

IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E SOCIAIS DE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2030



Cenários de Mitigação de GEE do Setor de Transporte (Demanda de Energia)

Relatório Técnico

Autores:

Amaro Olímpio Pereira Junior, Luan Santos e Luiza Di Beo Oliveira

(Centro Clima/COPPE/UFRJ)

Citação:

PEREIRA JR, A.O.; SANTOS, L.; e OLIVEIRA, L.D.B (2015). Cenários do Setor de Transporte. In: LA ROVERE, E. L. et al. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

EQUIPE DO PROJETO IES-Brasil

FORUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – COORDENAÇÃO INSTITUCIONAL

Luiz Pinguelli Rosa – Coordenador Geral
Neilton Fidelis – Coordenador Executivo

CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ – COORDENAÇÃO TÉCNICA

Emilio Lèbre La Rovere – Líder de Pesquisa e Modelagem
William Wills – Coordenador de Pesquisa e Modelagem Macroeconômica
Carolina Burle Schmidt Dubeux, Amaro Olímpio Pereira Junior e Sergio Henrique Ferreira da Cunha –
Coordenadores de Estudos Setoriais
Isabella da Fonseca Zicarelli – Assistente de Coordenação

ECOSYNERGY – EQUIPE DE FACILITAÇÃO

Barbara C. P. Oliveira – Líder de Processo e Facilitação
Sergio Marcondes
Luisa Santos Sette Câmara Moreira

EQUIPE DE MODELAGEM MACROECONÔMICA

William Wills, Carolina Grottera, Romulo Neves Ely – Centro Clima/COPPE/UFRJ
Julien Lefevre – CIRED/CNRS (*Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement*)

EQUIPE DE ESTUDOS SETORIAIS

Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU): Marcelo Melo Ramalho
Moreira, Leila
Harfuch, Willian Kimura, Luciane Chiodi Bachion, Rodrigo Lima, Wilson Zambianco e André Nassar – Agroicone; Carolina B. S. Dubeux e Michele K.C. Walter – Centro Clima/COPPE/UFRJ
Setor Energético: Amaro Olímpio Pereira Junior, Sergio Henrique Ferreira da Cunha, Thauan Santos, Mariana Weiss, Larissa Albino da Silva Santos e Patricia Turano de Carvalho – Centro Clima/COPPE/UFRJ
Setor Industrial: Shiguelo Watanabe Jr, Roberto Kishinami e Ana Toni – CO2 Consulting
Setor de Resíduos: Saulo Machado Loureiro e Carolina B.S. Dubeux – Centro Clima/COPPE/UFRJ e Victor Zveibil
Setor de Transporte: Amaro Olímpio Pereira Junior, Luan Santos e Luiza Di Beo Oliveira – Centro Clima/COPPE/UFRJ

EQUIPE DE COMUNICAÇÃO

Roberta Nadalutti La Rovere

GERÊNCIA ADMINISTRATIVA

Charlotte Heffer – Gerente de Projeto
Mariana Portellada – Assistente Administrativa
Yuri Ramos Alves – Estagiário

Sumário

1. Introdução	5
2. Modelagem do Setor de Transportes	7
3. Cenário de Plano Governamental (CPG).....	8
3.1. Premissas da Modelagem	8
3.1.1. Transporte de Passageiros	8
3.1.2. Transporte de Cargas	15
3.2. Resultados	16
4. Cenários de Mitigação Adicional	21
4.1. Cenário de Mitigação Adicional 1	22
4.1.1. Premissas da Modelagem	22
4.1.2. Resultados.....	24
4.2. Cenário de Mitigação Adicional 2	28
4.2.1. Premissas da Modelagem	28
4.2.2. Resultados.....	30
5. Análise Comparativa dos Resultados	34
6. Conclusão	36
Referências Bibliográficas	37
Anexo 1 - Curva de Custo Marginal de Abatimento	38

Figuras

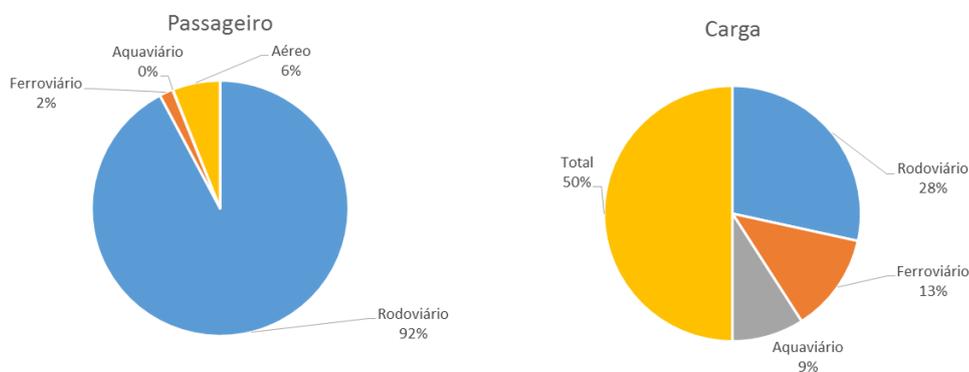
Figura 1.	Matriz de transporte de passageiros e de carga no Brasil em 2010	5
Figura 2.	Comparação entre transporte de carga no Brasil e países selecionados em 2010	6
Figura 3.	Consumo de combustíveis em 2010.....	7
Figura 4.	Fração da frota <i>flex fuel</i> operando com AEHC em função dos preços de AEHC e de gasolina C, por unidade da federação	10
Figura 5.	Curvas de sucateamento por tipo de veículo.....	11
Figura 6.	Intensidade de uso para veículos Ciclo Otto.	12
Figura 7.	Intensidade de uso para veículos Ciclo Diesel.....	13
Figura 8.	Matriz de transportes de carga em 2030, no CPG	17
Figura 9.	Matriz de transportes de passageiros em 2030, no CPG	18
Figura 10.	Matriz de transportes de passageiros em 2030, no MA1	25
Figura 11.	Matriz de transportes de carga em 2030, no MA1	25
Figura 12.	Matriz de transportes de passageiros em 2030, no MA2	31
Figura 13.	Matriz de transportes de carga em 2030, no MA2	31
Figura 14.	Evolução das emissões entre 2010 e 2030, em todos os cenários (MtCO ₂ e) 35	
Figura 15.	Curva de custo marginal de abatimento (MACC) do setor de transportes	38

Tabelas

Tabela 1.	Evolução da intensidade energética média da frota total (MJ/pass.km), no CPG	9
Tabela 2.	Fração dos veículos <i>flex fuel</i> utilizando gasolina C e etanol hidratado 2005-2010.	10
Tabela 3.	Evolução da frota de veículos, em mil veículos, no CPG	12
Tabela 4.	Evolução da distância média percorrida dos veículos rodoviários (km), no CPG	13
Tabela 5.	Evolução do fator de ocupação, no CPG (pass/veículo)	14
Tabela 6.	Crescimento das variáveis dos modais não rodoviários 2010-2030, no CPG	15
Tabela 7.	Evolução dos dados da frota de caminhões 2010-2030, no CPG	15
Tabela 8.	Crescimento das variáveis dos modais não rodoviários de carga 2010-2030, no CPG	16
Tabela 9.	Evolução da demanda de transporte de cargas e passageiros, no CPG.....	17
Tabela 10.	Evolução do consumo de energia (mil tep), no CPG	18
Tabela 11.	Consumo de energia por fontes (mil tep), no CPG.....	19
Tabela 12.	Consumo de energia no setor de transportes por modal (mil tep), no CPG	20
Tabela 13.	Consumo de energia por modal e por fontes (mil tep), no CPG	20
Tabela 14.	Emissões do setor de transportes (MtCO ₂ e), no CPG	21
Tabela 15.	Emissões do setor de transportes por modal (MtCO ₂ e), no CPG.....	21
Tabela 16.	Evolução da frota de veículos (mil veículos), no MA1.....	24
Tabela 17.	Consumo de energia por modal (mil tep), no MA1.....	25
Tabela 18.	Consumo de energia por fonte (mil tep), no MA1	26
Tabela 19.	Consumo de energia por modal e por fontes (mil tep), no MA1	27
Tabela 20.	Emissões do setor de transportes (MtCO ₂ e), no MA1.	27
Tabela 21.	Emissões do setor de transportes por modal (MtCO ₂ e), no MA1	27
Tabela 22.	Evolução da frota de veículos (mil veículos), no MA2.....	30
Tabela 23.	Consumo de energia por modal (mil tep), no MA2.....	32
Tabela 24.	Consumo de energia por fonte (mil tep), no MA2	32
Tabela 25.	Consumo de energia por modal e por fontes (mil tep), no MA2	33
Tabela 26.	Emissões do setor de transportes (MtCO ₂ e) , no MA2	33
Tabela 27.	Emissões do setor de transportes por modal (MtCO ₂ e), no MA2	33
Tabela 28.	Consumo de energia nos cenários (mil tep), em 2030.....	34
Tabela 29.	Emissões mitigadas acumuladas por medida de mitigação em cada cenário (MtCO ₂ e)	35

1. Introdução

O Brasil é um país de dimensões continentais, por isso, requer o deslocamento de grandes números de pessoas e cargas, muitas vezes percorrendo longas distâncias. A base do transporte é rodoviária, representando 92% do transporte de carga e 57% do transporte de passageiros, como demonstra a Figura 1. Ainda assim, o desempenho do setor de transporte é inferior ao de países de mesma escala. Entretanto, de acordo com a Nota Técnica da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (EPE, 2012), que consolida a base de dados de transportes no país, em 2010, a demanda por transporte de carga foi de 1.115 bilhões de t.km, um valor baixo se comparado aos dados da *European Commission* (EU, 2012) sobre a Europa em 2009 (3.828 bilhões de t.km), os EUA em 2008 (6.127 bilhões de t.km), a China em 2009 (12.200 bilhões de t.km) e a Rússia em 2010 (4.747 bilhões de t.km). No caso de transportes de passageiros, a demanda é de 1.600 bilhões de pass.km, também bem baixo, se comparado à Europa (6.304 bilhões de pass.km), USA (7.265 bilhões de pass.km) e China (2.778 bilhões de pass.km)¹ no mesmo período.



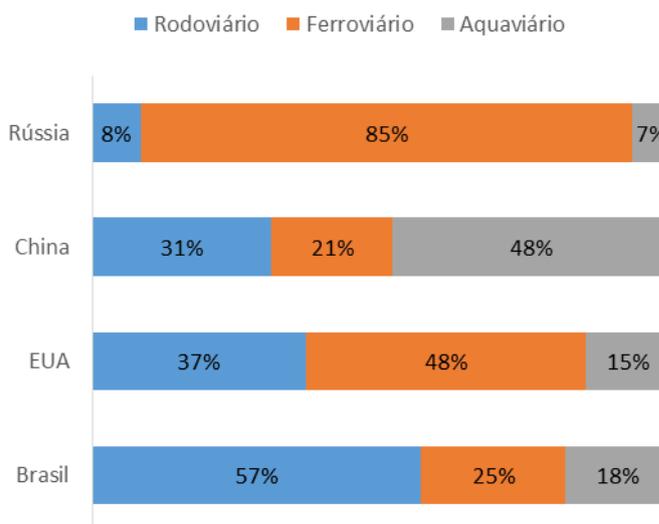
Fonte: EPE, 2012.

Figura 1. Matriz de transporte de passageiros e de carga no Brasil em 2010

Esse perfil da matriz de transportes nacional é um importante limitante ao crescimento da competitividade e produtividade do país. Além de tornar o sistema caro e ineficiente, políticas de investimento que, no passado, incentivaram o desenvolvimento do transporte rodoviário,

¹ Na base de dados da União Europeia, não há informação de uso de transporte privado de passageiros, por isso, não pode ser totalizada a demanda de passageiros deste país.

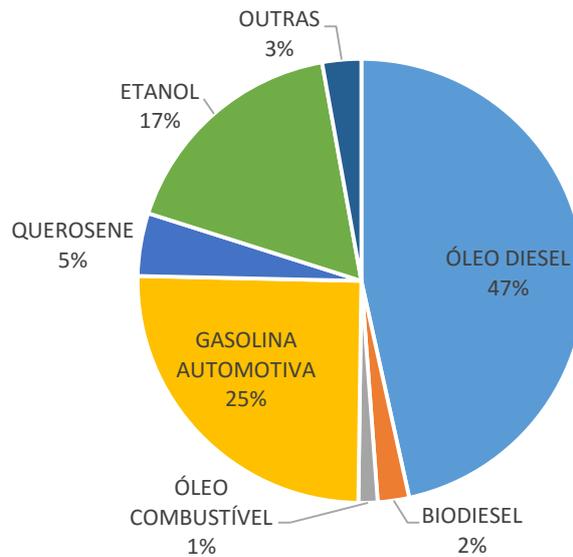
fizeram com que no presente, o Brasil tivesse um maior custo de transporte de carga para longas distâncias. Segundo levantamento realizado pelo Centro de Estudos em Logística (CEL, 2006), o custo do transporte no modal ferroviário é de 12 US\$/t.km, no aquaviário, 24 US\$/t.km, enquanto no modal rodoviário chega a 73 US\$/t.km. Em outros países de dimensões continentais, como o Brasil, são privilegiados outros modais, como mostra a Figura 2 abaixo.



Fonte: EU, 2012 e EPE, 2012

Figura 2. Comparação entre transporte de carga no Brasil e países selecionados em 2010

Essa característica da matriz de transportes brasileira, dadas as tecnologias vigentes, se reflete na composição do consumo de energia. Do consumo total de combustíveis, cerca de 90% são utilizados em transporte rodoviário, incluindo óleo diesel, o biodiesel, a gasolina e o etanol, como mostra a Figura 3 a seguir. Cabe ressaltar, que atualmente o etanol do referido gráfico refere-se ao anidro, que é misturado na gasolina na proporção de 25%, e o hidratado, que é o utilizado nos carros a álcool e nos modelos flex. A gasolina automotiva que aparece na figura é a gasolina A, ou seja, sem mistura com álcool anidro.



Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2014).

Figura 3. Consumo de combustíveis em 2010

A predominância do transporte rodoviário se reflete nas emissões de gases de efeito estufa – GEE. De acordo com inventário das emissões de GEE (COPPE, 2015), em 2010, o setor de transportes foi responsável pela emissão de 175 MtCO_{2e}, 47% do total das emissões do setor energético.

2. Modelagem do Setor de Transportes

A modelagem do setor de transportes seguiu a estrutura proposta por Swisher *et al.* (1997), em que, para cada tipo de veículo, são considerados o tamanho da frota, a distância média percorrida e o fator de ocupação. Desta forma, o consumo de energia é dado por:

$$E = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot I_i)$$

Onde:

E é o consumo de energia

Q_i é a quantidade do serviço energético do veículo *i*, em pass.km ou t.km

I_i é intensidade do uso energético para o serviço energético do veículo *i*, em MJ/pass.km ou MJ/t.km

Aqui, i representa cada um dos veículos utilizados no transporte de passageiro ou de carga, conforme o caso.

Destaca-se que Q_i é dado compreendido como:

$$Q_i = F_i \cdot DMP_i \cdot FO_i$$

Onde:

F_i é a frota do veículo i

DMP_i é a distância média percorrida do veículo i

FO_i é o fator de ocupação do veículo i

As equações acima foram inseridas no modelo *Long-range Energy Alternatives Planning System* (LEAP), plataforma onde foram simulados os cenários deste estudo.

3. Cenário de Plano Governamental (CPG)

Para a construção do Cenário de Plano Governamental (CPG) do setor de transportes, foram consideradas as premissas com base em diferentes estudos, apresentadas a seguir. No final desta seção, são apresentados os resultados em termos de evolução do consumo de energia do setor, por tipo de modal e por tipo de combustível, bem como as emissões totais de GEE.

3.1. Premissas da Modelagem

3.1.1. Transporte de Passageiros

Modal Rodoviário

Para os dados de intensidade energética de cada modal, foi adotada a mesma premissa dos estudos de demanda do Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 (EPE, 2014), de que *os veículos novos teriam um ganho de eficiência de 1% ao ano até 2030.*² No caso dos veículos leves, tal

² A EPE se baseia em vários estudos para adotar esta hipótese. Os da Agência Internacional de Energia (Energy Technology Perspectives: Technology Roadmap - IEA, 2012), por exemplo, mostram que o potencial de incremento da eficiência para veículos pesados é de até 1,5% no horizonte 2010- 2030. Este cenário adotado pela Agência, contudo, retrata a necessidade de avanços tecnológicos para obtenção de uma meta de mudança de dois graus Celsius na temperatura da Terra, o que pode não ocorrer.

hipótese se baseia no Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto), que concede benefícios para as empresas investirem na inovação e em pesquisa e desenvolvimento dentro do país. O programa prevê redução de impostos para as montadoras que atinjam um conjunto de metas de ganhos de eficiência energética no período de 2013-2017, a partir de investimentos em tecnologias mais modernas de produção: motores mais eficientes, menos poluentes e peças mais leves, elevando assim o padrão nacional.

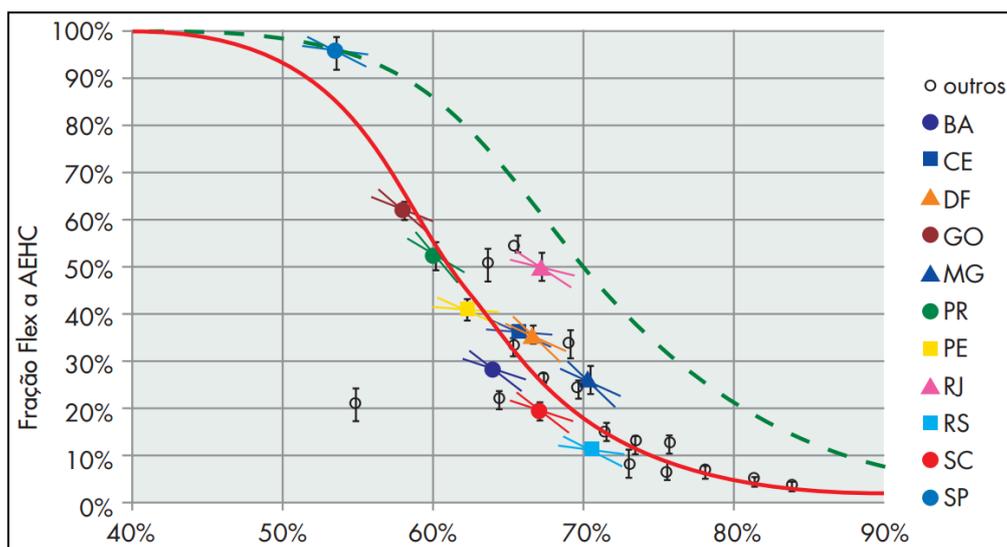
Assim, a intensidade energética média da frota de cada veículo varia conforme a Tabela 1 a seguir. Assumiu-se que a frota de veículos que usam GNV ficará restrita aos táxis e que a intensidade energética é de 2,8 MJ/pass.km.

Tabela 1. Evolução da intensidade energética média da frota total (MJ/pass.km), no CPG

Veículo	2010	2015	2020	2025	2030
Carro Flex - gasolina	1,19	1,19	1,18	1,18	1,15
Carro Flex - etanol	1,70	1,69	1,69	1,68	1,64
Moto flex - gasolina	2,00	1,99	1,98	1,98	1,97
Moto flex - etanol	2,86	2,84	2,83	2,82	2,81
Ônibus - diesel	0,35	0,35	0,34	0,32	0,32
BRT - diesel	0,33	0,33	0,33	0,30	0,30

Fonte: PET/COPPE/UFRJ, 2001; USP, 2013; IEE/USP, 2006; PET-Greenpeace, 2013

Também se adotou a premissa do PNE 2050 para a definição da participação do uso de etanol de gasolina nos veículos flex, de 60% e 40%, respectivamente. Tal premissa é consistente com estudos anteriores, tais como, o de Goldemberg *et al.* (2008), que relaciona o consumo de combustível em veículos *flex fuel* e a razão de preços entre etanol hidratado e gasolina, produzindo uma função estatística, conforme ilustra a Figura 4, a seguir.



Fonte: Goldemberg et al. (2008)

Figura 4. Fração da frota *flex fuel* operando com AEHC em função dos preços de AEHC e de gasolina C, por unidade da federação

Tal curva, portanto, foi considerada para estimar a participação dos combustíveis no período 2005-2010, através da aplicação da função, dados os preços médios anuais de etanol hidratado e gasolina C, fornecidos pela Agência Nacional de Petróleo (ANP); estimando-se, assim, a fração da frota de veículos *flex fuel* que utiliza cada combustível, em nível nacional, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2. Fração dos veículos *flex fuel* utilizando gasolina C e etanol hidratado 2005-2010.

Combustível	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gasolina C	45%	70%	45%	43%	47%	47%
Etanol hidratado	55%	30%	55%	57%	53%	53%

Fonte: MMA, 2011.

Para estimar a frota até 2030, foram somadas as projeções de vendas de veículos novos com o número de veículos existentes, descontando-se a saída de circulação a partir de curvas de sucateamento. A equação foi construída por uma função logística, conforme demonstra-se a seguir:

$$SUCAT(t) = \frac{1}{(1 + \exp(a(t - 1 - x_0)))}$$

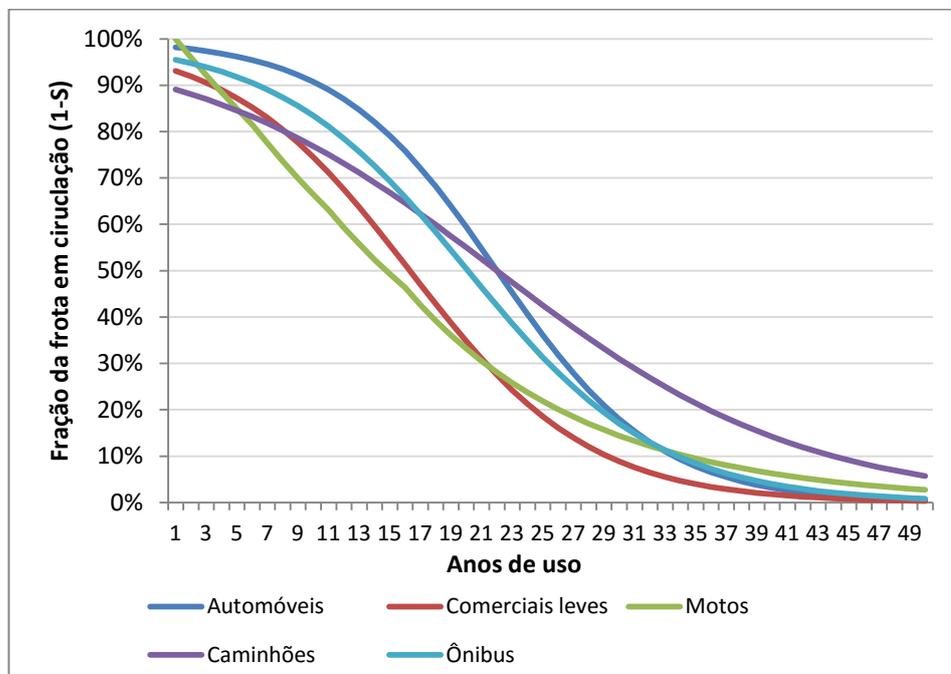
Onde:

$SUCAT(t)$ é fração de veículos sucateados na idade t ;

t é a idade do veículo, determinada pela diferença entre o ano de referência e o ano de fabricação;

a e x_0 são parâmetros da função que dependem do tipo de veículo. Tais parâmetros são apresentados na Tabela 3 e foram calculados no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2010), de modo a ajustar a curva aos dados do DENATRAN/1997 (ECONOMIA E ENERGIA, 1999).

No caso das motocicletas, adotou-se a curva de sucateamento utilizada pelo SINDIPEÇAS (2009), cujas taxas anuais são: 4% nos primeiros 5 anos; 5% do 6° ao 10° ano; 6% do 11° ao 15° ano e; 8% do 16° ano em diante. A Figura 5 a seguir apresenta o formato das curvas de sucateamento por tipo de veículo.



Fonte: Autores com base em Economia e Energia (1999) e SINDIPEÇAS (2009).

Figura 5. Curvas de sucateamento por tipo de veículo.

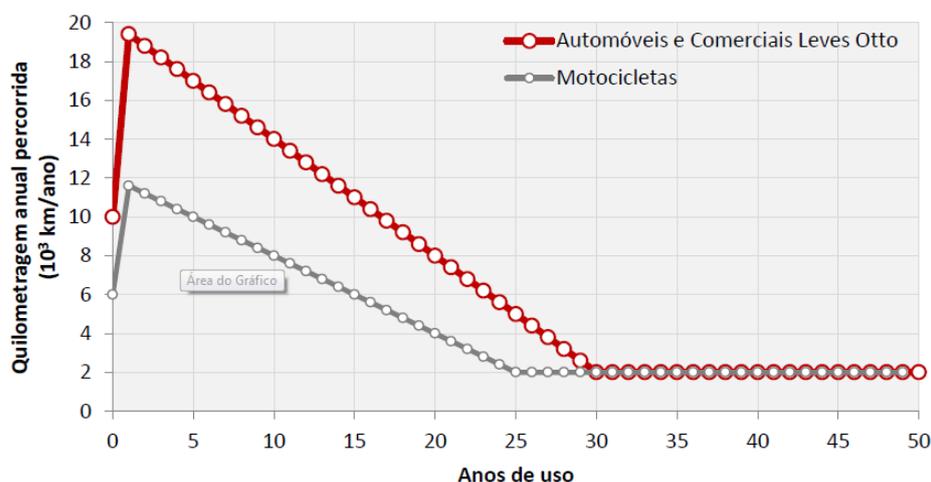
Relativamente às vendas, foi realizada uma regressão múltipla entre o histórico de vendas de veículos novos, o PIB³ e a população. Dessa forma, puderam-se projetar as estimativas de venda por tipo de veículo. Como resultado, a Tabela 3 a seguir demonstra a evolução da frota.

Tabela 3. Evolução da frota de veículos, em mil veículos, no CPG

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Veículos Leves	28.165	39.488	52.030	61.487	79.227
Carros Comerciais Leves	4.605	6.809	8.642	11.004	11.071
Moto	11.454	20.755	31.260	39.077	49.024
Ônibus	325	419	533	635	750

Fonte: Autores com base em EPE, 2014; ANFAVEA, 2014; DENATRAN, 2006; RENAVAL, 2006

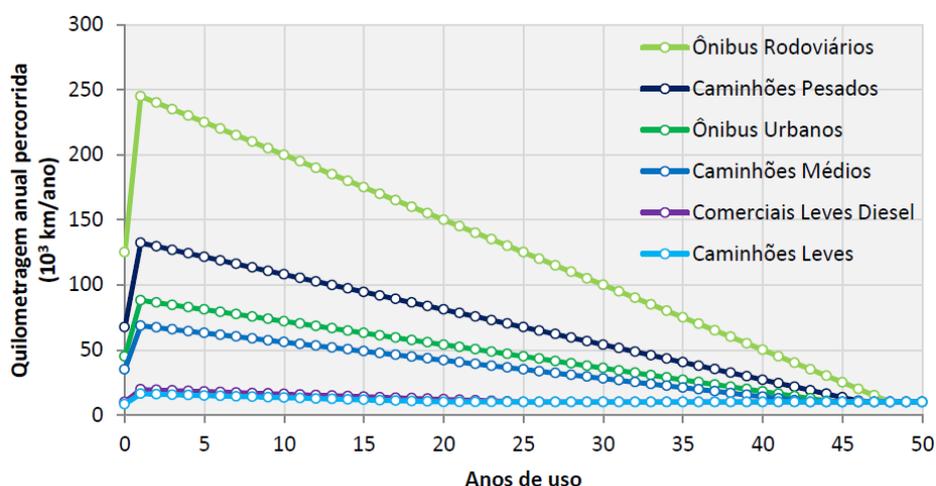
Quanto à estimativa da distância média percorrida (DMPj), no modal rodoviário foram utilizadas as curvas de intensidade de uso do 1º Inventário de Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2010), visando calcular a quilometragem anual percorrida pelos veículos, conforme as Figura 6 e Figura 7 a seguir:



Fonte: MMA (2010).

Figura 6. Intensidade de uso para veículos Ciclo Otto.

³ O PIB utilizado está informado no capítulo de Macroeconomia e varia de acordo com o cenário analisado, em função das medidas de mitigação consideradas em cada cenário.



Fonte: MMA (2010).

Figura 7. Intensidade de uso para veículos Ciclo Diesel.

A partir dos valores acima, a quilometragem anual percorrida foi dividida pela frota, de modo a se encontrar a distância média percorrida por tipo de veículo, conforme apresenta a Tabela 4 a seguir:

Tabela 4. Evolução da distância média percorrida dos veículos rodoviários (km), no CPG

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Veículos Leves	14.965	16.536	16.562	16.578	16.581
Carros Comerciais Leves	15.223	15.001	14.901	14.802	14.201
Moto	9.291	9.308	9.426	9.573	9.633
Ônibus	86.915	83.025	80.059	77.505	74.116

Fonte: Autores

Cabe ressaltar que foi considerada a expansão de linhas de BRT – *Bus Rapid Transit* (649 km, segundo EPE, 2014), o que, juntamente com os outros modais, permite a redução da distância média percorrida dos ônibus em geral (maiores detalhes sobre a modelagem do BRT serão apresentados a seguir).

Finalmente, para a evolução que diz respeito ao fator de ocupação, foi utilizado para o ano base os dados do PortalGeo⁴, de modo a representar a realidade brasileira, e para os anos seguintes, assumiu-se uma redução da utilização de transportes individuais e ônibus, considerando um aumento da utilização de BRT, trens e metrô.

Tabela 5. Evolução do fator de ocupação, no CPG (pass/veículo)

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Veículos Leves	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
Comerciais Leves	2	1,8	1,6	1,5	1,3
Ônibus	25	22	19,5	18	17,5
BRT	50,0	50,0	55,0	56,0	57,0

Fonte: Autores

Cabe ainda ressaltar que a partir de 2015, foi considerado um aumento da mistura do biodiesel no óleo diesel de 5% para 7%.

Modais Ferroviário, Aquaviário e Aéreo

Para os modais de transportes não rodoviários, a modelagem foi feita de forma mais agregada, devido à falta de informação a respeito das frotas. Tal fato também dificultou a estimativa mais precisa da distância média percorrida e do fator de ocupação. Assim, para contornar esta dificuldade, foi utilizado um indicador para cada variável que permitiu calcular a demanda de transportes de passageiros por cada um destes modais (em pass.km) no ano base, bem como a sua evolução ao longo do horizonte de tempo do estudo.

Assim, partiu-se do pressuposto, de acordo com EPE (2014), que haverá um aumento nos investimentos de ampliação dos sistemas sobre trilhos de alta e média capacidade, como metrô, trens urbanos, veículos leves sobre trilhos (VLTs) e mon trilhos, e melhorias na qualidade e na capacidade de transporte dos sistemas já em operação.

O transporte aquaviário concentra-se nos rios da região Amazônica. Estimativas da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) dão conta que a movimentação de passageiros nos rios da região amazônica deve crescer em média anual de 1% na próxima década. Nas demais regiões espera-se um crescimento maior, mas o volume de passageiros transportados ainda será modesto comparado à região Amazônica.

⁴ http://portalgeo.rio.rj.gov.br/_pcontrole/content/out/content.asp?gcod=315

Em relação ao transporte aéreo de passageiros, assumiu-se um crescimento significativo graças ao aumento da renda da população e das melhorias na infraestrutura aeroportuária. A Tabela 6 a seguir resume a evolução de cada variável com base nas hipóteses mencionadas acima.

Tabela 6. Crescimento das variáveis dos modais não rodoviários 2010-2030, no CPG

Modal	Distância Média Percorrida	Fator de Ocupação	Frota
Ferroviário	72%	22%	16%
Aquaviário	68%	10%	8%
Aéreo	67%	20%	2%

Fonte: Autores

Por fim, considerou-se a mesmo ganho de eficiência energética de cada um dos modais de 1% ao ano, com base nas hipóteses da EPE (2014).

3.1.2. Transporte de Cargas

Rodoviário

A modelagem do transporte de carga foi similar ao de passageiros, de um modo geral, e rodoviário em particular. A exemplo do que foi assumido nos demais veículos, considerou-se um ganho de rendimento de 1% dos caminhões novos. A frota é composta por veículos novos, cujas vendas acompanham o crescimento do PIB, e veículos antigos que saem de circulação, conforme curva de sucateamento mostrada no Gráfico 5. A intensidade do uso dos caminhões, ou a distância média percorrida, segue a hipótese mostrada no Gráfico 7. A evolução do fator de carga, por sua vez, baseou-se nas estimativas da CNT (2013) e DNIT (2006). Por fim, a intensidade energética foi estimada com base em referências internacionais, tais como, European Commission (2011). A Tabela 7 abaixo resume essas estimativas.

Tabela 7. Evolução dos dados da frota de caminhões 2010-2030, no CPG

Variáveis	2010	2015	2020	2025	2030
Intensidade Energética (MJ/t.km)	1,78	1,78	1,78	1,77	1,77
Frota (mil veículos)	1.505	2.100	2.795	3.643	4.887
Distância Média Percorrida (km)	50.018	48.060	48.001	47.052	42.091
Fator de Carga (t/veículo)	8,60	8,50	8,20	7,50	7,30

Fonte: Autores

Aqui, cabe ainda ressaltar que a partir de 2015, foi considerado um aumento na mistura do biodiesel no óleo diesel, de 5% para 7%.

Modais Ferroviário, Aquaviário e Aéreo

Da mesma forma que no transporte de passageiros, a modelagem do transporte de carga para os modais de transporte não rodoviário foi feita de forma mais agregada, devido à falta de informação a respeito das frotas. Assim, também foi utilizado um indicador para cada variável que permitiu calcular a demanda de transportes de carga de cada um dos modais (em t.km) no ano base, bem como sua evolução ao longo do horizonte de tempo do estudo.

Para o modal ferroviário, foram considerados os projetos incluídos no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançados em 2007, e outros no PAC 2, lançado em 2009. Há também a expansão da Estrada de Ferro Carajás, que não está incluída no PAC, e acrescentará 101 km de linha, além da duplicação de um trecho de 504 km. De acordo com a EPE (2014), a malha ferroviária deverá ser superior a 45 mil km, em 2030.

No modal aquaviário também é esperado um significativo crescimento principalmente na cabotagem, relacionado à localização das novas refinarias e à expansão da exploração de petróleo na camada do pré-sal. Foi considerado ainda um ganho de eficiência em torno de 1% ao ano (EPE, 2014c).

Finalmente, o transporte aéreo de carga deve continuar pouco significativo devido a seus elevados custos. A evolução das variáveis para modelagem é apresentada na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8. Crescimento das variáveis dos modais não rodoviários de carga 2010-2030, no CPG

Modal	Distância Média Percorrida	Fator de Carga	Frota
Ferrovário	61%	90%	15%
Aquaviário	64%	63%	15%
Aéreo	28%	42%	15%

Fonte: Autores

3.2. Resultados

Apresenta-se, a seguir, a evolução da demanda de transportes de passageiros e de carga, assim como a do consumo de energia pelos diversos combustíveis, além das emissões de CO₂ ao longo do período da análise. Primeiramente, é apresentada a Tabela 9 com a demanda (pass.km e t.km) do Cenário do Plano Governamental.

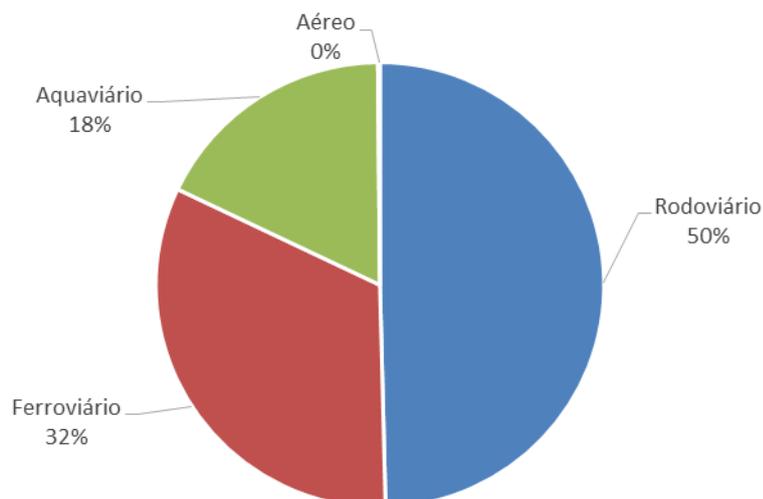
Tabela 9. Evolução da demanda de transporte de cargas e passageiros, no CPG

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Transporte de Cargas (10 ⁹ t.km)	1.115	1.591	2.022	2.580	3.028
Transporte de Passageiros (10 ⁹ pass.km)	1.600	2.213	2.647	3.071	3.385

Fonte: Autores

Pode-se notar que a taxa de crescimento da demanda por transportes de cargas é superior que a do PIB, chegando próximo ao volume atualmente transportado na Europa. O transporte de passageiro, por outro lado, cresce a uma taxa menor que a do PIB, refletindo uma desaceleração do crescimento populacional.

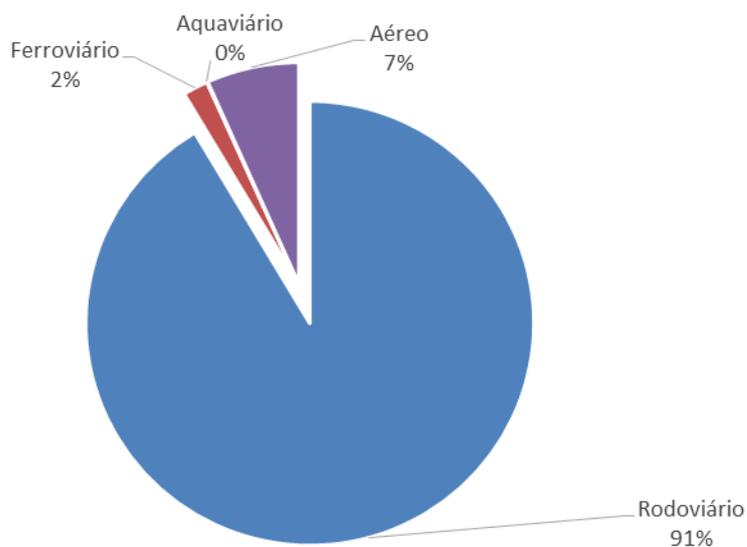
A matriz de transportes de cargas não sofre grandes mudanças ao longo do horizonte de tempo do estudo (ver valores de 2010 na Figura 1). Há um crescimento relativo do modal ferroviário que vai de 25%, em 2010, para 32%, em 2030, e um decréscimo do rodoviário que cai de 57% para 50% no mesmo período. O transporte aéreo continua pouco significativo, como mostra a Figura 8 a seguir.



Fonte: Autores

Figura 8. Matriz de transportes de carga em 2030, no CPG

Na matriz de transportes de passageiros, que inclui transporte urbano e regional, a mudança é menor. Há um pequeno ganho do transporte aéreo em detrimento do rodoviário. O aquaviário continua marginal, como mostra a Figura 9 a seguir.



Fonte: Autores

Figura 9. Matriz de transportes de passageiros em 2030, no CPG

Em termos de consumo de energia, há um crescimento de 4,5% ao ano no transporte de carga e 3,5% no transporte de passageiros. Convém ressaltar que esse consumo inclui biodiesel. A Tabela 10 a seguir mostra essa evolução.

Tabela 10. Evolução do consumo de energia (mil tep), no CPG

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Transporte de Cargas	29.434	40.050	52.973	62.487	72.981
Transporte de Passageiros	40.286	53.795	64.166	74.845	82.234
TOTAL	69.720	93.845	117.139	137.332	155.215

Fonte: Autores

A Tabela 11 apresenta os resultados da evolução para a demanda de energia por fonte no setor de transportes, ou seja, a estimativa do balanço energético do setor para o período de análise, em intervalos de 5 em 5 anos.

Tabela 11. Consumo de energia por fontes (mil tep), no CPG

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Eletricidade	143	184	223	291	350
Gás Natural	1.767	2.093	2.535	2.993	3.145
Gasolina	17.578	23.745	27.562	33.639	34.377
Querosene	3.188	4.144	5.005	6.032	7.066
Diesel	31.699	42.522	54.704	63.153	73.062
Óleo Combustível	966	1.390	1.748	2.443	2.691
Etanol	12.033	16.678	21.533	24.405	29.487
Biodiesel	2.347	3.089	3.828	4.376	5.038
TOTAL	69.720	93.845	117.139	137.332	155.215

Fonte: Autores

Observa-se que o energético cuja demanda mais cresceu no período foi o óleo combustível, em razão da maior movimentação do transporte de cabotagem, e, em seguida, a eletricidade, devido ao maior uso de transporte ferroviário. O etanol cresce a 4,6% ao ano, por conta do aumento da mistura com gasolina e do aumento do uso. Os demais energéticos variam pouco em relação ao crescimento médio do consumo total de energia.

No que se refere à composição da matriz energética no setor de transportes neste cenário, a predominância do diesel praticamente não se altera: sua participação era de 47,2% do total em 2010 e reduz um pouco para 47,1% em 2030. Em seguida, tem-se a gasolina com 24% de participação em 2010 e 22% em 2030, perdendo espaço para o etanol, que sai de 17% em 2010 para 19%, devido aos motivos explicados no parágrafo anterior. Os demais combustíveis se mantêm praticamente constantes.

O consumo de biodiesel foi estimado considerando-se sua participação na mistura com o diesel. Ressalta-se que a mistura de biodiesel ao diesel fóssil teve início em dezembro de 2004, em caráter autorizativo. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com o perceptível amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) sucessivamente até atingir 5% (B5) em janeiro de 2010, antecipando em três anos a meta estabelecida pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005.

Em junho de 2014 o governo anunciou que a mistura obrigatória de biodiesel ao diesel vendido ao consumidor final será elevada de 5% para 6%, a partir de julho. Já em novembro, o

percentual aumentará para 7%. Para a modelagem, adotou-se para o ano de 2014 a mistura média de 6%, e para os anos seguintes a participação de 7%.

No que se refere aos modais, o transporte ferroviário tem a maior taxa de crescimento anual do consumo de energia, chegando 4,7%. Nos outros meios de transportes, o crescimento não passa de 4,5%, conforme pode ser visto na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12. Consumo de energia no setor de transportes por modal (mil tep), no CPG

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Rodoviário	63.964	86.218	107.828	125.326	141.213
Ferrovário	1.135	1.371	1.687	2.341	2.865
Hidroviário	1.380	1.682	2.105	2.957	3.261
Aéreo	3.241	4.574	5.519	6.708	7.876
TOTAL	69.720	93.845	117.139	137.332	155.215

Fonte: Autores

Segue Tabela 13, que apresenta o consumo de energia por modal e por fonte.

Tabela 13. Consumo de energia por modal e por fontes (mil tep), no CPG

Ano	2010	2020	2030
RODOVIÁRIO	63.963	107.828	141.213
Diesel	30.293	52.884	69.976
Gasolina	17.524	27.048	33.567
Etanol	12.033	21.533	29.487
GNV	1.767	2.535	3.145
Biodiesel	2.347	3.828	5.038
FERROVIÁRIO	1.135	1.687	2.865
Eletricidade	143	223	350
Diesel	992	1.464	2.515
HIDROVIÁRIO	1.380	2.105	3.261
Diesel	414	357	570
Óleo Combustível	966	1.748	2.691
AÉREO	3.241	5.519	7.876
Gasolina de Aviação	53	514	810
Querosene	3.188	5.005	7.066
TOTAL	69.720	117.139	155.215

Fonte: Autores

Por fim, são apresentadas as emissões de CO₂e (em MtCO₂e) relativas ao Cenário de Política Governamental do setor de transportes brasileiro. Tais dados podem ser vistos na Tabela 14.

Tabela 14. Emissões do setor de transportes (MtCO₂e), no CPG

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
TOTAL	175	231	280	344	383

Fonte: Autores

Segue Tabela 15 que apresenta as emissões desagregadas por modal.

Tabela 15. Emissões do setor de transportes por modal (MtCO₂e), no CPG

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Rodoviário	161	212	258	314	348
Ferroviário	3	3	4	6	7
Hidroviário	3	4	5	7	8
Aéreo	8	11	13	17	19
TOTAL	175	231	280	344	383

4. Cenários de Mitigação Adicional

Neste estudo, foram construídos dois cenários de mitigação adicional (MA) às medidas que já estão contempladas no CPG. O Cenário de Mitigação Adicional 1 (MA1) e Cenário de Mitigação 2 (MA2) foram propostos com base nas discussões com o CEC e em estudos anteriores, tais como o *Brazil Low Carbon Study* (DE GOUVELLO, 2010) e o Plano Setorial de Transporte e Mobilidade (PSTM) (Brasil, 2013). O MA1 considera, de forma geral, medidas cujos custos de abatimento sejam inferiores a 20 US\$/tCO₂e. Já o MA2 adota as medidas do MA1, além de outras medidas de mitigação mais ambiciosas, cujos custos de mitigação não ultrapassem 100 US\$/tCO₂e. Os cenários apresentam ainda níveis de atividade diferentes do CPG em função dos dados macroeconômicos derivados do modelo IMACLIM. Por fim, são analisados mais dois cenários que são construídos a partir das simulações do próprio IMACLIM, considerando taxas de carbono de 20 e 100 US\$/tCO₂e e, que implicam níveis de atividades diferentes dos cenários anteriores. Estes cenários denominam-se MA1+T e MA2+T, respectivamente.

4.1. Cenário de Mitigação Adicional 1

Nas reuniões do CEC, foi apresentado um conjunto de medidas propostas em estudos anteriores para que seus membros pudessem avaliar as que ainda seriam relevantes ao presente trabalho. Assim, para o MA1 foram propostas medidas que, não apenas reduzissem as emissões de gases de efeito estufa, mas também proporcionassem melhorias na qualidade do serviço, sobretudo no que diz respeito à mobilidade urbana. As medidas propostas no MA1 foram as seguintes:

- Investimento em BRT
- Expansão das ciclovias
- Otimização de tráfego
- Eficiência energética – veículos leves e pesados
- Expansão da demanda por etanol para 67 bilhões de litros
- Expansão da demanda por biodiesel (B10, em 2020).

4.1.1. Premissas da Modelagem

A primeira medida listada no item anterior foi o BRT, um meio de transporte de passageiros de média capacidade que apresenta um consumo de combustível menor que o dos ônibus convencionais, uma vez que utiliza pistas reservadas que possibilitam desenvolver uma velocidade maior, resultando em um melhor serviço com menos emissões. O BRT também apresenta a vantagem de exigir menor investimento em infraestrutura, quando comparado ao Veículo Leve sobre Trilhos – VLT e metrô. Na modelagem no LEAP, considerou-se um incremento na frota, além daquele considerado no CPG, em 2025 e 2030, de forma a aumentar a demanda de transporte em BRT, expressa em pass.km. A expansão dessa demanda substituiu em grande parte o uso do ônibus convencional, e em menor proporção o aumento do uso de veículos leves e metrô.

No caso da expansão das ciclovias, considerou-se o aumento da interligação de pontos de grande circulação e a integração com meios de transportes coletivos. O investimento em ciclovias é baixo e apresenta grandes benefícios, não somente para redução de emissões de gases de efeito estufa, mas também em termos de melhoria da mobilidade urbana e da saúde da população. Em termos de modelagem, foi considerado um aumento da distância média

percorrida em bicicleta, resultando em um crescimento da demanda que substitui o uso de ônibus, de veículos leves e motos, com base no PSTM.

A otimização do tráfego inclui a administração da demanda de trânsito através de intervenções públicas. As melhorias podem ser verificadas a partir do aumento da velocidade média dos veículos na cidade. As principais medidas são: gerenciamento e mobilidade nos sistemas viários (novos traçados, sinalização inteligente, etc), visando minimizar o congestionamento; políticas e medidas de restrição ao uso de automóveis particulares (por exemplo, limitação de acesso viário e estacionamento em áreas centrais); integração modal (tarifária e logística) e integração de políticas de uso do solo e transporte (redução do número e da distância das viagens). A medida estimula o uso mais intenso do transporte público, o que reduz congestionamentos de trânsito e aumenta a viabilidade de transporte não motorizado.

Entretanto, para que essas estratégias sejam bem-sucedidas em longo prazo, é necessário que existam estruturas institucionais, financeiras e regulatórias apropriadas, bem como políticas de marketing e campanhas públicas. Para modelar a otimização do tráfego no LEAP, considerou-se uma redução no uso de veículos leves e um aumento do transporte coletivo de um modo geral, com base nos resultados do *Brazil Low Carbon Study* (De Gouvello, 2010).

Para o caso da eficiência energética de veículos leves, consideraram-se duas variações da meta europeia de eficiência energética, sendo cada uma aplicada a um dos cenários de mitigação adicionais. Neste primeiro caso, (MA1), aqui chamado de Eficiência Energética – Leves – UE1, adotou-se a meta europeia de eficiência energética, com defasagem de cinco anos, iniciando-se em 2026. A meta da União Europeia é de 1,22 MJ/km (95 gCO₂/km), convertidos do ciclo europeu NEDC para o ciclo de condução combinado descrito na Norma ABNT NBR 7024:2010 em 2021 (Greenpeace & CentroClima, 2014). Convém ressaltar que no CPG já é considerado o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto), que consiste em uma medida adotada pelo Governo Federal com o objetivo de estimular o investimento na indústria automobilística nacional. Assim, para o caso EE – Leves - UE1, tem-se o Inovar-Auto até 2017, seguindo-se que a eficiência energética cresce linearmente para atingir a meta de 1,22 MJ/km, até 2026, medida segundo o ciclo de condução combinado, descrito na Norma ABNT NBR 7024:2010, que é o ciclo de referência do Inovar-Auto. Após esse período, a eficiência energética mantém-se constante.

Para os veículos pesados e fora de estrada, o Inovar-Auto não estabelece exigências de eficiência energética. Nesse sentido, propôs-se uma medida de mitigação relativa à eficiência energética nos veículos pesados. Com o propósito de simular uma melhoria de eficiência energética para tais veículos, utilizou-se o estudo “*Reducing and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles – Lot 1: Strategy* (European Commission, 2011), tendo seu início a partir de 2017. Tal medida proporcionaria um ganho de eficiência de 12% até 2030.

No caso da expansão do uso do etanol, chegando a 67 bilhões de litros, considerou-se que há ainda um grande potencial para expansão da produção de etanol e, por isso, é importante estimular o seu consumo. Para implementar a medida no LEAP, alterou-se a proporção do uso de gasolina e etanol nos veículos *flex-fuel* para 48,5% de gasolina no MA1 (e 34% de gasolina no MA2), em 2030.

Da mesma forma, considerou-se perfeitamente viável a expansão da mistura do biodiesel no diesel para 10% (B10) a partir de 2020. No LEAP, a modelagem é simples, bastando aumentar a proporção entre os dois combustíveis nos caminhões e nos ônibus.

4.1.2. Resultados

Como o crescimento do PIB é maior no MA1 que no CPG há um aumento da frota de veículos, conforme Tabela 16.

Tabela 16. Evolução da frota de veículos (mil veículos), no MA1

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Veículos Leves	28.165	39.681	52.349	61.920	79.839
Carros Comerciais Leves	4.605	6.843	8.695	11.081	11.157
Moto	11.454	20.856	31.452	39.352	49.403
Ônibus	325	421	536	639	756
Caminhões	1.505	2.110	2.812	3.669	4.925

Fonte: Autores

A matriz de transportes de passageiros continua predominantemente rodoviária, dada a prioridade nos investimentos em BRT. Mesmo assim, há uma participação um pouco maior do modal ferroviário de 1,99% no CPG para 1,84% no MA1, como mostra a Figura 10 a seguir.

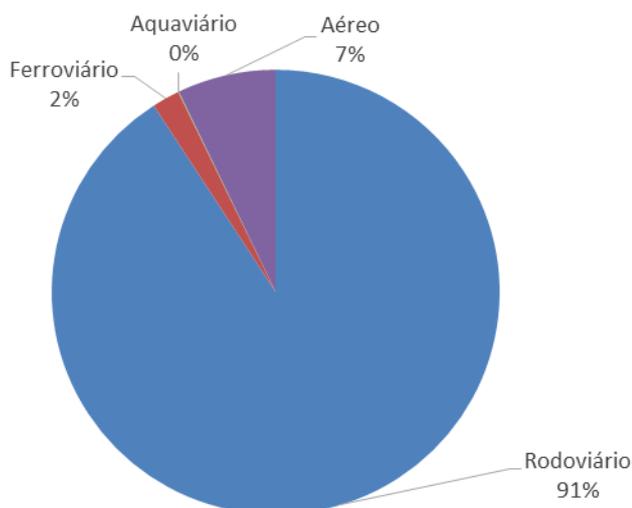


Figura 10. Matriz de transportes de passageiros em 2030, no MA1

No caso de transportes de carga, assim como no CPG, ocorre um pequeno ganho de participação do modal ferroviário, comparado ao rodoviário, similarmente ao que acontece no CPG. O transporte aéreo continua pouco significativo, como mostra a Figura 11 a seguir.

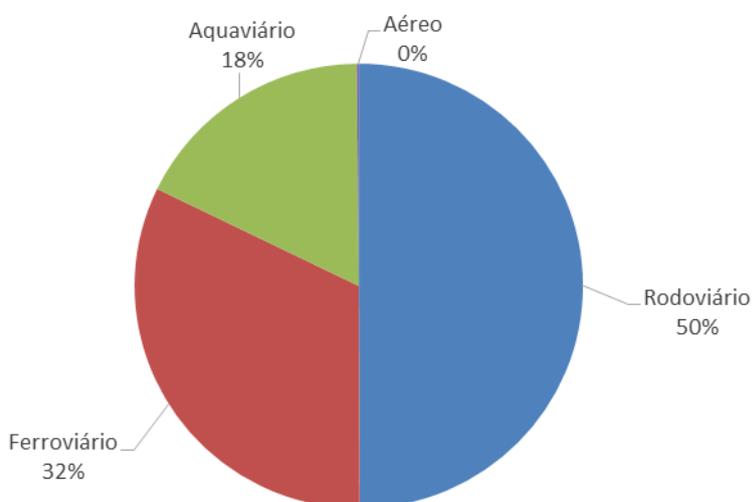


Figura 11. Matriz de transportes de carga em 2030, no MA1

Há uma redução de 18% no consumo de energia em comparação ao CPG, proporcionada pela redução do consumo de energia no transporte rodoviário e pela introdução de medidas de eficiência energética nos motores, como pode ser visto na Tabela 17 a seguir.

Tabela 17. Consumo de energia por modal (mil tep), no MA1

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Rodoviário	63.964	87.156	94.292	103.288	113.732
Ferrovário	1.135	1.397	1.595	2.097	2.645
Hidroviário	1.380	1.693	1.989	2.645	3.002
Aéreo	3.241	4.604	5.216	6.003	7.254
TOTAL	69.720	94.850	103.092	114.033	126.633

Fonte: Autores

A redução do consumo de energia também pode ser vista pelo menor consumo de diesel e de gasolina (ver Tabela 11). Há um aumento do consumo de etanol e biodiesel, devido às medidas consideradas no MA1, como pode ser visto na Tabela 18 a seguir.

Tabela 18. Consumo de energia por fonte (mil tep), no MA1

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Eletricidade	143	201	210	263	328
Gás Natural	1.767	2.074	2.323	2.616	2.283
Gasolina	17.578	22.196	22.501	22.304	20.032
Querosene	3.187	4.163	4.702	5.404	6.514
Diesel	31.699	43.753	44.345	47.734	54.482
Óleo Combustível	966	1.397	1.642	2.186	2.481
Etanol	12.033	17.885	22.634	28.477	34.665
Biodiesel	2.347	3.181	4.735	5.049	5.848
TOTAL	69.720	94.850	103.092	114.033	126.633

Fonte: Autores

Segue Tabela 19 que apresenta o consumo de energia por modal e por fonte.

Tabela 19. Consumo de energia por modal e por fontes (mil tep), no MA1

Ano	2010	2020	2030
RODOVIÁRIO	63.963	94.292	113.732
Diesel	30.293	42.613	51.644
Gasolina	17.524	21.987	19.292
Etanol	12.033	22.634	34.665
GNV	1.767	2.323	2.283
Biodiesel	2.347	4.735	5.848
FERROVIÁRIO	1.135	1.595	2.645
Eletricidade	143	210	328
Diesel	992	1.385	2.317
HIDROVIÁRIO	1.380	1.989	3.002
Diesel	414	347	521
Óleo Combustível	966	1.642	2.481
AÉREO	3.241	5.216	7.254
Gasolina de Aviação	53	514	740
Querosene	3.188	4.702	6.514
TOTAL	69.720	103.092	126.633

Fonte: Autores

Dessa maneira, as emissões de gases de efeito estufa caem de 383 MtCO₂e, no CPG (ver Tabela 13), para 277 MtCO₂, no MA1. A evolução das emissões é apresentada na Tabela 20, a seguir.

Tabela 20. Emissões do setor de transportes (MtCO₂e), no MA1.

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Total MA1	175	230	236	251	277
Total MA1+t	175	228	235	248	275

Fonte: Autores

Segue Tabela 21 que apresenta as emissões do MA1 desagregadas por modal.

Tabela 21. Emissões do setor de transportes por modal (MtCO₂e), no MA1

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Rodoviário	161	211	216	227	249
Ferrovário	3	3	4	5	6
Hidroviário	3	4	5	6	7
Aéreo	8	11	12	13	16
TOTAL	175	230	236	251	277

Fonte: Autores

4.2. Cenário de Mitigação Adicional 2

Conforme mencionado anteriormente, as medidas do MA2 são aquelas com custo de até 100 US\$/tCO₂e, incluindo as do MA1. As medidas propostas, que também resultaram das discussões do CEC, foram as seguintes:

- Expansão adicional da demanda por biodiesel (B15, em 2020)
- Expansão adicional da demanda de etanol para 74 bilhões de litros
- Inserção de ônibus elétrico
- Eficiência energética adicional – veículos leves
- Expansão da malha metroviária e de VLT
- Investimento em hidrovias e ferrovias para transporte de carga

4.2.1. Premissas da Modelagem

No MA2, a medida de expansão adicional do biodiesel foi modelada de forma similar ao MA1, sendo que neste caso também aumenta a participação do B10 em 2020, depois B12,5, a partir de 2025, chegando-se a B15 em 2030.

Destaca-se que a medida não se limita ao transporte de cargas, uma vez que no transporte de passageiros também é utilizado o biodiesel, por exemplo, no ônibus e nos veículos comerciais leves.

No caso da expansão adicional do consumo de etanol para 74 bilhões de litros (a partir dos 67 bilhões de litros do MA1), o modelo considera o aumento da participação do etanol nos carros *flex-fuel*.

Foi simulada a substituição de parte da frota de ônibus de motores a combustão por veículos elétricos a partir de 2020 até atingir 8% em 2030. O investimento seria relativamente baixo, uma vez que não haveria elevados custos de investimentos, dado que a política de financiamento desta medida seria baseada na equivalência entre o gasto mensal com o consumo de diesel e aluguel da própria bateria; portanto, o custo da medida seria muito próximo ao custo da eletricidade. Dessa maneira, o aluguel da bateria funcionaria como uma espécie de “leasing”, de acordo com informações fornecidas pelo CEC. Algumas experiências piloto adotando políticas de financiamento já vêm sendo desenvolvidas no Brasil, como no

caso da Volvo e da BYD. Destaca-se que a viabilização do uso de veículos elétricos se dá justamente em função dessa política, uma vez que os custos com combustível para o sistema convencional de ônibus são elevados e se equiparam ao custo do aluguel de baterias para veículos elétricos.

Para veículos leves, foi considerada uma medida mais ambiciosa de eficiência energética, em que se adota a meta europeia sem nenhuma defasagem, diferentemente do que foi assumido no MA1. Assim, a Eficiência Energética Leves – UE2 seria implantada a partir de 2021.

Nesses cenários foram consideradas ainda medidas de expansão da malha metroviária e dos VLT nos grandes centros urbanos, com base no PSTM. As medidas permitem reduzir principalmente o uso de transporte individual e, em menor escala, o uso de ônibus convencionais.

Melhorar a eficiência do transporte de cargas no Brasil e reduzir suas emissões exigem uma significativa mudança na rede do transporte de cargas. Tanto o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) quanto o Plano Nacional de Mudança Climática (PNMC) enfatizam a necessidade de reduzir o volume de frete transportado por rodovias, substituindo esse modal por outro modal de transporte mais eficiente do ponto de vista da energia. Segundo o PNLT, planeja-se uma transferência gradual da estrada para a ferrovia e para hidrovias interiores e costeiras, além de dutos. As intervenções que visam modificar a rede de transporte devem ser guiadas pelas necessidades e exigências dos mercados nacional, regional e internacional. Adicionalmente, o Plano Nacional de Logística Integrada, lançado em agosto de 2012, também coaduna com essas necessidades e exigências, ao implementar projetos que buscam reduzir os custos logísticos referentes à movimentação de cargas nos próximos 30 anos e ampliar a integração entre rodovias, ferrovias, hidrovias, portos e aeroportos.

Nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, a demanda por transportes gira predominantemente em torno de commodities agrícolas e minerais, que já possuem suas próprias soluções logísticas e que enfrentam severa concorrência de outros modais. Assim sendo, o potencial existente nessas regiões para o estabelecimento de novas hidrovias e ferrovias parece ser mais limitado. No caso do transporte aquaviário, os investimentos desta medida incluem a dragagem e a construção de terminais, medidas também destacadas no Plano Hidroviário Estratégico do setor, cujo horizonte de implementação será até 2031. As medidas têm um potencial de reduzir 13% dos volumes transportados por caminhão durante o período do estudo que seriam transferidos para trens de carga, navios e dutos. No caso do

transporte aquaviário, os investimentos incluem a dragagem e a construção de terminais. Para harmonizar as metas de transporte de carga no MA2, os investimentos no transporte ferroviário requerem melhor integração dos operadores das ferrovias e das autoridades reguladoras responsáveis pela operação dos serviços, bem como melhores parcerias operacionais entre as concessionárias. A conservação da rede ferroviária existente, bem como a sua expansão e o desenvolvimento de interfaces com as estradas, são aspectos fundamentais para facilitar a transferência do transporte de cargas das rodovias para as ferrovias.

4.2.2. Resultados

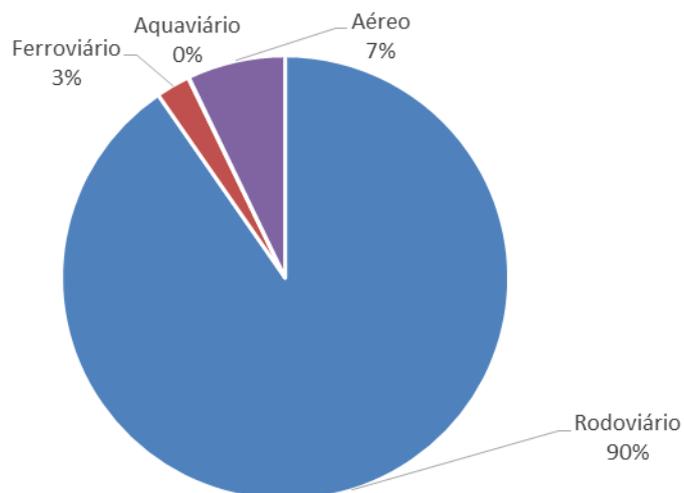
Uma vez que o crescimento do PIB é maior no MA2 que no CPG e no MA1, a frota de veículos é maior que nos outros dois cenários, como mostra a Tabela 22.

Tabela 22. Evolução da frota de veículos (mil veículos), no MA2

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Veículos Leves	28.165	40.102	53.047	62.865	81.175
Carros Comerciais Leves	4.605	6.915	8.811	11.251	11.343
Moto	11.454	21.078	31.871	39.953	50.230
Ônibus	325	425	543	649	768
Caminhões	1.505	2.133	2.850	3.725	5.008

Fonte: Autores

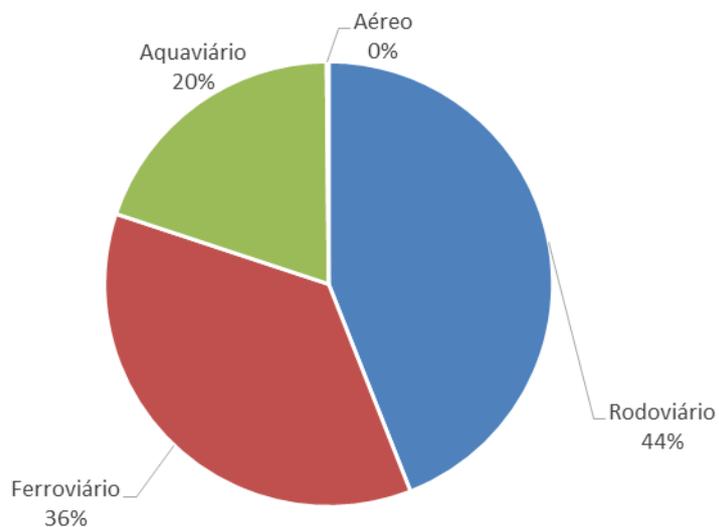
A matriz de transportes de passageiros também é predominantemente rodoviária, com uma participação maior dos modais ferroviário e aéreo que no MA1, conforme demonstra a Figura 12.



Fonte: Autores

Figura 12. Matriz de transportes de passageiros em 2030, no MA2

No caso de transportes de carga, há um ganho de participação do modal ferroviário e aquaviário maior que o MA1, em detrimento do rodoviário. O transporte aéreo é também pouco significativo, como mostra a Figura 13.



Fonte: Autores

Figura 13. Matriz de transportes de carga em 2030, no MA2

Neste cenário, há uma redução de 32% no consumo de energia. Assim como no MA1, ocorre uma redução geral no consumo energético, resultante da redução no uso do modal rodoviário e medidas mais ambiciosas de eficiência energética, conforme Tabela 23.

Tabela 23. Consumo de energia por modal (mil tep), no MA2

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Rodoviário	63.964	85.258	94.185	103.340	93.004
Ferrovário	1.135	1.593	1.833	2.310	2.598
Hidroviário	1.380	1.875	2.104	2.564	2.987
Aéreo	3.241	4.599	5.003	5.825	6.204
TOTAL	69.720	93.325	103.125	114.039	104.793

Fonte: Autores

No MA2, há uma redução ainda maior do consumo de diesel e de gasolina. Conseqüentemente há um aumento maior do consumo de etanol e biodiesel (ver Tabela 18), devido às medidas mais ambiciosas consideradas aqui, como pode ser visto na Tabela 24 a seguir.

Tabela 24. Consumo de energia por fonte (mil tep), no MA2

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Eletricidade	143	219	333	601	745
Gás Natural	1.766	2.064	2.214	2.524	2.377
Gasolina	17.578	21.439	20.455	20.414	12.710
Querosene	3.188	4.160	4.511	5.246	5.575
Diesel	31.699	42.349	40.574	41.441	36.652
Óleo Combustível	966	1.549	1.742	2.130	2.483
Etanol	12.033	18.485	28.957	36.675	38.397
Biodiesel	2.347	3.060	4.339	5.008	5.854
TOTAL	69.720	93.325	103.125	114.039	104.793

Fonte: Autores

Segue Tabela 25 que apresenta o consumo de energia por modal e por fonte.

Tabela 25. Consumo de energia por modal e por fontes (mil tep), no MA2

Ano	2010	2020	2030
RODOVIÁRIO	63.963	94.185	93.004
Diesel	30.293	38.624	33.862
Gasolina	17.524	19.963	12.081
Etanol	12.033	28.957	38.397
GNV	1.767	2.214	2.377
Biodiesel	2.347	4.339	5.854
Eletricidade	0	88	433
FERROVIÁRIO	1.135	1.833	2.598
Eletricidade	143	245	312
Diesel	992	1.588	2.286
HIDROVIÁRIO	1.380	2.104	2.987
Diesel	414	362	504
Óleo Combustível	966	1.742	2.483
AÉREO	3.241	5.003	6.204
Gasolina de Aviação	53	492	629
Querosene	3.188	4.511	5.575
TOTAL	69.720	103.125	104.793

Fonte: Autores.

Assim, as emissões de gases de efeito estufa caem de 277 MtCO₂, no MA1 (ver Tabela 20), para 210 MtCO₂, no MA2. A evolução das emissões é apresentada na Tabela 26, a seguir.

Tabela 26. Emissões do setor de transportes (MtCO₂e) , no MA2

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Total MA2	175	190	202	206	210
Total MA2+t	175	185	198	202	204

Fonte: Autores

Segue Tabela 27 que apresenta as emissões do MA2 desagregadas por modal.

Tabela 27. Emissões do setor de transportes por modal (MtCO₂e), no MA2

Ano	2010	2015	2020	2025	2030
Rodoviário	161	174	184	187	186
Ferrovário	3	3	4	4	5
Hidroviário	3	4	4	5	6
Aéreo	8	9	10	11	12
TOTAL	175	190	202	206	210

Fonte: Autores

5. Análise Comparativa dos Resultados

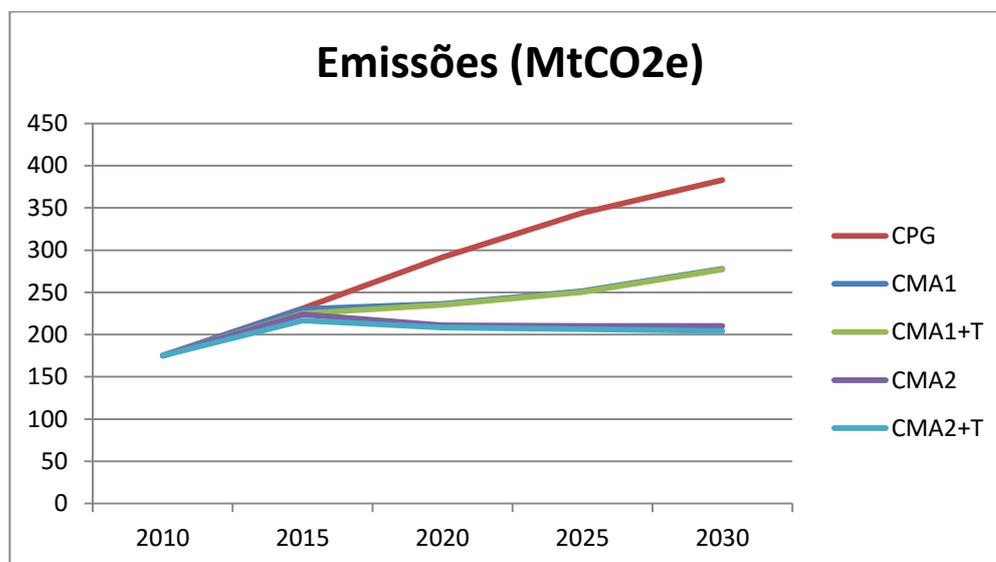
A Tabela 28 a seguir mostra os resultados em termos de consumo de energia por fonte. No CPG, há um aumento de 3,9% ao ano, entre 2010 e 2030. Nos outros cenários, o crescimento é bem menor, 2,9% no MA1 e 1,9% no MA2. Nota-se também um aumento significativo no consumo de biocombustíveis e de energia elétrica, sendo que nos cenários de mitigação adicional os consumos desses energéticos são ainda maiores.

Tabela 28. Consumo de energia nos cenários (mil tep), em 2030

Ano	2010	2030		
	Ano Base	CPG	MA1	MA2
Eletricidade	143	350	328	745
Gás Natural	1.767	3.145	2.283	2.377
Gasolina	17.578	34.377	20.032	12.710
Querosene	3.188	7.066	6.514	5.575
Diesel	31.699	73.062	54.482	36.652
Óleo Combustível	966	2.691	2.481	2.483
Etanol	12.033	29.487	34.665	38.397
Biodiesel	2.347	5.038	5.848	5.854
TOTAL	69.720	155.215	126.633	104.793

Fonte: Autores

Nos cenários de mitigação adicional MA1 e MA2, portanto, a redução de consumo energético fóssil por meio do aumento da participação do etanol e do biodiesel resultou na redução de emissões de GEE. Na Figura 14, a seguir, são apresentadas as emissões de cada cenário. Nota-se que há um potencial significativo de redução de emissões. Comparadas ao CPG, as emissões de GEE nos cenários MA1 e MA2 são 17% e 27% menores, respectivamente. Foram também analisadas as emissões do MA1+T e MA2+T, que são análises de sensibilidade com taxas de carbono. Nesses cenários são utilizadas taxas de crescimento econômico diferentes, mas as medidas de mitigação e as hipóteses são as mesmas. Como se vê no gráfico, os cenários são mais sensíveis às diferentes medidas de mitigação e às hipóteses do que à variação do PIB.



Fonte: Autores

Figura 14. Evolução das emissões entre 2010 e 2030, em todos os cenários (MtCO₂e)

A seguir, apresenta-se na Tabela 29, o total de emissões mitigadas acumuladas por cenário e por cada medida de mitigação.

Tabela 29. Emissões mitigadas acumuladas por medida de mitigação em cada cenário (MtCO₂e)

Cenário	Medida de Mitigação	Emissões Mitigadas Acumuladas
MA1	Biodiesel - 10%	103,34
	Efic. Energ. - Leves - UE1*	115,09
	Efic. Energ. - Pesados*	233,17
	BRT*	42,97
	Otimização do Tráfego*	42,16
	Ciclovias*	41,55
	Etanol - 68	301,26
MA2	Biodiesel - 15%	206,54
	Veículos Elétricos	40,84
	Efic. Energ. - Leves - UE2	134,21
	Integração Ferrovias-Hidrovias	147,16
	VLT	78,49
	Metrô	155,94
	Etanol - 75	278,66

* medidas que também incidem no MA2

Fonte: Autores

6. Conclusão

Os cenários analisados mostram que há um grande potencial de mitigação no setor de transportes. Boa parte desse potencial deriva da redução das ineficiências dos transportes no Brasil com a introdução de medidas de otimização do tráfego e expansão da malha de metrô, VLT, BRT, veículos elétricos e mesmo ciclovias. O potencial de redução acumulada destas medidas entre 2010 e 2030 pode chegar a 126,7 MtCO₂e no MA1 e 549,1 MtCO₂e no MA2.

Há também bastante espaço para o aumento da utilização dos biocombustíveis como etanol e biodiesel. No MA1 foi considerada uma expansão do consumo de etanol em 67 bilhões de litros e uma mistura de 10% de biodiesel no diesel, que permite uma redução acumulada de 404,6 MtCO₂e entre 2010 e 2030. No MA2 a expansão do consumo de etanol foi para 74 bilhões de litros e a mistura do biodiesel 15%, que podem reduzir as emissões acumuladas em 485,2 MtCO₂e no mesmo período.

Entretanto, a expectativa é de que o modal rodoviário continuará predominante na matriz de transportes. Por isso, a introdução de medidas de eficiência energética em motores deve continuar entre as prioridades de políticas energéticas e ambientais. No MA1, as melhorias de eficiência nos motores de veículos leves e pesados permitem uma redução acumulada de 348,3 MtCO₂e entre 2010 e 2030, enquanto no MA2 esta redução pode chegar a 482,5 MtCO₂e, em 2030.

Para introduzir todas estas medidas, seria necessário um investimento médio anual da ordem de R\$ 1,7 bilhões no MA1 e de aproximadamente R\$ 4,3 bilhões no MA2. O Anexo 1 apresenta a curva de custo marginal de abatimento do setor de transportes, que relaciona o custo (US\$) para se reduzir uma tonelada de CO₂e.

Dos resultados deste estudo, pode-se notar que os valores de potencial de emissão evitada são bem maiores do que os considerados nas NAMAs (*Nationally Appropriate Mitigation Actions*), cuja meta de redução de emissões no setor de transportes se limita ao incentivo ao uso de biocombustíveis e não passa de 60 MtCO₂e. Dessa maneira, as medidas propostas podem contribuir bastante para o desenvolvimento das iNDCs (*intended Nationally Determined Contributions*) pelo Brasil.

Referências Bibliográficas

Brasil. Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM). Brasília, 2013.

Centro de Estudos em Logística – CEL. Custos Logísticos na Economia Brasileira. Revista Tecnológica. Jan, 2006.

COPPE. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência – Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis. Rio de Janeiro, 2015.

DE GOUVELLO, C. *Brazil Low-Carbon Country Study – case study*. Washington, DC, 2010.

Economia e Energia, 1999. *Frota de Veículos Diesel no Transporte Rodoviário*. Disponível em: <<http://ecen.com>>, nº 16.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Estudo associado ao Plano Decenal de Energia (PDE 2021): consolidação das bases de dados do setor transporte (1970-2010)*. Nota Técnica SDB-Abast nº. 1/2012, 2012.

_____. Nota Técnica DEA 13/14. Demanda de Energia 2050. Rio de Janeiro. Ago, 2014c.

European Commission. Annual Emission Allocation – AEA: Reduction and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles – Lot 1: Strategy. European Commission, 2011.

_____. Transport in Figures. 2012 (disponível em <http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/doc/2012/pocketbook2012.pdf>)

GOLDEMBERG, José; NIGRO, Francisco E.B.; COELHO, Suani T. *Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas*. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.

GREENPEACE & CENTROCLIMA. Eficiência Energética Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE): estimativas de redução de emissões de GEE até 2030, a partir de cenários de eficiência energética para veículos leves no Brasil. Rio de Janeiro, abril, 2014.

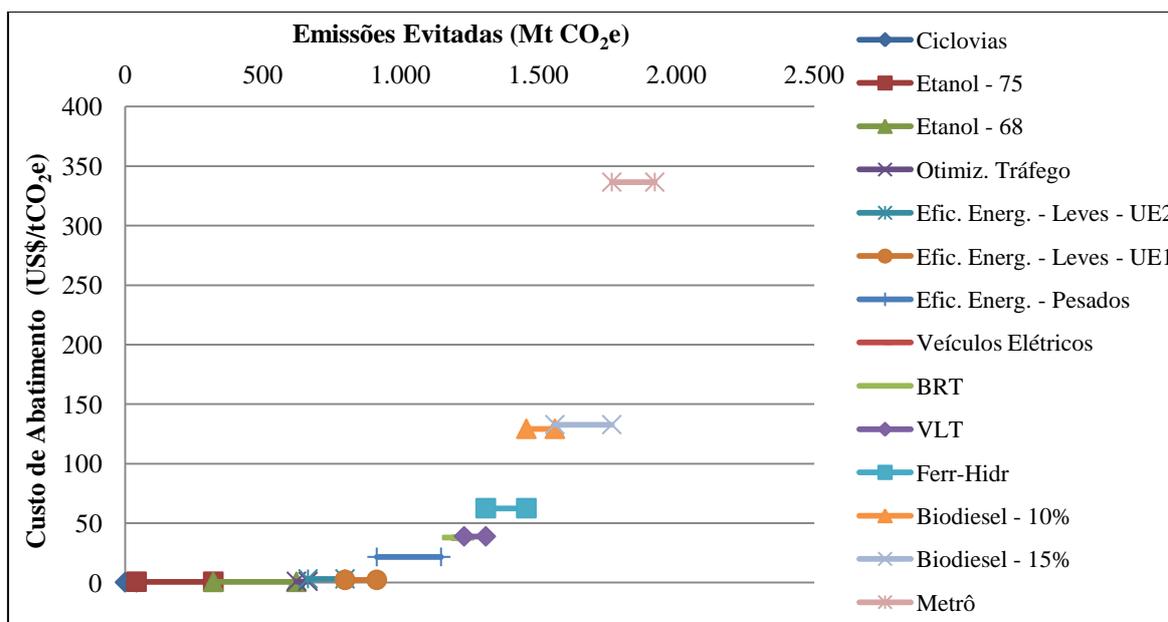
Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. *Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência – Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis*. Brasília, 2010.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*. Relatório Final. Janeiro, 2010.

SWIZER, J. N.; JANNUZZI, G. M.; REDLINGER, R. Y. *Tools and Methods for Integrated Resources Planning: improving energy efficiency and protecting the environment*. UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment. Risø National Laboratory, Denmark, 2007.

Anexo 1 - Curva de Custo Marginal de Abatimento

Segue abaixo a curva de custo marginal de abatimento (MACC) do setor de transportes.



Fonte: Autores

Figura 15. Curva de custo marginal de abatimento (MACC) do setor de transportes