projeto que sejam significativas e atribuíveis, de forma razoável, às atividades do projeto (Lopes, 2002). A Figura 1 representa graficamente como devem se comportar as emissões da linha de base e do projeto para o projeto ser dito adicional.



**Figura 1:** Gráfico esquemático da linha de base e emissões do projeto (adaptado de Bode e Michaelowa, 2001)

## 2.1. MDL no setor de transportes

Atualmente a CQNUMC tem mais de 7400 projetos aprovados de MDL, dos quais somente 29 são de transportes, equivalente a 0,4% do total (UNFCCC, 2014a). Existem desafios que tornam complexa a viabilidade dos projetos de MDL no setor de transportes. Os projetos de transportes barram no pré-requisito da adicionalidade, na estimativa das emissões da linha de base, além do desafio de monitorar com exatidão as emissões resultantes das atividades, principalmente nos países em desenvolvimento (Barías *et al.*, 2005; Sterk, 2008; Shishlov e Belassen, 2012; Millard-Ball, 2013). Os elevados custos iniciais também são uma barreira fundamental para o desenvolvimento de um MDL, estima-se que os custos de transação impostos pelos processos administrativos da CQNUMC sejam entre €50.000 e €200.000 por projeto (Guigon *et al.*, 2009).

Os projetos registrados no setor de transportes, apresentados na Tabela 1, estão classificados de acordo com o tipo, quantidade de cada projeto, e o potencial de redução anual de tCO<sub>2</sub>e. Os projetos de implantação de sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*) representam quase 50% dos projetos de MDL, e os projetos de implantação de metrô e VLT representam pouco menos de 20%. BRT, metrô e VLT representam 94% do potencial de redução anual de CO<sub>2</sub>e de todos os projetos no setor de transportes registrados. O restante dos projetos são variados e englobam em geral a implantação de novas tecnologias veiculares e o uso de combustíveis não fósseis.

**Tabela 1:** Projetos de MDL registrados no setor de transportes (UNFCCC, 2014)

Tipo do projeto	Quantidade de projetos	Potencial de redução anual de tCO <sub>2</sub> e
BRT ( <i>Bus Rapid Transit</i> )	13	2.387.292
Metrô e VLT	6	1.331.817
Motocicletas elétricas	4	123.903
Transporte de carga	2	23.240
Alteração de combustível fóssil para não fóssil	2	17.188
<i>Cable cars</i> - teleférico	1	17.290
Sistema regenerativo freios - ferrovias	1	41.160

Todos os projetos submetidos ao MDL utilizam uma metodologia aprovada pela CQNUMC. Existem mais 14 metodologias registradas e aprovadas; entretanto, apenas 4 dessas metodologias foram aplicadas para registrar projetos. A maioria dos projetos BRT estão registrados pela metodologia AM0031 – Metodologia de linha de base para projetos BRT. Alguns projetos de BRT e todos projetos de metrô foram registrados aplicando a metodologia ACM0016 – Metodologia de linha de base para projetos de transporte de massa.

Os projetos registrados de BRT são apresentados na Tabela 2. Os corredores de BRT somam 1056 km e apresentam potencial médio de redução anual de 2,4 milhões de tCO<sub>2</sub>e. O potencial médio de redução é uma estimativa calculada na concepção do projeto, e não reflete a realidade das emissões da atividade do projeto. Os quatro primeiros projetos (Colômbia, dois da China e México) já passaram por uma etapa de certificação das emissões resultantes do projeto, todos os projetos apresentaram um ganho de redução das emissões inferior ao que foi estimado na concepção do projeto. O Transmilenio, em Bogotá, reduziu 30% do previsto, enquanto que no México, o sistema

EDOMEX reduziu apenas 20%. Na China, o BRT de Chongqing reduziu 60%, e o BRT de Zhengzhou 71% (CDM Pipeline, 2014).

**Tabela 2:** Projetos de BRT de MDL registrados (UNFCCC, 2014)

Data registro	Metodologia	Projeto	País aplicação	Redução média anual tCO <sub>2</sub> e	Extensão total (km)
Dez/06	AM0031	TransMilenio Bogotá - Fase II-IV	Colômbia	578.918	169
Out/10	AM0031 v.3	BRT Chongqing - Linhas 1-4	China	218.067	81
Mai/11	ACM0016	BRT EDOMEX - Linhas 1-5	México	145.863	101
Jun/11	AM0031 v.3	BRT Zhengzhou	China	204.715	106
Ago/11	ACM0016 v.2	BRT Metrobus Insurgentes	México	46.544	19,6
Dez/11	AM0031 v.3	BRT Transmetro Barranquilla	Colômbia	55.828	28
Fev/12	AM0031 v.3	BRT Macrobus Guadalajara	México	54.365	185
Mar/12	AM0031 v.3	MIO Cali	Colômbia	242.187	44
Mar/12	AM0031 v.3	BRT Metroplus Medellín	Colômbia	123.479	18
Jul/12	AM0031 v.3	BRT na Cidade da Guatemala	Guatemala	536.148	46,9
Jul/12	AM0031 v.3	Lanzhou BRT	China	12.621	12,3
Ago/12	AM0031 v.3	MEGABUS Pereira	Colômbia	33.956	30
Set/12	ACM0016 v.3	BRT Metrobus 2-13	México	134.601	215

Os projetos de metrô e VLT registrados no MDL são listados na Tabela 3. A extensão total dos projetos de trilhos somam 173 km e apresentam potencial de redução anual de 1,3 milhões de tCO<sub>2</sub>e. O metrô de Delhi, em sua primeira etapa de certificação, reduziu apenas 18% do potencial previsto na concepção do projeto.

**Tabela 3:** Projetos de metrô e VLT de MDL registrados (UNFCCC, 2014)

Data registro	Metodologia	Projeto	País	Redução média anual tCO <sub>2</sub> e	Extensão total (km)
Jun/11	ACM0016	Metrô Delhi	Índia	529.043	102
Out/11	ACM0016 v.2	Metrô Mumbai	Índia	195.547	11,4
Set/12	ACM0016 v.2	Metrô Linha 12	México	136.983	24,5
Nov/12	ACM0016 v.2	Metrô Gurgaon	Índia	105.863	4,9
Dez/12	ACM0016 v.2	VLT Tunísia	Tunísia	29.193	19,5
Fev/13	ACM0016 v.3	Metrô Guiyang Linha I	China	330.650	30

Vários problemas incluindo a excessiva burocracia para registro dos projetos e os atrasos no processo, levaram a CQNUMC a iniciar uma série de reformas significativas no sentido de simplificar o MDL em 2010. Um dos principais resultados foi a padronização de ferramentas para cálculo das emissões da linha de base dos projetos e da adicionalidade (Mizuno *et al.*, 2010; Platanova-Oquab *et al.*, 2012; Shishlov e Belassen, 2012). Inicialmente, essas reformas impactaram positivamente no registro de MDL de transportes, pois a partir de 2011, 9 projetos de BRT e 6 projetos de metrô foram registrados. Entretanto, a ferramenta padronizada para determinação da adicionalidade tornou-se muito complexa, dificultando a comprovação deste requisito através da metodologia (AEA, 2011).

## 2.2. O futuro do MDL Pós-Quito

Em mais de 10 anos de existência o MDL já atraiu muito capital privado, movimentou US\$27 bilhões em transações, certificou mais de 1,4 bilhões de RCEs (Reduções Certificadas de Emissões), e é considerado o maior instrumento de negociação de créditos de carbono do mundo (Platanova-Oquab *et al.*, 2012). O MDL continuará, a princípio, até 2020; entretanto, seu futuro é incerto. Seu sucesso é desafiado por várias fraquezas, incluindo a governança complexa, questionamento sobre sua eficiência



econômica e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável (Buzzatti, 2011; Shislov e Bellassen, 2012).

O MDL foi concebido principalmente para estimular o desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento, e estimular estes países a assumir compromissos significativos de redução de GEE no período pós-Quioto. No entanto, a negociação de créditos de carbono proporcionadas pelo MDL tornou-se foco de disputa entre os países desenvolvidos, deixando a desejar o caráter da sustentabilidade nos projetos elaborados (Hourcade e Shukla, 2013).

O mecanismo necessita de reformas significativas para retomar sua atratividade, do contrário os desenvolvedores de projetos terão pouco incentivo para continuar investindo em novos projetos de MDL (Platanova-Oquab et al., 2012). Os preços dos créditos de carbono caíram para mínimos históricos. A Figura 2 apresenta os valores históricos das RCEs, que em 5 anos sofreram uma queda de €25,00 para aproximadamente €0,35.



**Figura 2:** Histórico do preço das RCEs (Point Carbon, 2013)

A crise no mercado de carbono vem provocando uma queda significativa nos registros de novos projetos, além do alto índice de cancelamento e abandono dos projetos por diversas causas (Vivideconomics, 2013). Estima-se que apenas 30% das reduções inicialmente previstas pelos projetos são certificadas, uma vez que 29% das emissões não foram certificadas devido a falhas no projeto, 27% não foram emitidas em tempo devido a atrasos na certificação das emissões, e 12% não foram emitidas em tempo devido a atrasos no processo de aprovação (Cormier e Bellassen, 2013).

### **3. AÇÕES DE MITIGAÇÃO NACIONALMENTE APROPRIADAS (NAMAs)**

NAMAs são ações de mitigação de GEE nos países em desenvolvimento que deverão ser mensuráveis, reportáveis e verificáveis – denominado MRV. NAMAs são concebidas pelo país onde serão implantadas e são adaptadas à realidade, aos recursos e prioridades daquele país, porém em um contexto de desenvolvimento sustentável, proporcionando benefícios para população, e visando a redução voluntária de GEE (Eichhorst *et al.*, 2012). A Figura 3 ilustra o conceito de NAMAs e alguns co-benefícios proporcionados pelas ações no setor de transportes.

As NAMAs são classificadas em três tipos: Unilateral, Apoiada e de Crédito. NAMA

Unilateral são implantadas de forma voluntária pelos países em desenvolvimento para atingir reduções de emissões sem a expectativa de apoio externo ou financiamento. NAMA Apoiada recebe apoio internacional possibilitado por tecnologia, financiamento e capacitação técnica de uma forma mensurável, reportável e verificável, que resultam em reduções de emissões mais agressivas. NAMA de Crédito, são ações nas quais as reduções de emissões podem gerar créditos negociáveis em mecanismos financeiros baseados no mercado de carbono global (Buzzatti, 2011; Okubo *et al.*, 2011; UNEP, 2012).

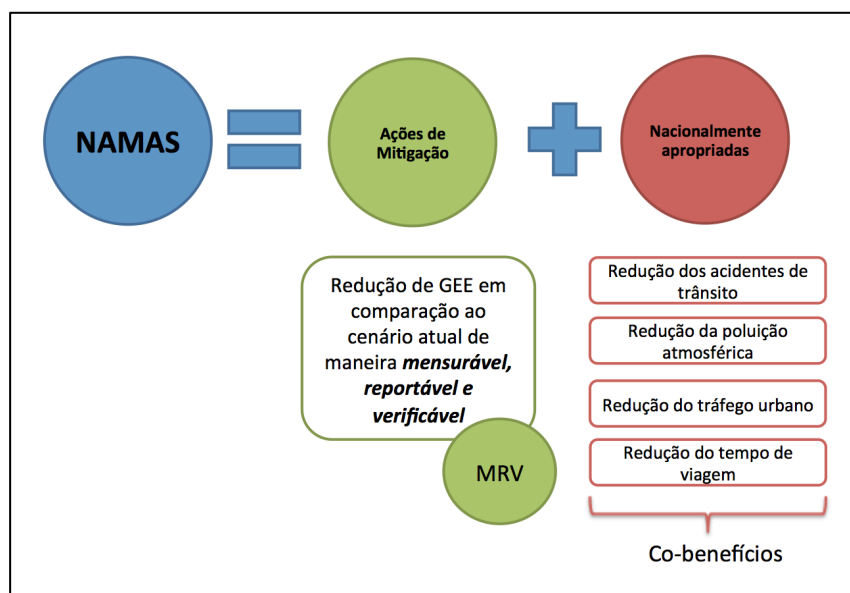


Figura 3: Esquema de conceituação de NAMAs (Adaptado de Sakamoto, 2012)

Além dos tipos de NAMAs, as ações são classificadas em: (i) Política/Programa, programas ou medidas lideradas pelo governo, e promovem ou impõem uma certa mudança no comportamento do investimento através da introdução de um conjunto de leis e regulamentos, programas de promoção e, possivelmente, uma estrutura de execução; (ii) Estratégia/Plano, planos de longo prazo de medidas e ações voltadas para atingir um objetivo comum; e (iii) Projeto, atividade localizada que tem um cronograma definido e escopo, e se concentra em um único investimento (De Vit *et al.*, 2013; Lütken *et al.*, 2013; Binsted *et al.*, 2014).

Para cada NAMA se faz necessário um acompanhamento de sistema MRV: mensurável porque envolve o acompanhamento das ações e dos impactos das NAMA; reportável no sentido de divulgar as informações selecionadas para as partes interessadas nacionais e comunidade internacional, incluindo os financiadores da NAMA; verificável visando garantir que a informação reportada é correta e completa (De Vit *et al.*, 2013). O processo de MRV é usado para avaliar e, efetivamente, justificar o uso de financiamento contemplado (Eichhorst *et al.*, 2012).

O MRV proporciona uma visibilidade internacional de como os países em desenvolvimento estão implementando as NAMAs. A mensuração das emissões e a divulgação para a CQNUMC é realizada a nível nacional, sendo essencial que haja uma verificação de uma parte independente para validação (Garibaldi *et al.*, 2013). Dependendo do tipo da NAMA, o MRV vai assumir diferentes formas. Para NAMA de Crédito o MRV será mais rigoroso a fim de assegurar a integridade do mercado de carbono, ainda que o mercado ainda não esteja preparado para este tipo de NAMA

(Okubo *et al.*, 2011; Lefevre e Leipzig, 2014).

### 3.1. NAMAs no setor de transportes

O potencial para NAMAs no setor dos transportes é significativo pela disponibilidade prevista para os próximos anos do considerável crescimento de apoio financeiro (Allen *et al.*, 2013). Três grandes categorias de NAMAs com apoio externo (NAMAs Apoiadas) têm potencial para desenvolvimento: (i) atividades de planejamento e pesquisa que apoiam ações de mitigação, tais como pesquisas de origem e destino, planos de mobilidade urbana sustentável, estudos econômicos; (ii) regulação e desenvolvimento de políticas, tais como padrão de combustível, políticas de estacionamento, pedágio urbano e retirada de subsídios; e (iii) infraestrutura física e técnica, tais como sistemas BRT, ciclovias, refinarias de biodiesel (CCAP 2011).

Para reduzir as emissões do setor a abordagem Evitar-Mudar-Melhorar (do inglês *Avoid-Shift-Improve*) oferece um quadro prático para desenvolver estratégias eficazes de mitigação em transportes (Dalkmann e Brannigan, 2007). A abordagem Evitar-Mudar-Melhorar é apresentada na Figura 4. Os benefícios de realizar tais ações podem incluir segurança energética, o aumento da qualidade de vida, desenvolvimento econômico mais forte e redução dos danos ambientais locais (Allen *et al.*, 2013).

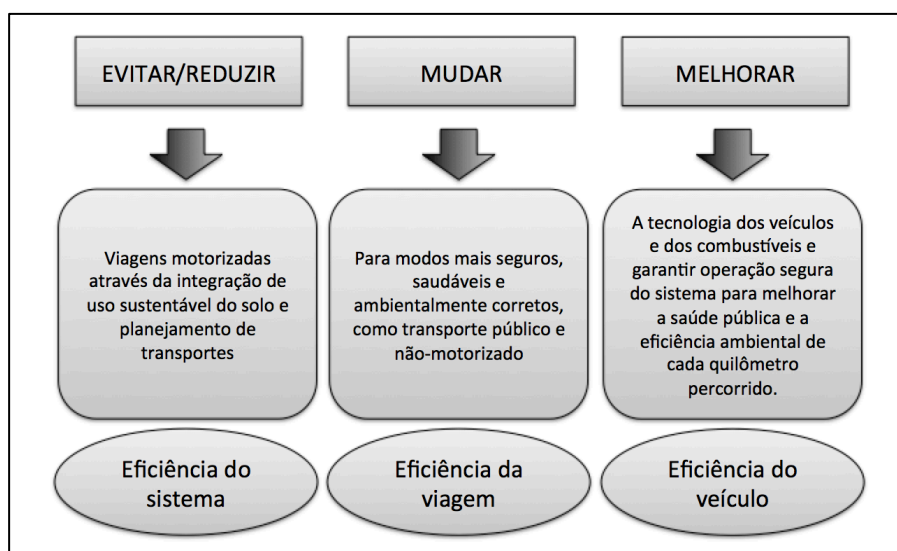


Figura 4: Quadro Evitar-Mudar-Melhorar (Adaptado de GIZ, 2012)

Atualmente existem 120 propostas de NAMAs, das quais 26 são para o setor de transportes (Ecofys, 2014). Dentre as 26 propostas, 10 são estudos de viabilidade, 5 estão no estágio conceitual, 7 estão no estágio de planejamento, e apenas uma proposta está em fase de implementação. Foram registrados na plataforma de NAMAs da CQNUMC três dessas propostas. A intenção do registro nessa plataforma é facilitar o diálogo com os países desenvolvidos, buscando apoio para as NAMAs (Sharma e Desgain, 2013).

As 26 propostas de NAMAs, apresentadas na Tabela 4, estão classificadas de acordo com o tipo de ação proposto: Estratégia/Plano, Política/Programa, e Projeto. As ações marcadas com asterisco são os estudos de viabilidade, as demais ações estão em processo de conceituação, planejamento ou implementação. As NAMAs foram classificadas de acordo com a abordagem Evitar-Mudar-Melhorar, a fim de avaliar quais estratégias estão sendo empregadas para o desenvolvimento de um transporte de baixo

carbono.

O sistema MRV para o setor de transportes tem de ser flexível e exige diversos tipos de indicadores. A disponibilidade dos dados de transporte e da qualidade dos mesmos disponíveis pelos países em desenvolvimentos irá determinar a complexidade da abordagem do MRV que poderá ser aplicado. O MRV deve facilitar as NAMAs ao invés de ser uma barreira (Huizenga e Bakker, 2010).

**Tabela 4:** Propostas de NAMAs de transportes (Transport Nama Database, 2014)

Ação	Projeto	País	Classificação Evitar-Mudar-Melhorar
Estratégia/ Plano	Plano de Mobilidade de Belo Horizonte*	Brasil	Evitar-Mudar-Melhorar
	Melhorias na engenharia de tráfego*	Chile	Melhorar
	Programa de eficiência energética no setor de transportes*	Chile	Melhorar
	Zona verde em Santiago	Chile	Mudar-Melhor
	Plano para inserir veículos elétricos	Chile	Melhorar
	Plano para inserir veículos elétricos	Colômbia	Melhorar
	Plano Nacional para transporte de carga	Colômbia	Evitar-Mudar-Melhorar
	Desenvolvimento Orientado para o Transporte	Colômbia	Evitar
	Programa de mitigação de GEE na área urbana*	Jordânia	-
	Plano de Mobilidade Urbana*	Laos	Mudar-Melhor
Política/ Programa	Reestruturação do transporte público*	Líbano	Mudar-Melhor
	Implantação de soluções sustentáveis	Peru	Melhorar
	Renovação da frota de carga	Colômbia	Melhorar
	Gerenciamento da demanda por transporte*	Indonésia	Evitar-Mudar-Melhorar
	Introdução do transporte urbano sustentável	Indonésia	Evitar-Mudar-Melhorar
	Otimização do sistema do transporte urbano*	México	Mudar-Melhor
	Estímulo para renovação da frota urbana	México	Melhorar
Projeto	Sistema integrado de mobilidade urbana	México	Evitar-Mudar-Melhorar
	Programa de eficiência energética para frota de carga	México	Melhorar
	Alteração modal para trilhos*	África do Sul	Mudar
Múltiplo	Implantação de trem de carga	Etiópia	Mudar-Melhor
	Reabilitação de rodovias arteriais	Sérvia	Melhorar
Não especificada	Estratégias de baixo carbono	Rep. Dominicana	-
	Plano para inserir veículos elétricos	África do Sul	Melhorar
	Modernização da infraestrutura dos trens*	Argentina	Mudar-Melhor
	Transporte coletivo: otimização das rotas e renovação da frota	México	Evitar-Mudar-Melhorar

\*Estudos de viabilidade

### 3.2. Perspectivas para as NAMAs

As NAMAs oferecem uma estratégia mais sustentável e de longo prazo para a redução dos GEE quando comparada com o MDL. Seu conceito ainda está sendo refinado e o maior desafio é conceber um mecanismo que seja atraente para os países em desenvolvimento e para entidades financiadoras - fundos climáticos, bancos multilaterais e bilaterais (Davis e Surrat, 2013). As NAMAs devem abordar claramente

a viabilidade econômica da ação, introduzir tecnologias apropriadas e garantir a capacidade técnica e institucional para a implantação da NAMA e do MRV (UNEP, 2012).

O encontro da conferência das partes de 2013 mostrou um contínuo progresso das NAMAs, incluindo as NAMAs relacionadas com o setor de transportes (Allen *et al.*, 2014). Recentemente, a Alemanha e o Reino Unido criaram um fundo denominado “NAMA Facility”. O fundo tem como objetivo o financiamento exclusivo para desenvolvimento de NAMAs em diversos setores, incluindo o setor de transportes. O fundo pretende fornecer subsídios e empréstimos entre 5 milhões e 15 milhões de euros. Em 2013, houve uma primeira seleção de NAMAs e dos quatro estudos que foram selecionados, duas iniciativas são do setor de transportes (Jue *et al.*, 2013; NAMA Facility, 2013).

As duas iniciativas no setor de transportes são da Colômbia e da Indonésia. Na Colômbia, a ação de Desenvolvimento Orientado para o Transporte (do inglês, *Transit Oriented Development*, TOD), listada na Tabela 4, receberá US\$ 20 milhões em recursos técnicos e financeiros. Na Indonésia, a NAMA vai promover um transporte urbano sustentável nas cidades, começando com a implantação de planos de mobilidade de baixo carbono em três cidades e atividades de apoio a nível nacional. O governo da Indonésia comprometeu-se em contribuir com pelo menos dois euros para cada euro recebido do NAMA Facility (Binsted *et al.*, 2014; Lefevre e Leipzig, 2014).

#### **4. FUNDOS CLIMÁTICOS PARA O SETOR DE TRANSPORTES**

Finanças do clima é um conceito relativamente novo, a maioria dos fundos climáticos internacionais foram criados na última década e estão em constante evolução. Recentemente, o setor de transportes vem surgindo como um setor importante para atrair financiamentos provenientes desses fundos. A tabela 5 apresenta os fundos climáticos internacionais com maior probabilidade de apoiar as atividades no setor de transportes que visam à redução de GEE. Os fundos estão classificados de acordo com os recursos alocados para o transporte até 2012. Esses recursos geralmente não são grandes o suficiente para fornecer os fundos necessários para os projetos, mas proporcionam fontes de financiamento que podem ser instrumental para alavancar dinheiro adicional (Binsted *et al.*, 2013; Lefevre e Leipzig, 2014).

Ao longo dos últimos anos, o Japão tem pronunciado um forte compromisso para ajudar os países em desenvolvimento no tratamento das questões relacionadas com as alterações climáticas, o país tem sido um dos cinco maiores contribuintes, em termos absolutos nas últimas décadas (Kuramochi *et al.*, 2012). Isso justifica o fato do fundo climático *Japan Fast Start Fund Initiative* ter sido o fundo que mais disponibilizou recurso para o setor de transportes em 2012.

Além dos fundos citados na Tabela 5, o *Green Climate Finance*, adotado em 2011 pela CQNUMC, visa tornar-se o principal mecanismo de financiamento multilateral para apoiar a ação climática (Binsted *et al.*, 2013). O *Green Climate Finance* foi designado como uma entidade operacional de mecanismo financeiro da CQNUMC, e deve atingir plena operação em 2014. O fundo deverá comprometer-se anualmente com US\$100 bilhões até 2020 e deverá atuar conforme o contexto de cada país em desenvolvimento (GCF, 2014).

Outra grande iniciativa, acordada em 2012 durante a Rio+20, foi a união de oito bancos de desenvolvimento multilateral<sup>2</sup>, liderados pelo Banco Asiático de Desenvolvimento, que oferecerão financiamento de mais de US\$175 bilhões até 2020 para apoiar o transporte de baixo carbono nos países em desenvolvimento. A grande vantagem desta iniciativa é que ela é totalmente dedicada para transportes. Em um ano de atividade a iniciativa já aprovou mais de US\$20 bilhões em projetos entre os oito bancos (MDB, 2013).

**Tabela 5:** Situação dos fundos climáticos e relação do investimento no setor de transportes até 2012 (Adaptado de Lefevre e Leipzig, 2014)

Nome	Ano criação	Recurso total disponibilizado (milhões de US\$)	Recurso alocado para transportes (milhões de US\$)	Proporção recurso para transportes
<i>Japan Fast Start Fund Initiative</i>	2009	\$ 10.800,0	\$ 1.270,0	12%
<i>Clean Technology Fund</i>	2008	\$ 2.300,0	\$ 372,6	16%
<i>Global Environment Facility</i>	2010	\$ 452,0	\$ 45,3	10%
<i>International Climate Initiative</i>	2008	\$ 639,7	\$ 23,0	4%
<i>Nordic Development Fund</i>	2009	\$ 180,2	\$ 16,9	9%
<i>Global Climate Change Alliance</i>	2007	\$ 382,0	\$ 10,0	3%
<i>IDB Sustainable Energy and Climate Change Initiative</i>	2007	\$ 58,7	\$ 5,2	9%
<i>ADB Climate Change Fund</i>	2008	\$ 50,1	\$ 5,0	10%
<i>Partnership for Market Readiness</i>	2012	\$ 5,3	\$ 3,0	57%

Em muitos aspectos as condições necessárias para financiar o transporte de baixo carbono são semelhantes a qualquer proposta de investimento. As atividades devem ser rentáveis, deve haver capacidade adequada no país para receber e aplicar os recursos de forma transparente e econômica, e os investimentos devem ser concebidos, utilizados e administrados conforme as exigências da fonte de financiamento. O financiamento climático tem o ônus adicional de demonstrar a redução das emissões (Lefevre e Leipzig, 2014)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo apresentar os mecanismos de mitigação de GEE que atuam no setor de transportes: MDL, NAMAs e fundos climáticos. Buscou-se explorar a contribuição e o potencial de mitigação que estes mecanismos podem proporcionar para o setor. Estes mecanismos exercem um papel fundamental no auxílio do combate à

<sup>2</sup> African Development Bank (AfDB), Asian Development Bank (ADB), CAF, European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), European Investment Bank (EIB), Inter-American Development Bank (IADB), Islamic Development Bank (ISDB) e World Bank (WB).

mudança climática, visto que transportes é um dos principais setores que contribuem para o efeito estufa.

Um das principais barreiras para o desenvolvimento de mecanismos de mitigação no setor é a dificuldade de quantificar e monitorar as emissões de GEE provenientes das atividades de transportes. Tanto para o MDL, como para as NAMAs, e para a obtenção de recursos dos fundos climáticos, é imprescindível que as emissões sejam estimadas e controladas a fim de medir o ganho proporcionado pelo mecanismo implantado.

O MDL mostrou-se incapaz de representar um papel ativo na redução de GEE no setor de transportes. Dadas as proporções do MDL para os outros setores, a quantidade de projetos em transportes é ínfima. Isso deve-se ao fato do excesso de burocracia imposta pela CQNUMC e pela dificuldade da aplicação das metodologias de cálculo de emissões. Isso aliado às incertezas das estimativas de emissões provenientes do setor.

As NAMAs surgem como uma promessa de um mecanismo eficiente para transportes, dado que sua área de atuação vai além da implantação de um único projeto. As NAMAs tem potencial de atuar como políticas nacionais que irão influenciar todo um país. Claro que isto irá exigir uma padronização da coleta de dados a fim de estabelecer uma base de dados coerente e atualizada, para então possibilitar a quantificação e monitoramento das emissões de GEE e dos co-benefícios proporcionados pelas ações.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEA (2011) Study on the Integrity of the Clean Development Mechanism. Commissioned by the European Commission and carried out by a consortium of AEA, the Stockholm Environmental Institute, the Centre for European Policy Studies (CEPS) and CO2logic under the lead of AEA. Disponível em <<http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/linking/studiesen.htm>> Acesso em 20.03.2014
- Allen H.; Huizenga C.; Millard K. e M. S. Rahman (2014) Sustainable transport on course while Warsaw wobbles. Bridging the Gap. Disponível em <<http://www.transport2020.org/publicationitem/3059/new-cop-19-analysis-warsaw-climate-change-conference-in-slow-gear>> Acesso em 20.03.2014
- Bariás, J. L.; Browne, J.; Sanhueza, E.; Silsbe, E.; Winkelman, S. e C. Zegras (2005) Getting on Track: Finding a Path for Transportation in the CDM. Final Report. Disponível em <<http://www.iisd.org/publications/pub.aspx?pno=690>> Acesso em 20.03.2014
- BEN (2013) Balanço Energético Nacional. Relatório Final. Ministério de Minas e Energia. Brasil.
- Binsted A.; Lefevre, B.; Cauchois, C. e A. Eckermann (2014) Transport NAMAs: An Overview. EMBARQ GIZ. Disponível em <<http://www.transport2020.org/publications/transport-namas>> Acesso em 20.03.2014
- Binsted, A.; Bongardt, D.; Dalkmann, H. e Sakamoto, K. (2013) Accessing Climate Finance for Transport: A practical overview. Sustainable Urban Transport Technical Document #5. GIZ. Disponível em <<http://climatefinanceoptions.org/cfo/node/3391>> Acesso em 20.03.2014
- Bode, S. e A. Michaelow (2001) Avoiding perverse effects of baseline and investment additionality determination in the case of renewable energy projects. Hamburg Institute of International Economics, Discussion Paper, n. 148. Disponível em: <<http://www.econstor.eu/bitstream/10419/19403/1/148.pdf>> Acesso em 20.03.2014
- Buzzatti, M. G. (2011) Elementos para uma Ação de Mitigação Nacionalmente Adequada (NAMA) a partir da produção de biodiesel de Óleo de Dendê pela Agricultura Familiar no Brasil Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.
- Carvalho, C. H. R. (2011) Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. IPEA – 1606 texto para discussão – Brasília
- CCAP (2011) NAMAs and the Clean Development Mechanism (CDM): An Overview. Disponível em <[http://ccap.org/assets/NATIONALLY-APPROPRIATE-MITIGATION-ACTIONS/NAMAs-AND-THE-CLEAN-DEVELOPMENT-MECHANISM/CDM-AnOverview\\_CCAP-May-2011.pdf](http://ccap.org/assets/NATIONALLY-APPROPRIATE-MITIGATION-ACTIONS/NAMAs-AND-THE-CLEAN-DEVELOPMENT-MECHANISM/CDM-AnOverview_CCAP-May-2011.pdf)> Acesso em 20.03.14
- Cormier, A. e V. Bellassen (2013) The risks of CDM projects: How did only 30% of expected credits

- come through? *Energy Policy*. vol. 54, p.173–183.
- Dalkmann, H. e Brannigan, C. (2007) ‘Transport and Climate Change’, Sourcebook Module 5e, Sustainable Urban Transport Project (SUTP), GIZ, Eschborn, Germany.
- Davis, S. e L. Surrat (2013) An emerging architecture for nama finance. CCAP.
- De Vit, C.; Röser, F. e H. Fekete (2013) Measuring, Reporting and Verifying Nationally Appropriate Mitigation Actions: Reflecting experiences under the Mitigation Momentum Project. Discussion paper. ECN e Ecofys
- Dulac, J. (2013) Global Land Transport Infrastructure Requirements.” International Energy Agency (IEA). Disponível em <[http://www.iaea.org/publications/freepublications/publication/TransportInfrastructureInsights\\_FIN\\_AL\\_WEB.pdf](http://www.iaea.org/publications/freepublications/publication/TransportInfrastructureInsights_FIN_AL_WEB.pdf)> Acesso em 20.03.2014
- Ecofys (2014) NAMA Database. Disponível em <<http://www.nama-database.org>>
- Eichhorst, U.; Sterk, K.; Wehnert, T.; Bleckmann, J.; Henkel, A.; Lauko, P. E S. Wiengers (2012) “Navigating Transport NAMAs.” TRANSfer Project Online Handbook. GIZ, BMU, and Wuppertal Institut. Disponível em <<http://www.transferproject.org/index.php/hb>> Acesso em 20.03.2014
- Garibaldi J. A. ; Winkler H.; Rovere E. R.; Cadena, A.; Palma, R.; Sanhueza, J.; Tyler, E. e M. T. Gunfaus (2013) Comparative analysis of five case studies: commonalities and differences in approaches to mitigation actions in five developing countries, *Climate and Development*.
- GIZ (2011) Factsheet: Sustainable Urban Transport: Avoid-Shift-Improve (A-S-I) Disponível em <[www.transport2020.org/file/sutporg-asi-factsheet.pdf](http://www.transport2020.org/file/sutporg-asi-factsheet.pdf)> Acesso em 20.03.2014.
- Green Climate Fund (GCF) (2014)
- Guigon, P.; Bellassen, V. e P. Ambrosi (2009) Voluntary Carbon Markets: What the Standards Say... Mission Climat Working Paper. N°2009-4
- Hourcade, J. e P. Shukla (2013) Triggering the low-carbon transition in the aftermath of the global financial crisis. *Climate Policy*, vol. 13, p.22-35.
- Huizenga, C. e S. Bakker (2010a) Climate Instruments for the Transport Sector: Considerations for the Post-2012 Climate Regime. Asian Development Bank and Inter-American Development Bank
- Huizenga, C. e S. Bakker (2010b) NAMAs in the Transport Sector Case Studies from Brazil, Indonesia, Mexico and the People’s Republic of China. Disponível em <<http://publications.iadb.org/handle/11319/3388?locale-attribute=pt>> Acesso em 20.03.2014
- IEA (2013) A Tale of Renewed Cities: A policy guide on how to transform cities by improving energy efficiency in urban transport systems. Disponível em <<http://www.iaea.org/publications/freepublications/publication/name,39940,en.html>> Acesso em 20.03.2014.
- Jue, E.; Antifora, F. e L. Y. Surratt (2013) Identifying Potential Sources for NAMA Finance. Center for Clean Air Policy (CCAP). Disponível em <[http://ccap.org/assets/Identifying-Potential-Sources-for-NAMA-Finance\\_CCAP\\_May-2013.pdf](http://ccap.org/assets/Identifying-Potential-Sources-for-NAMA-Finance_CCAP_May-2013.pdf)> Acesso em 20.03.2014.
- Kuramochi, T. ;Shimizu, N.; Nakhooda, S. e T. Fransen (2012) The Japanese Fast-Start Finance Contribution. World Resource Institute.
- Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, (1997).
- Lefevre, B. e D. Leipziger (2014) Transport Readiness for Climate Finance: A framework to access climate finance in the transport sector. EMBARQ – The World Resources Institute (WRI) program for sustainable transport and urban development
- Lopes, I. V. (2002). O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas.
- Lütken S.; Dransfeld, B. e S. Wehner (2013) Guidance For Nama Design Building on Country Experiences. UNDP, UNFCCC e UNEP Risø.
- MDB (2013) Progress Report (2012–2013) of the MDB Working Group on Sustainable Transport. Disponível em <<http://www.adb.org/documents/progress-report-2012-2013-mdb-working-group-sustainable-transport>> Acesso em 20.03.2014.
- Meckling, J. O. e G. Y. Chung (2009) Sectoral approaches for a post-2012 climate regime: a taxonomy. *Climate Policy*, vol.9:6, p.652-668
- Millard-Ball, A. (2013) The trouble with voluntary emissions trading: Uncertainty and adverse selection in sectoral crediting programs *Journal of Environmental Economics and Management* 6540–55
- Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2010) 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Brasília.
- NAMA Facility (2013) International NAMA Facility General Information Document. Disponível em <[http://nama-facility.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/NAMA\\_Facility\\_Information\\_Document\\_14May2013\\_fina](http://nama-facility.org/fileadmin/user_upload/pdf/NAMA_Facility_Information_Document_14May2013_fina)>



- l.pdf> Acesso em 20.03.2014.
- Okubo, Y.; Hayashi, D. e A. Michaelowa (2011) NAMA crediting: how to assess offsets from and additionality of policy-based mitigation actions in developing countries. *Greenhouse Gas Measurement and Management*, vol.1:1, p.37-46.
- Platonova-Oquab A.; Spors, F.; Gadde, H.; Godin, J.; Oppermann, K. e M. Bosi (2012) CDM reform: Improving the efficiency and outreach of the Clean Development Mechanism through standardization. World Bank.
- Point Carbon (2013). CO2 Carbon Market Trader 2013. Disponível em <<http://www.pointcarbon.com/trading/promopages/cmt/>>
- Ríos, R. A.; Arango, F.; Vicentini, V. L. e R. Acevedo-Daunas (2013) Mitigation Strategies and Accounting Methods for Greenhouse Gas Emissions from Transportation. Inter-American Development Bank
- Sharma S. e D. Desgain (2013) Understanding the Concept of Nationally Appropriate Mitigation Action. UNEP Risø Centre, Denmark
- Shishlov, I. e V. Bellassen (2012) 10 lessons from 10 years of the CDM. Climate Report Research on economics of the climate change. N37.
- Sterk, W. (2008) From Clean Development Mechanism to Sectoral Crediting Approaches – Way Forward or Wrong Turn? JIKO Policy Paper 01/2008. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. Wuppertal.
- Transport NAMA database (2014). Disponível em <[www.transport-namadatabase.org](http://www.transport-namadatabase.org)> Acesso em 20.03.2014.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2012) Nama finance study: Examples from the UNEP Bilateral Finance Institutions Climate Change Working Group. Disponível em <[www.jica.go.jp/about/.../NAMA\\_Finance\\_study.pdf](http://www.jica.go.jp/about/.../NAMA_Finance_study.pdf)> Acesso em 20.03.2014.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2014) CDM: Project Activities, Registered. Database, Disponível em <<http://cdm.unfccc.int/Projects/registered.html>> Acesso em 20.03.2014.
- Vivideconomics (2013) The market impact of a CDM capacity fund. Disponível em <[http://www.vivideconomics.com/uploads/reports/the-market-impact-of-a-cdm-capacity-fund/CDM\\_Capacity\\_Fund.pdf](http://www.vivideconomics.com/uploads/reports/the-market-impact-of-a-cdm-capacity-fund/CDM_Capacity_Fund.pdf)> Acesso em 20.03.2014.
- Yuji Mizuno, Y.; Koakutsu, K.; Iyadomi, K.; Okubo, N.; Urayama, C. e K.Takahashi (2010) Towards CDM reform. Report of the IGES CDM Capacity Building Kyoto General Meeting. Disponível em <[http://pub.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/2798/attach/towards\\_cdm\\_reform.pdf](http://pub.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/2798/attach/towards_cdm_reform.pdf)> Acesso em 20.03.2014.

# POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO DE UMA NAMA PARA RENOVAÇÃO DA FROTA DE ÔNIBUS URBANO

**Magdala Satt Arioli**

**Luis Antonio Lindau**

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

## RESUMO

Este estudo tem como objetivo estimar e avaliar o impacto das emissões dos poluentes locais e globais a partir da renovação da frota de ônibus urbanos de uma cidade brasileira. Após as quantificações das emissões, analisou-se o potencial de desenvolvimento de uma NAMA para renovação de frota. Os resultados mostram que a renovação da frota tem potencial de desenvolvimento de uma NAMA, visto que reduz emissões de GEE e proporciona co-benefícios; contudo, deve-se estabelecer um sistema MRV que seja hábil para quantificar as emissões na mitigação.

## ABSTRACT

This study aims to estimate and evaluate the impact of local and global emissions originated from the renewal of the fleet of urban buses in a Brazilian city. After the quantification of emissions, the potential of developing a NAMA for fleet renewal was analyzed. The results show that the renewal of the fleet has the potential of developing a NAMA, since it reduces greenhouse gas emissions and provide co-benefits, however, however it must be established a serious MRV system that will be able to quantify the mitigation of emissions.

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte é fundamental para a atividade econômica e social de pessoas em todo o mundo. Embora o aumento da mobilidade traga muitos benefícios, o ritmo vertiginoso deste aumento cria novos desafios, tornando necessária atenção política para atenuar as externalidades causadas pelo crescimento da mobilidade urbana (IEA, 2013). Os efeitos da urbanização e da mudança climática estão convergindo de forma perigosa, ameaçando impactos negativos sem precedentes. As áreas urbanas, com a sua alta concentração de população, indústrias e infraestrutura são suscetíveis de enfrentar os impactos mais graves da mudança climática (UN-HABITAT, 2011).

Estima-se que o consumo de energia no transporte urbano passe a ser o dobro em 2050, apesar das novas tecnologias veiculares e das melhorias da economia de combustível (IEA, 2013). Sendo assim, a quantificação dos poluentes mais nocivos gerados pelo setor é fundamental para a formulação de políticas públicas tanto ambientais, quanto para a gestão de transporte e trânsito que busquem resultados mais efetivos no controle das emissões (Carvalho, 2011). Ainda que as estimativas de emissões no setor dos transportes sejam cercadas por grandes incertezas, esforços devem ser realizados para aumentar a disponibilidade de dados confiáveis para as atividades do setor (Huizenga e Bakker, 2010a).

O mecanismo de mitigação denominado NAMA, Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas, é o principal mecanismo dentro da conformidade da Convenção-Quadro da Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC, do inglês de *United Nations Framework Convention on Climate Change*) que pode proporcionar reduções quantificáveis e verificáveis no setor de transportes. Países em desenvolvimento, como o Brasil, devem trabalhar para estruturar suas políticas de NAMAs e mecanismos financeiros para criar um clima econômico favorável, dada as oportunidades de redução de poluentes no setor de transportes (Davis e Surrat, 2013).

Neste trabalho buscou-se estimar os poluentes locais e globais emitidos pela frota de ônibus urbano de uma cidade brasileira e verificar os ganhos de redução de emissão com a renovação da frota por tecnologias atuais e alternativas. Uma vez tendo quantificadas as emissões, analisou-se o potencial de desenvolvimento de uma NAMA para renovação de frota, abordando os impactos ambientais e os co-benefícios proporcionados.

## 2. O TRANSPORTE URBANO NO BRASIL E SUAS EXTERNALIDADES

O Brasil abriga hoje mais de 84% de seus habitantes em áreas urbanas, do que se deduz que a maior parte das emissões veiculares se concentra nessas áreas (IBGE, 2010). As emissões de gases dos veículos automotores resultam em uma série de efeitos que contribuem para problemas ambientais e de saúde. A poluição atmosférica é um importante problema ambiental que afeta as pessoas em todo o mundo. A poluição atmosférica foi responsável pela morte de 3,7 milhões de pessoas no mundo em 2012, mais de 200% acima dos números de uma década antes (800 mil) (WHO, 2014).

O transporte coletivo por ônibus representa 25% das viagens realizadas no Brasil. A frota brasileira de ônibus é constituída de 110 mil veículos, representando 1% da composição dos veículos em circulação no país e 34% das emissões de poluentes atmosféricos, locais e GEE (ANTP, 2012). Uma considerável parte dessas emissões resultam da grande quantidade de ônibus mais antigos e com tecnologia defasada. A Figura 1 apresenta a curva de sucateamento para veículos do ciclo diesel, a curva simula o processo pelo qual os veículos saem de circulação, ou seja, 50% do ônibus sucateados tem em média 18 anos de uso (MMA, 2010).

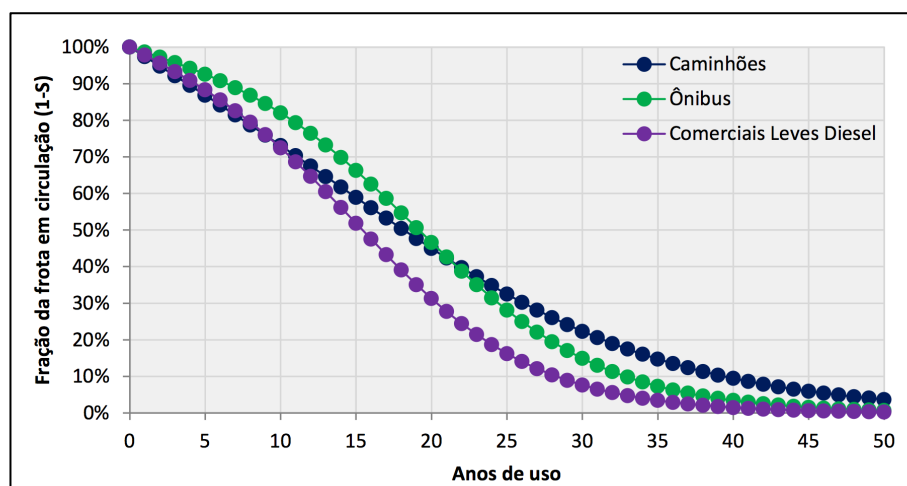


Figura 1: Curvas de sucateamento para veículos do ciclo Diesel (MMA, 2010)

Políticas de incentivo à modernização da frota com o uso de tecnologias mais limpas, melhoria do diesel comercializado e inspeções periódicas podem trazer bons resultados nesse segmento (Carvalho, 2011). Considerando os avanços tecnológicos e as exigências ambientais estabelecidas pela fase 7 do PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do ar por Veículos Automotores), em vigor desde 2012, seria necessário um esforço para uma renovação da frota em torno de 15 mil ônibus a cada ano. O desenvolvimento e implementação de um programa para a renovação da frota brasileira, com o sucateamento da frota antiga e previsão de uma estrutura adequada de incentivos e tributação, talvez seja uma das ações de mitigação nacionalmente apropriadas mais urgente (CETESB, 2013; Boson, 2011).

### 3. AÇÕES DE MITIGAÇÃO NACIONALMENTE APROPRIADAS (NAMAs)

NAMAs são ações de mitigação de GEE nos países em desenvolvimento que deverão ser mensuráveis, reportáveis e verificáveis – denominado MRV. NAMAs são concebidas pelo país onde serão implantadas e são adaptadas à realidade, aos recursos e prioridades daquele país, porém em um contexto de desenvolvimento sustentável, proporcionando benefícios para população, e visando a redução voluntária de GEE (Eichhorst *et al.*, 2012).

As NAMAs classificam-se em três tipos: (i) NAMA Unilateral, que são implantadas de forma voluntária pelos países em desenvolvimento para atingir reduções de emissões sem a expectativa de apoio externo ou financiamento.; (ii) NAMA Apoiada, que recebe apoio internacional possibilitado por tecnologia, financiamento e capacitação técnica de uma forma mensurável, reportável e verificável, que resultam em reduções de emissões mais agressivas; e (iii) NAMA de Crédito, que são ações nas quais as reduções de emissões podem gerar créditos negociáveis em mecanismos financeiros baseados no mercado de carbono global (Buzatti, 2011; Okubo *et al.*, 2011; UNEP, 2012).

Cada NAMA deve ter um acompanhamento de sistema MRV: mensurável porque envolve o acompanhamento das ações e dos impactos das NAMA; reportável no sentido de divulgar as informações selecionadas para as partes interessadas nacionais e comunidade internacional, incluindo os financiadores da NAMA; verificável visando garantir que a informação reportada é correta e completa (De Vit *et al.*, 2013). O processo de MRV é usado para avaliar e, efetivamente, justificar o uso do financiamento contemplado (Eichhorst *et al.*, 2012).

O MRV proporciona uma visibilidade internacional de como os países em desenvolvimento estão implementando as NAMAs. A mensuração das emissões e a divulgação para a CQNUMC é realizada a nível nacional, sendo essencial que haja uma verificação de uma parte independente para validação (Garibaldi *et al.*, 2013). Dependendo do tipo da NAMA, o MRV vai assumir diferentes formas. Para NAMA de Crédito o MRV será mais rigoroso a fim de assegurar a integridade do mercado de carbono, ainda que o mercado ainda não esteja preparado para este tipo de NAMA (Okubo *et al.*, 2011; Lefevre e Leipzig, 2014).

O processo de elaboração de uma NAMA pode ser dividido em três fases: conceituação, desenvolvimento e implementação, Figura 2. Na fase de conceituação a ideia inicial da NAMA é apresentada, as emissões do cenário atual e do cenário proposto são estimadas, os co-benefícios são descritos, e o sistema MRV é definido. O desenvolvimento da NAMA compreende ajustar as definições estabelecidas na fase anterior no ambiente político, econômico, e social do local a ser implantada a ação. Dependendo da classificação da NAMA, regulamentos legais e aprovações governamentais predominam nessa fase. Por fim, ocorre a implementação (Lütken *et al.*, 2013).

A elaboração de uma NAMA deve considerar os seguintes aspectos: co-benefícios proporcionados pela ação; o potencial de mitigação de GEE; custos diretos e indiretos, e se possível expressar em tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e); existência de barreiras para implantação da NAMA, e a necessidade de envolver e promover leis; e por último, a viabilidade de monitorar, reportar e verificar todos os aspectos citados (Huizenga e Bakker, 2010b)



**Figura 2:** Esquema para desenvolvimento de uma NAMA (Adaptado de Lütken *et al.*, 2013)

#### 4. NAMAs NO SETOR DE TRANSPORTES

O potencial para NAMAs no setor dos transportes é significativo pela disponibilidade prevista para os próximos anos de apoio financeiro (Allen *et al.*, 2013). Três grandes categorias de NAMAs com apoio externo (NAMA Apoiada) têm potencial para desenvolvimento: (i) atividades de planejamento e pesquisa que apoiam ações de mitigação, tais como pesquisas de origem e destino, planos de mobilidade urbana sustentável, estudos econômicos; (ii) regulação e desenvolvimento de políticas, tais como padrão de combustível, políticas de estacionamento, pedágio urbano e retirada de subsídios; e (iii) infraestrutura física e técnica, tais como sistemas BRT, ciclovias, refinarias de biodiesel (CCAP, 2010).

O sistema MRV para o setor de transportes tem de ser flexível e exige diversos tipos de indicadores. A disponibilidade dos dados de transporte e da qualidade dos mesmos disponíveis pelos países em desenvolvimento irá determinar a complexidade da abordagem do MRV que poderá ser aplicado. O MRV deve facilitar as NAMAs ao invés de ser uma barreira (Huizenga e Bakker, 2010b).

#### 5. CONCEITUAÇÃO DE UMA NAMA PARA RENOVAÇÃO DA FROTA

O estudo de caso para a elaboração de uma NAMA de renovação de frota foi realizado para uma cidade brasileira que está reformulando todo seu sistema de transporte coletivo. A frota de ônibus está em processo de renovação desde 2013, e até final de 2014 terá 100% da sua frota renovada. A Tabela 1 especifica frota de ônibus com data de referência de dezembro de 2012.

O arranjo da frota em 2012 é composto por cinco fases do PROCONVE, agregando ônibus desde padrão Euro 0 a Euro IV. Como não foi possível obter a quilometragem anual rodada por cada ônibus, e dada a variação que pode ocorrer entre os ônibus, estimou-se a intensidade de uso anual para cada ônibus com base nos valores de referência adotados no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviário (INEAVAR) (MMA, 2010).

O método para estimar a intensidade de uso anual de cada ônibus foi desenvolvido em 5 etapas: (i) cálculo da média ponderada da idade da frota; (ii) cálculo da quilometragem média da frota, a partir da média aritmética; (iii) interpolação linear a partir da idade média da frota da cidade com dados de intensidade de uso do INEAVAR; (iv) cálculo da variação da intensidade de acordo com o ano de uso a partir da quilometragem média; (v) cálculo da quilometragem anual para cada ônibus da frota da cidade aplicando variação obtida na etapa anterior.

**Tabela 1:** Especificação da frota em 2012

Fase PROCONVE	Equivalente no padrão Euro	Anos de uso	Ano modelo ônibus	Número de ônibus
P5	Euro IV	1	2012	0
		2	2011	17
		3	2010	5
		4	2009	529
		5	2008	794
		6	2007	599
		7	2006	33
P4	Euro III	8	2005	106
		9	2004	81
		10	2003	3
		11	2002	1
		12	2001	15
		13	2000	197
P3	Euro II	14	1999	256
		15	1998	75
		16	1997	164
		17	1996	11
P2	Euro I	18	1995	0
		19	1994	1
P1	Euro 0	20	1993	21
		21	1992	9
<i>total</i>				2917
<i>Quilometragem anual de 2012 (km)</i>				314.418.428

Os resultados obtidos foram: (i) idade média da frota 7,7 anos; (ii) quilometragem média para cada ônibus da frota 107.788 quilômetros; (iii) interpolação para definição da intensidade de uso no INEAVAR para ônibus com 7,7 anos de uso, 76.136 km, conforme ilustrado na Equação 1.

$$\frac{7,7 - 7}{8 - 7} = \frac{Iu_{7,7} - 77.400}{75.600 - 77.400} \quad (1)$$

onde:  $Iu_{7,7}$  = intensidade de uso para ônibus com 7,7 anos de uso [km]

Na etapa *iv* determinou-se a variação de intensidade a partir da intensidade de uso para ônibus com 7,7 anos obtida na etapa *iii*, conforme a Equação 2.

$$var_{ano\ de\ uso} = \left( \frac{Iu_{ano\ de\ uso}}{Iu_{7,7}} \right) - 1 \quad (2)$$

em que:  $var_{ano\ de\ uso}$  = variação da intensidade de uso para anos de uso [%]  
 $Iu_{ano\ de\ uso}$  = intensidade de uso para anos de uso [km]

Por fim, na etapa *v*, considerando que a intensidade de uso do ônibus com 7,7 anos rodam 107.788 quilômetros por ano, aplicou-se a Equação 2 com os resultados da variação estimados na etapa *iv*. Assim, determinou-se a intensidade de uso para a frota da cidade, apresentados na Tabela 2. A quilometragem anual de 2012, a partir da intensidade de uso ajustada, totalizou 314.419.445 km, diferença de aproximadamente mil quilômetros.

**Tabela 2:** Intensidade de uso para a frota da cidade

Fase PROCONVE	Anos de uso	Intensidade de uso ( <i>Iu</i> ) INEAVAR	Varição com base na média ( <i>var<sub>ano de uso</sub></i> )	Intensidade ajustada para frota X
P5	1	88.200	15,85%	124.868
	2	86.400	13,48%	122.319
	3	84.600	11,12%	119.771
	4	82.800	8,75%	117.223
	5	81.000	6,39%	114.674
	6	79.200	4,02%	112.126
	7	77.400	1,66%	109.578
<i>idade média</i>	<b>7,7</b>	<b>76.136</b>	<b>0,00%</b>	<b>107.788</b>
P4	8	75.600	-0,70%	107.029
	9	73.800	-3,07%	104.481
	10	72.000	-5,43%	101.933
	11	70.200	-7,80%	99.385
	12	68.400	-10,16%	96.836
	13	66.600	-12,52%	94.288
P3	14	64.800	-14,89%	91.740
	15	63.000	-17,25%	89.191
	16	61.200	-19,62%	86.643
	17	59.400	-21,98%	84.095
P2	18	57.600	-24,35%	81.546
	19	55.800	-26,71%	78.998
P1	20	54.000	-29,07%	76.450
	21	52.200	-31,44%	73.901

O cenário para 2014 considera a renovação de todos os 2917 ônibus por novos modelos que atendem a fase P7 do PROCONVE, nas análises esses ônibus serão referenciados como D10 (ônibus diesel com conteúdo de enxofre 10 ppm). Como houve uma reestruturação e otimização das rotas, a frota será reduzida em 11,5%, e a quilometragem anual rodada reduzirá 50%. A Tabela 3 apresenta os dados da frota e quilometragem anual esperada para 2014, de acordo com as bacias estabelecidas na cidade.

**Tabela 3:** Cenário 2014

Fase PROCONVE	Equivalente no padrão Euro	Bacias	Número de ônibus	Quilometragem anual prevista (km)
P7	Euro V	1	417	28.892.401
		2	640	31.987.141
		3	483	28.699.819
		4	464	29.315.856
		5	576	37.017.583
		total	2580	155.912.800

Nas análises também avaliou-se o impacto decorrente da renovação da frota por combustíveis e tecnologias alternativas. As tecnologias consideradas levaram em conta a disponibilidade no mercado brasileiro e a disponibilidade dos dados de emissões para

realizar as análises. Assim, considerou-se: o biodiesel 100% (B100), a mistura de 20% biodiesel e 80% diesel (B20), gás natural veicular (GNV) e etanol (E), todos eles associados a uma ou mais tecnologias de pós-tratamento de gases; e ônibus híbrido diesel-elétrico.

### 5.1. Quantificando os impactos da NAMA

Aplicou-se o modelo *bottom-up* para estimar os poluentes atmosféricos locais e as emissões de CO<sub>2</sub>e (IPCC, 1995). O modelo, representado pela Equação 3, considera a quilometragem anual da frota, além de outros fatores como tamanho da frota e o fator de emissão do poluente.

$$E = Fe \times Fr \times Iu \quad (3)$$

onde:  $E$  = Massa de poluente emitida no período considerado [g/ano]

$Fe$  = Fator de emissão de poluente por ano-modelo [g/km]

$Fr$  = Frota circulante [n° de veículos]

$Iu$  = Intensidade de uso ou quilometragem anual percorrida [km/ano]

Os fatores de emissão de CO, HC, NO<sub>x</sub> e MP para os veículos diesel são do INEAVAR (MMA, 2010) e do Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo (CETESB, 2013). Estes fatores foram determinados, previamente, por meio de informações oriundas do PROCONVE para veículos novos que são corrigidas por curvas de deterioração que incrementam os fatores de emissão, conforme aumenta a idade do veículo (CETESB, 2013). O fator de emissão para CO<sub>2</sub>e é da meta-análise de Cooper *et al.* (2013). Os dados são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Fatores de emissão,  $Fe$  (g/km) (MMA, 2011; Cooper *et al.*, 2013a)

Fase do PROCONVE	Ano-modelo	CO	HC	NOx	MP	CO2e
P1 e P2	até 1999	3,02	1,10	17,37	1,07	5701,00
P3/P4	2000 - 2001	2,71	0,90	10,97	0,53	5701,00
P4	2002 - 2003	1,48	0,50	10,71	0,21	5701,00
P4/P5	2004 - 2008	1,41	0,38	9,00	0,17	5701,00
P5	2009	1,34	0,20	6,29	0,11	5701,00
P5	2010	1,43	0,23	6,38	0,12	5701,00
P5	2011	1,20	0,15	6,31	0,11	5701,00
P7	2012	0,35	0,03	1,65	0,02	3623,74

Os fatores para os veículos B100, B20, GNV, híbrido diesel-elétrico e etanol são resultados da meta-análise de Cooper *et al.* (2013) e são apresentados na Tabela 5. Pelo fator de emissão é possível identificar qual combustível emite menos massa de poluente por quilometragem.

**Tabela 5:** Fatores de emissão,  $Fe$  (g/km)

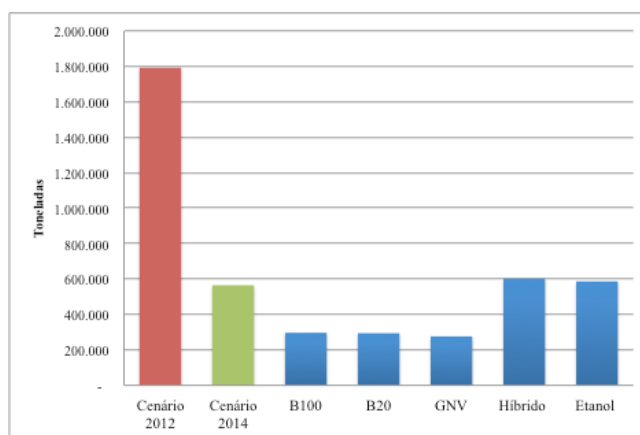
Combustível	CO	HC	NOx	MP	CO2e
B100	0,06	2,42	0,00	0,01	1904,77
B20	0,04	1,20	0,00	0,00	1887,15
GNV	1,54	2,12	0,40	0,02	1772,87
Híbrido	1,55	0,03	9,80	0,05	3865,37
Etanol	0,01	7,61	0,75	0,02	3762,54



## 5.2. Emissões no Cenário 2012 e Cenário 2014

A partir da Equação 3, estimou-se o total de toneladas de poluentes emitidos por ano no cenário de 2012, e nos cenários para 2014, que inclui renovação total por ônibus diesel (D10), que devem atender às especificações do P7 e cenários adicionais com B100, B20, GNV, etanol, e ônibus híbrido diesel-elétrico. É muito importante atentar para a quilometragem anual nos cenários, visto que com a otimização das rotas, prevê-se uma redução de 50% na quilometragem para o cenário 2014, sendo um dos fatores que contribuem na redução das emissões.

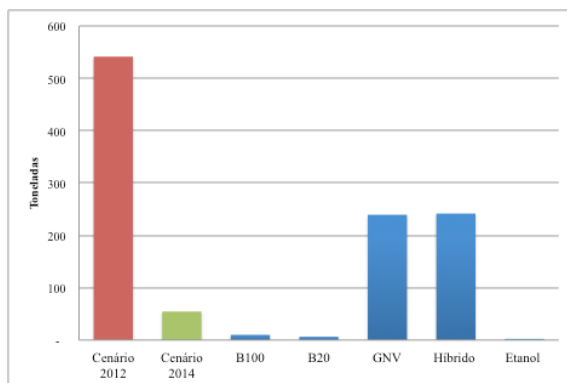
A primeira análise de comparação de emissões entre os cenários foi realizada para as emissões de CO<sub>2</sub>e, na Figura 3. A renovação da frota por D10, estipulada para ocorrer até final de 2014, tem potencial de reduzir em 68% as emissões de CO<sub>2</sub>e por ano. Considerando as outras alternativas veiculares, o B100, B20 e GNV apresentam as maiores reduções de CO<sub>2</sub>e.



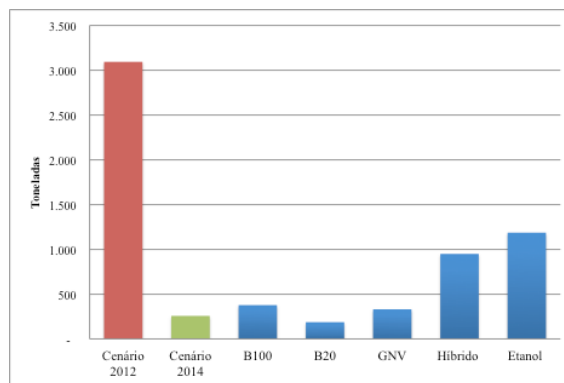
**Figura 3:** Emissões anuais de CO<sub>2</sub>e

As Figuras de 4 a 7 apresentam as emissões regulamentadas pelo PROCONVE (CO, NO<sub>x</sub>, HC e MP). As emissões de CO, na Figura 4, sofrem redução significativa em comparação ao cenário de 2012. Os principais ganhos são observados para o B100, B20 e etanol. As emissões de NO<sub>x</sub>, na Figura 5, um dos poluentes com efeitos mais nocivos para o ambiente e para a saúde das pessoas, apresentaram maior potencial de redução com D10 e B20. Na Figura 6 são apresentadas as emissões de HC, estas emissões são mais altas para GNV e etanol, dada a composição química destes combustíveis. As emissões de HC são nulas para B100 e B20, e a redução proporcionada com D10 também é expressiva.

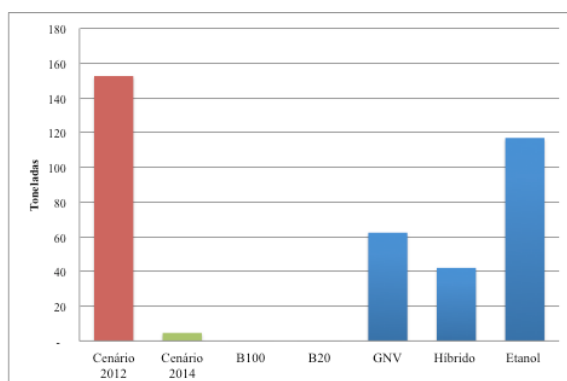
Por fim, as emissões de MP, na Figura 7, são as que apresentam uma redução significativa em todos os cenários considerados. O primeiro aspecto a ser considerado diz respeito à qualidade do diesel, que nos últimos anos passou de 1800 ppm de enxofre para 50 ppm ou até mesmo 10 ppm. Ainda que não houvesse redução da quilometragem anual, a redução continuaria a ser bem alta. As tecnologias atuais associadas ao diesel, biodiesel, etanol e GNV proporcionam esse altíssimo ganho em reduções de MP, que irão impactar diretamente no ambiente e, principalmente, na saúde das pessoas.



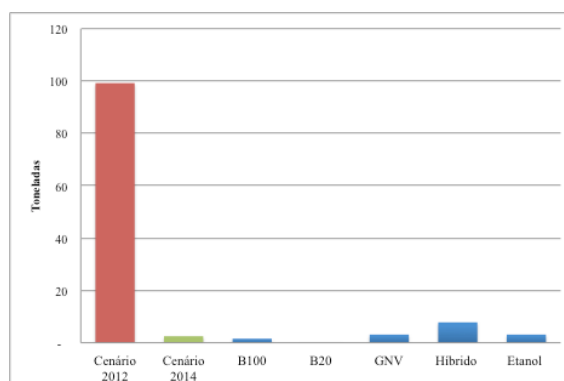
**Figura 4:** Emissões anuais de CO



**Figura 5:** Emissões anuais de NOx



**Figura 6:** Emissões anuais dos HC



**Figura 7:** Emissões anuais de MP

Na Tabela 6 são apresentadas as emissões absolutas para todos os cenários considerados.

**Tabela 6:** Emissões absolutas de CO, NO<sub>x</sub>, HC, MP e CO<sub>2</sub>e (toneladas/ano)

	CO	NO <sub>x</sub>	HC	MP	CO <sub>2</sub> e	
Cenário 2012	541,4	3.093,6	152,5	99,2	1.792.505	
Cenário 2014	D10	54,6	257,3	4,7	2,5	564.987
	B100	10,1	377,3	-	1,6	296.978
	B20	6,4	187,1	-	-	294.231
	GNV	239,4	330,5	62,4	3,1	276.413
	Híbrido	241,7	949,5	42,1	7,8	602.661
	Etanol	0,8	1.186,5	116,9	3,1	586.628

## 6. POTENCIAL PARA DESENVOLVIMENTO DE UMA NAMA

O desenvolvimento de uma NAMA tem como pré-requisito: redução de GEE de forma mensurável, reportável e verificável, aliado ao desenvolvimento sustentável provendo co-benefícios. A partir dos resultados obtidos no estudo de caso, a renovação da frota de ônibus deverá reduzir em torno de 68% as emissões de GEE, isso considerando ônibus movidos a diesel (D10). Em um cenário mais otimista, o potencial de redução chega a aproximadamente 85%, com a adoção do GNV.

A renovação da frota também resultará na melhoria da qualidade do ar, visto que poluentes locais, como CO, NO<sub>x</sub>, HC e MP, apresentaram reduções significativas. Muitos desses ganhos em redução das emissões ocorreu porque a frota da cidade era composta por ônibus muito antigos e de tecnologias defasadas. Entretanto, também

ouve uma reestruturação das rotas, acarretando numa redução da distância percorrida pelos ônibus, é essa redução da quilometragem contribui para redução das emissões, mas também oferece uma série de co-benefícios.

Além dos ganhos no âmbito da qualidade do ar e as consequências desta melhoria para a saúde das pessoas, deve-se considerar as vantagens da reestruturação e otimização das rotas. A reestruturação do sistema de transporte contará com ônibus modernos, rotas que atendem todas regiões da cidade, proporcionando redução do tempo de viagem, segurança e conforto para os passageiros. Isto poderá atrair usuários dos automóveis privados, que deixarão de emitir gases poluentes locais e de estufa oriundos de seus automóveis.

**Tabela 7:** Proposta de controle para o MRV

Variável	Indicador
Número de ônibus	Número de ônibus
Redução da distância percorrida	Quilometragem média anual
Mudança comportamento	Número de usuários
Redução acidentes de trânsito	Número de vítimas em acidentes de trânsito
Ganho com tempo de viagem	Tempo de viagem por deslocamento
Redução congestionamento	Velocidade média
Redução poluição local atmosférica	Medições de exposição

A fim de tornar as reduções de emissões “Mensuráveis, Reportáveis, e Verificáveis” é necessário elaborar um controle de todas as variáveis que irão influenciar nas emissões e definir indicadores para monitoramento. É essencial que seja sistematizada a coleta de informações para que haja o máximo de veracidade nos dados. A Tabela 7 propõem algumas variáveis e possíveis indicadores que irão mensurar, não só os GEE, como também os co-benefícios gerados pela renovação e reestruturação e otimização das rotas.

Os ganhos financeiros da redução de GEE que a renovação poderia resultar são especulados levando em conta os valores das RCEs no mercado de carbono. Atualmente, o preço da RCEs é €0,35, valor mínimo atingido em toda sua história. O valor máximo das RCEs no mercado de carbono foi em torno de €23,00. Assim, na Tabela 8, apresenta-se os possíveis ganhos proporcionados pelos diferentes cenários de combustíveis e tecnologias no ano 2014 para os valores máximo e mínimo das RCEs.

Caso o desenvolvimento da NAMA visasse a obtenção lucros no mercado de carbono, com certeza a situação atual não seria apropriada para esse fim. Se considerar quando o mercado de carbono estava em alta, com as cotas de RCEs a €23,00, os possíveis ganhos passariam a ser atrativos, no entanto isto engloba toda uma análise financeira, na qual o este estudo de caso não contempla.

A NAMA para renovação de frota tem potencial de ser desenvolvida. As ações mitigaram GEE e proporcionaram co-benefícios apropriados e voltados para o desenvolvimento sustentável. Uma NAMA deste tipo poderia contar com o apoio internacional para prover taxas atrativas de financiamento para renovação da frota e capacitação técnica para o MRV; porém o maior desafio a ser vencido é mensurar,

verificar e reportar todos esse ganhos, para que esta ação torne-se atrativa de receber este apoio.

**Tabela 8:** Monetização das reduções de tCO<sub>2</sub>e para o ano de 2014

Cenário 2014	tCO <sub>2</sub> e reduzidas	Máximo valor RCEs	Mínimo valor RCEs
D10	1.227.518	€ 28.232.910	€ 1.227.518
B100	1.495.527	€ 34.397.126	€ 1.495.527
B20	1.498.274	€ 34.460.312	€ 1.498.274
GNV	1.516.092	€ 34.870.119	€ 1.516.092
Híbrido	1.189.845	€ 27.366.426	€ 1.189.845
Etanol	1.205.877	€ 27.735.174	€ 1.205.877

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo estimar e avaliar o impacto das emissões dos poluentes locais e globais a partir da renovação da frota de ônibus urbanos de uma cidade brasileira por ônibus novos que atendem os padrões do P7. A renovação da frota contou com cenários adicionais nos quais combustíveis e tecnologias alternativas ao diesel também foram considerados. Após a quantificação das emissões, os impactos foram avaliados e o potencial para desenvolvimento de uma NAMA analisado.

O potencial da NAMA para renovação da frota foi analisado acerca das emissões e dos co-benefícios proporcionados. Todos os cenários propostos para a renovação apresentaram reduções significativas. O combustível B20, associado a tecnologias de pós-tratamento de gases, apresentou as maiores reduções dos poluentes analisados (CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP, e CO<sub>2</sub>e). O combustível D10, que está previsto para ser usado na renovação até final de 2014, não obteve as maiores reduções em comparação com B20; no entanto, teve melhor desempenho num contexto geral, que etanol e o híbrido.

A renovação apresenta potencial para desenvolvimento de uma NAMA. Contudo, o estudo de caso comprova a falta de dados no sistema de transportes, uma vez que não foi possível obter informações da quilometragem média anual realizada por cada ônibus da frota. Diante disso, torna-se claro a necessidade de coletar, monitorar e verificar os dados dos sistema de transportes.

Os resultados apresentados são uma estimativa inicial do potencial real que a renovação da frota pode oferecer. Mas enquanto não houver uma sistematização na coleta de dados e veracidade nas quantificações das emissões, dificilmente haverá atuação dos mecanismos de mitigações e investimentos dos fundos climáticos no setor de transportes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen H., Huizenga C., Millard K. e M. Stonelli. (2013). The Doha gateway – opening a pathway for sustainable transport. Bridging the Gap. Disponível em < <http://www.transport2020.org/file/doha-gateway-fin6-.pdf>>
- Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) (2012). Sistema de Informação da Mobilidade Urbana. Relatório Geral 2011. Disponível em: < <http://portal1.antp.net/site/default.aspx> >
- Binsted A.; Lefevre, B.; Cauchois, C. e A. Eckermann (2014) Transport NAMAs: An Overview. EMBARQ GIZ. Disponível em <<http://www.transport2020.org/publications/transport-namas>> Acesso em 20.03.2014
- Binsted, A.; Bongardt, D.; Dalkmann, H. e Sakamoto, K. (2013) Accessing Climate Finance for Transport: A practical overview. Sustainable Urban Transport Technical Document #5. GIZ. Disponível em <<http://climatefinanceoptions.org/cfo/node/3391>> Acesso em 20.03.2014

- Boson, P. H. G. (2012) Transporte rodoviário e mudanças do clima no Brasil, em Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatório. IPEA. Brasília
- Buzzatti, M. G. (2011) Elementos para uma Ação de Mitigação Nacionalmente Adequada (NAMA) a partir da produção de biodiesel de Óleo de Dendê pela Agricultura Familiar no Brasil Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.
- Carvalho, C. H. R. (2011) Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. IPEA – 1606 texto para discussão – Brasília
- CCAP (2011) NAMAs and the Clean Development Mechanism (CDM): An Overview. Disponível em <[http://ccap.org/assets/NATIONALLY-APPROPRIATE-MITIGATION-ACTIONS/NAMAs-AND-THE-CLEAN-DEVELOPMENT-MECHANISM/CDM-AnOverview\\_CCAP-May-2011.pdf](http://ccap.org/assets/NATIONALLY-APPROPRIATE-MITIGATION-ACTIONS/NAMAs-AND-THE-CLEAN-DEVELOPMENT-MECHANISM/CDM-AnOverview_CCAP-May-2011.pdf)> Acesso em 20.03.14
- CETESB (2013) Emissões veiculares no estado de São Paulo 2012. Disponível em <[http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/emissao\\_veicular](http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/emissao_veicular)>
- Cooper, E., Arioli, M., Carrigan, A., Jain, U. Meta-Analysis of Transit Bus Exhaust Emissions. Transportation Research Record, v. 2340, p. 20-28, 2013.
- Dalkmann, H. e Brannigan, C. (2007) ‘Transport and Climate Change’, Sourcebook Module 5e, Sustainable Urban Transport Project (SUTP), GIZ, Eschborn, Germany.
- Davis, S. e L. Surrat (2013) An emerging architecture for nama finance. CCAP.
- De Vit, C.; Röser, F. e H. Fekete (2013) Measuring, Reporting and Verifying Nationally Appropriate Mitigation Actions: Reflecting experiences under the Mitigation Momentum Project. Discussion paper. ECN e Ecofys
- Eichhorst, U.; Sterk, K.; Wehnert, T.; Bleckmann, J.; Henkel, A.; Lauko, P. E S. Wiengers (2012) “Navigating Transport NAMAs.” TRANSfer Project Online Handbook. GIZ, BMU, and Wuppertal Institut. Disponível em <<http://www.transferproject.org/index.php/hb>> Acesso em 20.03.2014
- Garibaldi J. A. ; Winkler H.; Rovere E. R.; Cadena, A.; Palma, R.; Sanhueza, J.; Tyler, E. e M. T. Gunfaus (2013) Comparative analysis of five case studies: commonalities and differences in approaches to mitigation actions in five developing countries, Climate and Development, DOI: 10.1080/17565529.2013.812031
- GIZ (2011) Factsheet: Sustainable Urban Transport: Avoid-Shift-Improve (A-S-I) Disponível em <[www.transport2020.org/file/sutporg-asi-factsheet.pdf](http://www.transport2020.org/file/sutporg-asi-factsheet.pdf)> Acesso em 20.03.2014.
- Huizenga, C. e S. Bakker (2010a) Climate Instruments for the Transport Sector: Considerations for the Post-2012 Climate Regime. Asian Development Bank and Inter-American Development Bank
- Huizenga, C. e S. Bakker (2010b) NAMAs in the Transport Sector Case Studies from Brazil, Indonesia, Mexico and the People’s Republic of China. Disponível em <<http://publications.iadb.org/handle/11319/3388?locale-attribute=pt>> Acesso em 20.03.2014
- IEA (2013) A Tale of Renewed Cities: A policy guide on how to transform cities by improving energy efficiency in urban transport systems. Disponível em <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,39940,en.html>> Acesso em 20.03.2014.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (201). Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2010. Rio de Janeiro, ago. 2010. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids)>.
- IPCC (1995) Climate Change 1995 Economic and Social Dimensions of Climate Change.
- Lefevre, B. e D. Leipziger (2014) Transport Readiness for Climate Finance: A framework to access climate finance in the transport sector. EMBARQ – The World Resources Institute (WRI) program for sustainable transport and urban development
- Lütken S.; Dransfeld, B. e S. Wehner (2013) Guidance For Nama Design Building on Country Experiences. UNDP, UNFCCC e UNEP Risø.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2010) 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Brasília.
- NAMA Facility (2013) International NAMA Facility General Information Document. Disponível em <[http://nama-facility.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/NAMA\\_Facility\\_Information\\_Document\\_14May2013\\_final.pdf](http://nama-facility.org/fileadmin/user_upload/pdf/NAMA_Facility_Information_Document_14May2013_final.pdf)> Acesso em 20.03.2014.
- Okubo, Y.; Hayashi, D. e A. Michaelowa (2011) NAMA crediting: how to assess offsets from and additionality of policy-based mitigation actions in developing countries. *Greenhouse Gas Measurement and Management*, vol.1:1, p.37-46.
- Point Carbon (2013). CO2 Carbon Market Trader 2013.
- Sakamoto, K. (2012) Tip of the iceberg? The current state of transport NAMAs. Asian Development

- Bank. Disponível em <  
[http://cleanairinitiative.org/portal/sites/default/files/presentations/Sakamoto\\_ADB\\_Tip\\_of\\_the\\_Ice\\_berg\\_0.pdf](http://cleanairinitiative.org/portal/sites/default/files/presentations/Sakamoto_ADB_Tip_of_the_Ice_berg_0.pdf)>
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2012) Nama finance study: Examples from the UNEP Bilateral Finance Institutions Climate Change Working Group. Disponível em <  
[www.jica.go.jp/about/.../NAMA\\_Finance\\_study.pdf](http://www.jica.go.jp/about/.../NAMA_Finance_study.pdf)> Acesso em 20.03.2014.
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2011) Cities and climate change: global report on human settlements.
- Vivideconomics (2013) The market impact of a CDM capacity fund. Disponível em <  
[http://www.vivideconomics.com/uploads/reports/the-market-impact-of-a-cdm-capacity-fund/CDM\\_Capacity\\_Fund.pdf](http://www.vivideconomics.com/uploads/reports/the-market-impact-of-a-cdm-capacity-fund/CDM_Capacity_Fund.pdf)> Acesso em 20.03.2014.
- WHO (2014) Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet N°313. Disponível em <  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em 02.04.2014

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo quantificar as emissões da frota de ônibus urbano de uma cidade brasileira e propor um mecanismo de mitigação de GEE. Para tanto, combustíveis e tecnologias veiculares para os ônibus urbanos disponíveis no Brasil foram identificadas, e suas emissões quantificadas através de uma meta-análise. Os mecanismos de mitigação de GEE foram analisados com base nos projetos com base na sua atuação e contribuição para o setor de transportes. A partir da quantificação das emissões do ônibus urbanos e dos mecanismos apropriados para o setor, avaliou-se o potencial de desenvolvimento de uma NAMA para renovação da frota de ônibus.

A quantificação das emissões de diferentes combustíveis e tecnologias foi estimada a partir da meta-análise. Mais de 500 dados foram utilizados para comparar as faixas de emissões para CO, THC, NO<sub>x</sub>, PM e CO<sub>2</sub>e e avaliar quais combinações de combustível e tecnologia serão relevantes para a frota de ônibus urbanos brasileira nos próximos anos. As análises mostram que não há uma única combinação capaz de proporcionar redução de todos os poluentes analisados. Embora todos poluentes sejam importantes, o NO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2</sub>e destacam-se pelos efeitos nocivos mais agressivos no âmbito local e global.

A contribuição dos mecanismos de mitigação para o setor de transportes mostrou-se limitada, sendo uma das principais barreiras para sua maior atuação justamente a dificuldade de quantificar e monitorar as emissões de GEE provenientes das atividades de transportes. O MDL mostrou-se incapaz de representar um papel ativo na redução de GEE no setor de transportes. As NAMAs surgem como uma promessa de um mecanismo eficiente para transportes, pois têm potencial de atuar como políticas nacionais que irão influenciar todo um país, e tornando-se assim atrativas para investimentos dos Fundos Climáticos.

No estudo de caso desenvolvido neste trabalho, a renovação apresentou potencial para desenvolvimento de uma NAMA. No entanto, o maior empecilho será a implantação de um sistema MRV. Os resultados mostram que a renovação reduz emissões e proporciona co-benefícios. Mas enquanto não houver um compromisso na padronização da coleta de dados afim de estabelecer uma base de dados coerente e atualizada, não será possível quantificar as emissões que estejam de acordo com as exigências do

sistema MRV que irá tornar viável o mecanismo de mitigação.

O desenvolvimento e implementação de um programa para a renovação da frota brasileira pode se constituir em uma das ações de mitigação nacionalmente apropriadas que proporcionem grande impacto na redução das emissões do transporte urbano. A quantificação das emissões apresentadas no estudo de caso é o primeiro passo para o desenvolvimento de uma NAMA, que precisa ainda ser discutida no âmbito econômico e político. Recomenda-se a elaboração de uma análise econômica para a renovação da frota, e quanto ao aspecto político, deve-se considerar as barreiras impostas para propor uma política nacional que influencie na renovação do ônibus antigos.



## REFERÊNCIAS

ALLEN H., HUIZENGA C., MILLARD K. E M. STONELLI. **The Doha gateway – opening a pathway for sustainable transport. Bridging the Gap.** 2013. Disponível em < <http://www.transport2020.org/file/doha-gateway-fin6-.pdf>> . Acesso em: 20 mar. 2014.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. Sistema de informações da mobilidade urbana. Relatório Geral 2011.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Relatório Síntese 2012. Ministério de Minas e Energia. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2010.** Rio de Janeiro, ago. 2010. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids)>. Acesso em: 20. Mar. 2014.

INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. Pesquisa Avaliação do Impacto da Poluição Atmosférica no Estado de São Paulo sob a Visão da Saúde. 2013. Disponível em <[http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2013/09/Documentofinaldapesquisapadrao\\_2409-FINAL-sitev1.pdf](http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2013/09/Documentofinaldapesquisapadrao_2409-FINAL-sitev1.pdf)> Acesso em 20.03.2014

RÍOS, R. A.; ARANGO, F.; VICENTINI, V. L. E R. ACEVEDO-DAUNAS. **Mitigation Strategies and Accounting Methods for Greenhouse Gas Emissions from Transportation.** Inter-American Development Bank. 2013.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. **Cities and climate change: global report on human settlements.** 2011. Disponível em < <http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3085>> Acesso em: 20. Mar. 2014

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ambient (outdoor) air quality and health.** Fact sheet N°313. 2014. Disponível em <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em 02.04.2014