



**Centro Clima**

CENTRO DE ESTUDOS INTEGRADOS SOBRE  
MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050:  
Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano  
Governamental**

**CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ**

**Apoio:**

**Instituto Clima e Sociedade (ICS)**

**WWF – Brasil**



**PROJETO IES-Brasil – 2050**

**Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e  
Mudanças Climáticas  
(Centro Clima/COPPE/UFRJ)**

**Cenário de Emissão de GEE – 2050  
Setor de Transportes**

**(Demanda de Energia)**

**Relatório Técnico**

**Autores:**

Laboratório de Transporte de Carga (LTC) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – LTC/COPPE/UFRJ

Coordenação: Márcio de Almeida D'Agosto

Equipe: Daniel Neves Schmitz Gonçalves e Luiza Di Beo Oliveira

# **Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental**

## **CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ**

### **COORDENAÇÃO GERAL**

Emilio Lèbre La Rovere

### **COORDENAÇÃO EXECUTIVA**

Carolina Burle Schmidt Dubeux

### **MODELAGEM MACROECONÔMICA**

William Wills (coordenador)

Julien Lefèvre

Carolina Grottera

### **Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)**

Carolina B.S. Dubeux (coordenadora)

Michele Karina Cotta Walter

Ana Maria Rojas Méndez

Isabella da Fonseca Zicarelli

### **Setor Energético**

Amaro Olímpio Pereira Junior  
(coordenador)

Sergio Henrique Ferreira da Cunha

Gabriel Castro

Mariana Weiss de Abreu

### **Setor Industrial**

Amaro Olímpio Pereira Junior  
(coordenador)

Felipe Santos C.B. Santos

Carolina B.S. Dubeux

### **Setor de Resíduos**

Carolina B.S. Dubeux

Angéli Viviani Colling

### **Setor de Transporte**

Márcio de Almeida D'Agosto  
(coordenador)

Daniel Neves Schmitz Gonçalves  
*(Laboratório de Transporte  
de Carga – LTC/COPPE/UFRJ)*

Luiza Di Beo Oliveira

### **Integração dos Modelos Energéticos de Demanda**

Claudio Gesteira

### **Colaboração**

Daniel Oberling

Saulo Machado Loureiro

### **Assistente de Coordenação**

Isabella da Fonseca Zicarelli

### **Apoio**

Carmen Brandão Reis

Elza Ramos



## Sumário

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Metodologia .....</b>	<b>1</b>
2.1. Abordagem qualitativa .....	2
2.2. Abordagem quantitativa .....	3
2.3. Metodologia <i>Top-Down</i> .....	4
2.4. Metodologia <i>Bottom-up</i> .....	11
2.5. Premissas e hipóteses .....	26
2.6. Resultados Obtidos .....	41
2.7. Prospecção Tecnológica para Cenários de Mitigação .....	45
2.8. Avaliação geral do setor .....	69
<b>3. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>71</b>

## Tabelas

<b>Tabela 1.</b>	Fator de emissão de GEE por tipo de combustível.....	11
<b>Tabela 2.</b>	Fatores de emissão de CO <sub>2</sub> por ano-calendário e combustível. ....	20
<b>Tabela 3.</b>	Fatores de emissão de CH <sub>4</sub> por categoria e por combustível para automóveis e veículos leves (g/km). ....	21
<b>Tabela 4.</b>	Fatores de emissão de CH <sub>4</sub> para motores diesel. ....	22
<b>Tabela 5.</b>	Fatores de emissão de N <sub>2</sub> O por categoria para veículos do ciclo Diesel. ....	22
<b>Tabela 6.</b>	Fatores de emissão de N <sub>2</sub> O e CH <sub>4</sub> para veículos movidos a GNV (g/km). ....	23
<b>Tabela 7.</b>	Fatores de emissão de CH <sub>4</sub> para motocicletas (g/km). ....	23
<b>Tabela 8.</b>	Fatores de emissão variáveis de automóveis nos anos (g/km) – gasolina C. ....	23
<b>Tabela 9.</b>	Fatores de emissão variáveis de automóveis nos anos (g/km) – álcool hidratado. ....	24
<b>Tabela 10.</b>	Tabela 10 Fatores de emissão variáveis de automóveis nos anos (g/km) – flex e híbrido – gasolina C. ....	24
<b>Tabela 11.</b>	Fatores de emissão variáveis de automóveis nos anos (g/km) – flex e híbrido – álcool hidratado. ....	24
<b>Tabela 12.</b>	Fatores de emissão variáveis de comerciais leves nos anos (g/km) – gasolina C. ....	24
<b>Tabela 13.</b>	Fatores de emissão variáveis de comerciais leves nos anos (g/km) – álcool hidratado. ....	25
<b>Tabela 14.</b>	Fatores de emissão variáveis de comerciais leves nos anos (g/km) – flex e híbrido – gasolina C. ....	25
<b>Tabela 15.</b>	Fatores de emissão variáveis de comerciais leves nos anos (g/km) – flex e Híbrido – álcool hidratado. ....	25
<b>Tabela 16.</b>	Potencial de melhorias em eficiência energética de todos os modos de transportes. ....	29
<b>Tabela 17.</b>	Divisão modal para o transporte de passageiro. ....	30
<b>Tabela 18.</b>	Tipos e percentuais de veículos rodoviários de passageiros, ano base 2015. ....	33
<b>Tabela 19.</b>	Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de passageiro. ....	34
<b>Tabela 20.</b>	Rendimento e melhoria de eficiência energética dos veículos rodoviários de passageiro (ciclo Otto). ....	35
<b>Tabela 21.</b>	Rendimento energético dos veículos rodoviários de passageiro (GNV). ....	36
<b>Tabela 22.</b>	Rendimento energético dos veículos rodoviários de passageiro (híbrido diesel-elétrico). ....	36
<b>Tabela 23.</b>	Evolução do rendimento energético por modo de transporte, em kJ/pass.km. ....	37
<b>Tabela 24.</b>	Distribuição modal esperada/ajustada em toneladas-quilômetros. ....	38
<b>Tabela 25.</b>	Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de carga. ....	39
<b>Tabela 26.</b>	Rendimento e melhoria de eficiência energética dos veículos rodoviários de carga (ciclo Diesel). ....	39
<b>Tabela 27.</b>	Evolução do rendimento energético por modo de transporte, em kJ/t.km. ....	40
<b>Tabela 28.</b>	Evolução do momento de transporte de passageiro por modo de transporte, em 10 <sup>6</sup> p.km. ....	41
<b>Tabela 29.</b>	Evolução da divisão modal do transporte de passageiro. ....	41
<b>Tabela 30.</b>	Evolução do momento de transporte de carga por modo de transporte, em 10 <sup>6</sup> t.km. ....	41
<b>Tabela 31.</b>	Evolução da divisão modal do transporte de carga. ....	41
<b>Tabela 32.</b>	Evolução da frota rodoviária por tipo de veículo. ....	42
<b>Tabela 33.</b>	Característica da frota rodoviária em 2050 por tipo de veículo e combustível. ....	42
<b>Tabela 34.</b>	Indicadores do transporte rodoviário. ....	42
<b>Tabela 35.</b>	Evolução do consumo de combustível pelo modo Aéreo (10 <sup>3</sup> tep). ....	42
<b>Tabela 36.</b>	Evolução do consumo de combustível pelo modo Aquaviário (10 <sup>3</sup> tep). ....	43
<b>Tabela 37.</b>	Evolução do consumo de combustível pelo modo Dutoviário (10 <sup>3</sup> tep). ....	43
<b>Tabela 38.</b>	Evolução do consumo de combustível pelo modo Ferroviário (10 <sup>3</sup> tep). ....	43
<b>Tabela 39.</b>	Evolução do consumo de combustível pelo modo Rodoviário (10 <sup>3</sup> tep). ....	44
<b>Tabela 40.</b>	Participação por modo do consumo total do setor de transportes. ....	44
<b>Tabela 41.</b>	Evolução da Emissão de GEE referentes ao setor de transportes (Gg). ....	44
<b>Tabela 42.</b>	Tecnologia 1. ....	45
<b>Tabela 43.</b>	Tecnologia 2. ....	46
<b>Tabela 44.</b>	Tecnologia 3. ....	48
<b>Tabela 45.</b>	Tecnologia 4. ....	50
<b>Tabela 46.</b>	Tecnologia 5. ....	51
<b>Tabela 47.</b>	Tecnologia 6. ....	53
<b>Tabela 48.</b>	Tecnologia 7. ....	55

<b>Tabela 49.</b>	Tecnologia 8 .....	58
<b>Tabela 50.</b>	Tecnologia 9 .....	60
<b>Tabela 51.</b>	Tecnologia 10 .....	62
<b>Tabela 52.</b>	Tecnologia 11 .....	64
<b>Tabela 53.</b>	Tecnologia 12 .....	66
<b>Tabela 54.</b>	Tecnologia 13 .....	68

## Figuras

<b>Figura 1.</b>	Procedimento adotada para estimar o consumo de energia e emissões de GEE por meio da metodologia top-down. ....	5
<b>Figura 2.</b>	Figura 2 Procedimento adotado para estimar o consumo de energia e emissões de CO <sub>2</sub> por meio da metodologia <i>bottom-up</i> . ....	13

## Setor de Transportes

### 1. Objetivo

Nesta seção são apresentados a metodologia, premissas, hipóteses adotadas e os resultados do Cenário de Planejamento Governamental (CPG) para o setor de transportes, no que tange às estimativas da evolução de sua atividade (passageiro e carga), do seu consumo de energia e de suas respectivas emissões de gases de efeito estufa (GEE), até o ano de 2050. Posteriormente, serão apresentadas 13 tecnologias que ao serem adotadas podem auxiliar no aumento da eficiência energética e na mitigação da emissão de gases de efeito estufa.

Estas estimativas serviram de *inputs* para o modelo de equilíbrio geral utilizado neste estudo – o IMACLIM-BR. Este modelo representa a estrutura da economia brasileira e seus inúmeros fluxos energéticos, auxiliando na construção de cenários otimizados que permitam analisar os efeitos de políticas de mitigação no crescimento econômico e desenvolvimento social em um dado horizonte de tempo.

Por trabalhar com os fluxos monetários e os fluxos energéticos de uma economia, a estrutura do IMACLIM-BR se assemelha a uma matriz insumo-produto híbrida. Como o IMACLIM-BR e os modelos setoriais necessitam apresentar anos base iguais, optou-se pela utilização do ano base 2005, dado que são referentes a este ano os últimos resultados relativos à matriz insumo-produto brasileira divulgados pelo IBGE.

### 2. Metodologia

Levando em consideração os objetivos deste estudo, optou-se por realizar uma combinação metodológica de pesquisas do tipo exploratória e explicativa, considerada por Freitas e Jabbour (2011) como uma forma robusta de se produzir conhecimento. Esses dois tipos de pesquisa foram escolhidos, tendo em vista que uma pesquisa exploratória pode proporcionar maior familiaridade com o problema e uma pesquisa explicativa busca a identificação de fatores que contribuem para a ocorrência do fenômeno, além de explicar a razão dos acontecimentos (GIL, 2008).

Para analisar os fatos e confrontá-los, sob o ponto de vista teórico e sob o ponto de vista da realidade, necessita-se traçar um modelo conceitual e operativo da pesquisa. Tal modelo refere-se ao planejamento da pesquisa em sua dimensão mais ampla, com ênfase na abordagem da pesquisa, se qualitativa e/ou quantitativa, métodos e procedimentos técnicos de coleta e análise dos dados (GIL, 2008).



Levando em consideração a abordagem da pesquisa, optou-se por realizar uma pesquisa quantitativa, definindo de forma clara as variáveis, para obter uma medição precisa dos componentes do problema abordado e uma pesquisa qualitativa, pois se buscou verificar o fenômeno por meio do estudo do mesmo (Kirk e Miller, 1986).

Quanto aos procedimentos técnicos para coleta de dados, realizou-se uma pesquisa bibliográfica baseada em livros e artigos científicos e uma pesquisa documental, baseada em relatórios e documentos técnicos. Ambas as pesquisas tiveram por objetivo levantar dados históricos e atuais do setor de transportes brasileiro, identificar estudos de projeções de cenários futuros nacionais e internacionais realizados por entidades públicas e/ou privadas, levantar informações sobre eficiência energética para o setor de transporte, identificar possibilidade de mudança de comportamento dos usuários de transporte, dentre outras informações.

Além disso, foi feita uma pesquisa junto a especialistas da área de transporte e energia, com o propósito de ratificar as premissas adotadas neste estudo. O *workshop* foi realizado no dia 07 de junho de 2016, no Hotel Windsor Atlântica, nomeado de “Tecnologias de mitigação de emissões de GEE no Brasil até 2050” e contou com a participação de *stakeholders*. Na seção de transportes, houve uma discussão entre os profissionais com experiência notoriamente reconhecida na área de transporte, mobilidade e energia, com trabalhos já publicados sobre a temática tratada neste estudo.

Quanto aos procedimentos técnicos para análise dos dados levantados nos livros, artigos científicos, relatórios e documentos técnicos, utilizaram-se ferramentas matemáticas para estabelecer a relação entre as variáveis consideradas na construção dos cenários. Os resultados obtidos foram comparados entre si a fim de verificar a necessidade de ajuste ou calibração.

É importante ressaltar que em função do amplo horizonte de projeção (35 anos) e por conta da grande quantidade de variáveis do modelo, os resultados refletem as premissas escolhidas para a sua obtenção, premissas estas que podem sofrer mudança em função de situações imponderáveis que acabarão ocorrendo no futuro, fazendo-se necessária a revisão periódica deste trabalho.

## **2.1. Abordagem qualitativa**

Para a abordagem qualitativa, utilizou-se o método ASIF, que foi introduzido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*) em seu primeiro relatório em 1991 e considera 4 linhas de atuação para reduzir o consumo de energia fóssil nos transportes e, conseqüentemente, a emissão de GEE, além da emissão de poluentes atmosféricos, promovendo benefícios ambientais e benefícios sociais indiretos. Estas

linhas de atuação são: redução da atividade de transporte (A - “*activity*”), oferta de infraestrutura (S - “*structure*”), diminuição da intensidade energética (I - “*intensity*”) e escolha de fontes de energia de baixo teor de carbono (F - “*fuel*”) (Schipper *et al.*, 2000).

As linhas de atuação que consistem na redução da atividade de transporte e na oferta de infraestrutura podem estar relacionadas à mudança no comportamento da população quanto à escolha por modos de transporte. Já as linhas de atuação que consistem na diminuição da intensidade energética e na escolha de fontes de energia de baixo teor de carbono dependem de forma mais direta da utilização de tecnologia.

O método ASIF é coerente com as medidas voltadas para desenvolver sistemas de transportes mais eficientes e sustentáveis no futuro apresentadas, por exemplo, no Capítulo 12 do Relatório *Energy Revolution* do Greenpeace (Greenpeace International *et al.*, 2015), no estudo desenvolvido pelo *The International Council on Clean Transportation* (ICCT) (Façanha *et al.*, 2012) e no estudo da EPE (2016a) sobre demanda de energia para 2050.

## 2.2. Abordagem quantitativa

Tendo em vista que as projeções de consumo de energia e emissões de GEE variam em função das projeções do momento de transporte (em t.km ou pass.km), a abordagem quantitativa deste estudo baseou-se em projeções relacionadas ao PIB (produto interno bruto) para o transporte de carga e do PIB *per capita* para o transporte de passageiro (Façanha *et al.*, 2012; EPE, 2016a; Vanek *et al.*; 2014).

Entende-se por momento de transporte um indicador de passageiro-quilômetro (pass.km) transportado, no caso do transporte de passageiro e tonelada-quilômetro (t.km) transportada, no caso do transporte de carga. Passageiro-quilômetro é uma unidade que apresenta o trabalho relativo ao deslocamento de um passageiro a uma distância de um quilometro. Da mesma forma, tonelada-quilômetro é uma unidade que apresenta o trabalho relativo ao deslocamento de uma tonelada a uma distância de um quilometro (EPE, 2012).

Inicialmente, para o transporte de passageiro, seriam utilizadas projeções relacionadas ao crescimento da população. No entanto, a prática adotada na literatura especializada pesquisada e a análise de sensibilidade realizada, apontaram a alternativa de estimar o momento de transporte para o transporte de passageiro por meio do PIB *per capita* (relação entre PIB e população). Dessa forma, optou-se por estimar o momento de transporte para o transporte de passageiro pelo PIB *per capita*, considerando que os deslocamentos de passageiros não estão relacionados apenas a quantidade de pessoas, mas também possuem relação com o poder aquisitivo delas.

Em função da disponibilidade de dados úteis e a menor complexidade em relação aos tipos de veículos, eficiências energéticas e curva de sucateamento, optou-se por utilizar a metodologia *top-down* de forma isolada para estimar o consumo de energia e emissão de GEE para os modos de transporte ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo.

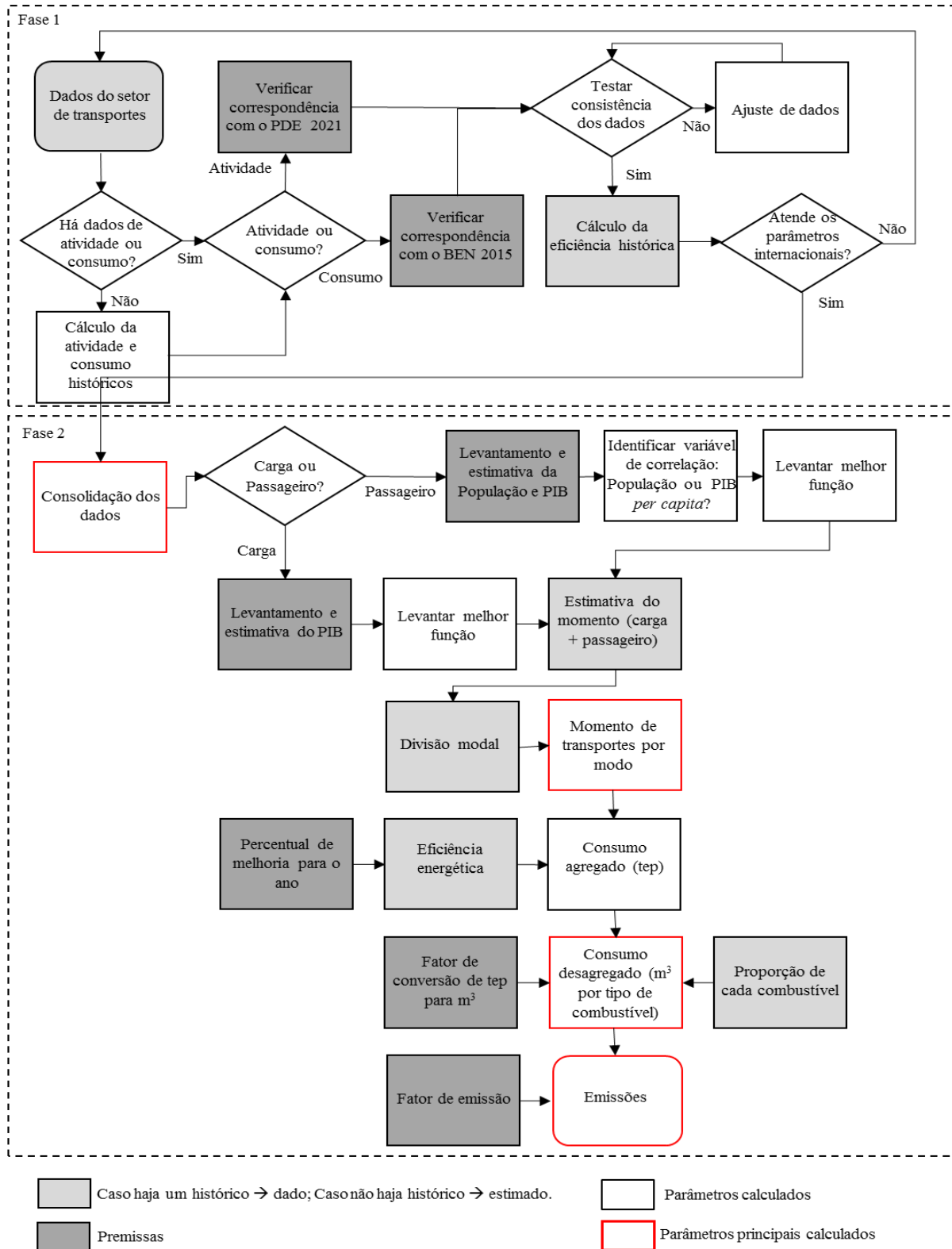
As metodologias, *top-down* e *bottom-up*, foram utilizadas de forma conjunta no caso do modo rodoviário. Os resultados da aplicação da metodologia *top-down* foram utilizados para ajustar a evolução do momento de transporte e do consumo de energia.

### **2.3. Metodologia *Top-Down***

O procedimento metodológico *top-down* tem por característica quantificar e identificar o consumo de energia e as emissões de GEE de forma agregada, permitindo apenas uma visão generalizada do uso de cada fonte. Assim, o cálculo das emissões é realizado como base em cinco conjuntos principais de dados para cada modo de transporte: (1) o momento de transporte; (2) divisão modal; (3) a eficiência energética; (4) divisão por tipo de combustível e (5) o fator de emissão para cada tipo de GEE e combustível.

Optou-se por adotar esta metodologia para os modos ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo, para os transportes de carga e passageiro, por apresentarem menor diversidade de tipos de fontes de energia e dada a limitação de fontes de informação consistentes e confiáveis sobre sua intensidade de uso, frota circulante e rendimento energético. Neste caso, seguiram-se os procedimentos e as premissas do Estudo Associado ao Plano Decenal de Energia, PDE 2021, Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte, 1970-2010 (EPE, 2012), onde o consumo de energia foi levantado com base nos relatórios do Balanço Energético Nacional (EPE, 2016) publicado anualmente pelo Ministério de Minas e Energia e o momento de transporte obtido de diferentes fontes de informação e consolidado. Além disso, adotou-se esta metodologia, também para o modo rodoviário, para calibração dos resultados alcançados pela aplicação da metodologia *bottom-up*.

O procedimento usado para estimar o consumo de energia e emissões de GEE por meio da metodologia *top-down* está sintetizado na Figura 1.



**Figura 1.** Procedimento adotada para estimar o consumo de energia e emissões de GEE por meio da metodologia top-down

Fonte: Elaboração própria

### 2.3.1. Coleta de dados

Inicialmente, levantaram-se os dados considerados como indispensáveis para aplicação da metodologia *top-down*. Os dados consistem em valores históricos por modo e tipo de atividade, sendo eles: (1) movimentação, (2) quilometragem percorrida, (3) percentual de quilometragem útil, (4) eficiência energética, (5) consumo energético por tipo de combustível, (6) perspectivas futuras de investimento, melhorias e entrada de novas tecnologias.

Após a obtenção dos dados em anuários do setor, inventários de emissão e/ou diretamente com as concessionárias, foram calculados o momento de transporte e seu respectivo consumo.

### 2.3.2. Análise de consistência dos dados

Após calcular o momento de transporte e seu respectivo consumo, verificou-se se a atividade de transporte corresponde à apresentada no PDE 2021 e se seu respectivo consumo corresponde ao apresentado no Balanço Energético Nacional.

Em casos onde a diferença encontrada foi superior a 5%, os valores foram ajustados; em alguns casos onde este ajuste não foi possível, uma nova coleta de dados foi realizada.

### 2.3.3. Cálculo da eficiência energética

Após a verificação e ajustes, a eficiência energética foi calculada por meio da equação 1. Em seguida a mesma foi comparada com as eficiências encontradas na literatura (nacional e internacional), sendo esta, uma segunda verificação da confiabilidade dos dados históricos, uma vez que estes são os principais *inputs* do modelo.

$$Efe_{ma} = \frac{Ce_{ma}}{Mt_{ma}} \quad (1)$$

Em que,

$Efe_{ma}$  é a eficiência energética para o modo de transporte ( $m$ ) e o ano ( $a$ );

$Ce_{ma}$  é o consumo de energia em Joule para o modo de transporte ( $m$ ) e o ano ( $a$ );

$Mt_{ma}$  é o momento de transporte por modo e ano;

Em casos onde a eficiência obtida não se enquadrava entre os valores mínimos e máximos levantados na literatura, uma nova coleta de dados foi realizada.

#### 2.3.4. Consolidação dos dados

Finalizada a Fase 1 para todos os modos e tipos de atividade, estes foram consolidados por tipo de atividade (passageiro e carga) e então foi avaliada a divisão modal ao longo dos anos por meio da equação 2.

$$P_{ma} = \frac{Mt_{ma}}{\sum Mt_{ma}} \quad (2)$$

Em que,

$P_{ma}$  é a participação percentual do modo de transporte ( $m$ ) e o ano ( $a$ ).

#### 2.3.5. Levantamento e estimativas da População e PIB

Após o cálculo da divisão modal de passageiros e de carga, foram levantados os dados históricos de população e PIB, além da estimativa futura dos mesmos, para que fosse calculado o PIB *per capita*.

#### 2.3.6. Ajuste de curvas

Obtidos os dados de PIB, população e PIB per capita, foi realizado o ajuste de curvas com o objetivo de verificar a relação entre a atividade de transporte [t.km ou pass.km] e os dados de PIB, população e PIB per capita. Esta correlação foi avaliada pelo coeficiente de correlação ajustado ( $R^2$ ).

Após identificar as variáveis independentes, realizou-se uma análise de sensibilidade a fim de verificar a função que melhor se ajusta aos dados históricos, no caso do transporte de carga, a função que melhor se ajusta ao histórico foi a exponencial, já para o transporte de passageiros, a linear.

Finalizado as análises de sensibilidade, o momento de transporte agregado de carga e o de passageiro foram estimados pelas Equações 3 e 4, respectivamente.

$$Mtc_{ta} = 699099 \cdot e^{10^{-7} \cdot PIB_{absa}} \quad (3)$$

$$Mtp_{ta} = 28,645 \cdot PIB_{pca} + 1 \cdot 10^8 \quad (4)$$

Em que,

$Mtc_{ta}$  é o momento de transporte de carga total no ano (a);

$Mtp_{ta}$  é o momento de transporte de passageiro total no ano (a);

$PIB_{absa}$  é o PIB absoluto estimado para o ano (a);

$PIB_{pca}$  é o PIB *per capita* estimado para o ano (a).

### 2.3.7. Estimativa da divisão modal

Levantou-se os planos governamentais a longo prazo, a fim de identificar os investimentos em infraestrutura de transporte e seus respectivos impactos na divisão modal.

Uma vez estabelecida a projeção da divisão modal e o valor do momento de transporte total, a projeção do momento de transporte para cada modo foi estabelecida com base nos percentuais de divisão modal estimada.

### 2.3.8. Estimativa de eficiência energética

Uma vez calculada a eficiência energética média histórica até o ano base, identificou-se na literatura o percentual de melhoria anual.

A projeção da eficiência energética foi calculada por meio da Equação 5.

$$PEfe_{ma} = Efe_{ma-1} + tx_{pca} \quad (5)$$

Em que,

$PEfe_{ma}$  é a projeção da eficiência energética, expressa de acordo com o modo de transporte (m) e o ano da projeção (a);

$Efe_{m a-1}$  é a eficiência energética do modo de transporte (m) no ano anterior ao da projeção (a-1);

$tx_{pea}$  é a taxa de melhoria anual da eficiência energética prevista para o ano  $a$ .

Caso não seja identificada a taxa de melhoria de energética anual, e sim a melhoria acumulada de longo prazo, para identificar a taxa de melhoria de eficiência energética anual, utilizou-se a Equação 6.

$$tx_{pe} = \frac{(PEfe_{mf} - Efe_{mab})}{Qt_a} \quad (6)$$

Em que,

$tx_{pe}$  é a taxa de melhoria anual da eficiência energética;

$PEfe_{mf}$  é a previsão de melhoria agregada da eficiência energética para o modo de transporte (m) no ano final;

$Efe_{mab}$  é a eficiência energética para o modo de transporte (m) no ano de base;

$Qt_a$  é a quantidade de anos entre o ano base e o final.

Uma vez realizada a previsão da melhoria da eficiência energética, verificou se os valores obtidos são consistentes com aqueles identificados nas fontes consultadas.

### 2.3.9. Cálculo do consumo de combustível

Para o cálculo do consumo de energia (combustível), foi utilizado como base o momento de transporte, juntamente com a eficiência energética de cada modo de transporte. O consumo de energia para os anos passados foram levantados na fase 1 e utilizados para aperfeiçoar o modelo proposto. Para os anos posteriores, o cálculo foi realizado com base na Equação 7.

$$Ce_{ma} = \frac{Mt_{ma} \times Efe_{ma}}{fc} \quad (7)$$



Em que,

$Ce_{ma}$  é o consumo de energia (em  $10^3$  tep), expressa de acordo com o modo de transporte (m) e o ano (a);

$Mt_{ma}$  é o momento de transporte relativo ao modo de transporte (m) e o ano (a);

$Efe_{ma}$  é a eficiência energética do modo de transporte (m) e do ano (a);

$fc$  é o fator de conversão de kJ para tep.

Após o cálculo do consumo de energia, foi realizada a sua distribuição pelas diferentes fontes de energia (tipos de combustíveis), de acordo com as premissas levantadas na literatura.

Em seguida, realizou-se o cálculo do consumo de combustível, em medida de energia (*Joules*) e em medidas de volume, utilizando para isso os fatores de conversão.

### **2.3.10. Procedimento para o cálculo das emissões**

Neste estudo, foram considerados, além do  $CO_2$ , os gases  $CH_4$  e  $N_2O$ . Os fatores de emissão foram calculados tendo como base os fatores de emissão da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI, 2016).

Para o cálculo das emissões de GEE, multiplicou-se o consumo de cada combustível pelo fator de emissão de cada GEE, apresentado na Tabela 1, conforme Equação 8.

$$E_{mg}^A = \sum_k Vol_{A,k,m} * Fe_{gk} \quad (8)$$

Em que,

$E_{mg}^A$  é a emissão anual em kg para o modo m do GEE g;

$Vol_{A,k,m}$  é o volume anual do combustível (k) calculado para modo (m);

$Fe_{gk}$  é o fator de emissão do GEE g, expresso em kg/l, variando de acordo com o combustível k.

**Tabela 1.** Fator de emissão de GEE por tipo de combustível

Modo	Combustível	Poluente	Fator	Unidade
Aquaviário, Aéreo e Ferroviário	Gasolina A	CO <sub>2</sub>	2,21	kg/l
	Etanol Anidro		1,46	
	Etanol Hidratado		1,53	
	Biodiesel		2,43	
	GNV		2,05	
	Diesel Mineral		2,60	
	Óleo combustível		3,10	
	Diesel marítimo		3,10	
	Querosene de aviação		2,49	
	Gasolina de aviação		2,23	
Aquaviário	Diesel	CH <sub>4</sub>	7,00	kg/TJ
		N <sub>2</sub> O	2,00	
	Óleo combustível	CH <sub>4</sub>	7,00	
		N <sub>2</sub> O	2,00	
Aéreo	Gasolina de Aviação	CH <sub>4</sub>	0,50	
		N <sub>2</sub> O	2,00	
	Querosene	CH <sub>4</sub>	0,50	
		N <sub>2</sub> O	2,00	
Ferroviário	Diesel	CH <sub>4</sub>	4,15	
		N <sub>2</sub> O	28,60	

Fonte: Elaborado própria, com base em MMA (2013) e MCTI (2016)

## 2.4. Metodologia *Bottom-up*

O procedimento metodológico *bottom-up* tem por característica quantificar e identificar o consumo energético de forma desagregada, permitindo assim a gestão individualizada de cada fonte de energia. Portanto, para o cálculo do consumo de energia e das emissões de GEE, faz-se necessário a identificação de quatro principais conjuntos de dados: (1) frota circulante considerando ano, modelo, idade e fonte de energia para cada tipo de veículo; (2) intensidade de uso por tipo de veículo; (3) consumo por tipo de fonte de energia e (4) fator de emissão de cada GEE para cada combustível utilizado.

Optou-se por adotar esta metodologia para o modo rodoviário, seguindo os procedimentos e as premissas adotados no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2013 (MMA, 2013) para calcular a frota circulante, intensidade de uso, consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>. O momento de transporte foi calibrado de acordo com o Estudo Associado ao Plano Decenal de Energia, PDE 2021, Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte, 1970-2010 (EPE, 2014) para anos anteriores a 2011. Para os anos de 2011 a 2050, os resultados foram comparados com os resultados obtidos por meio da metodologia *top-down*.

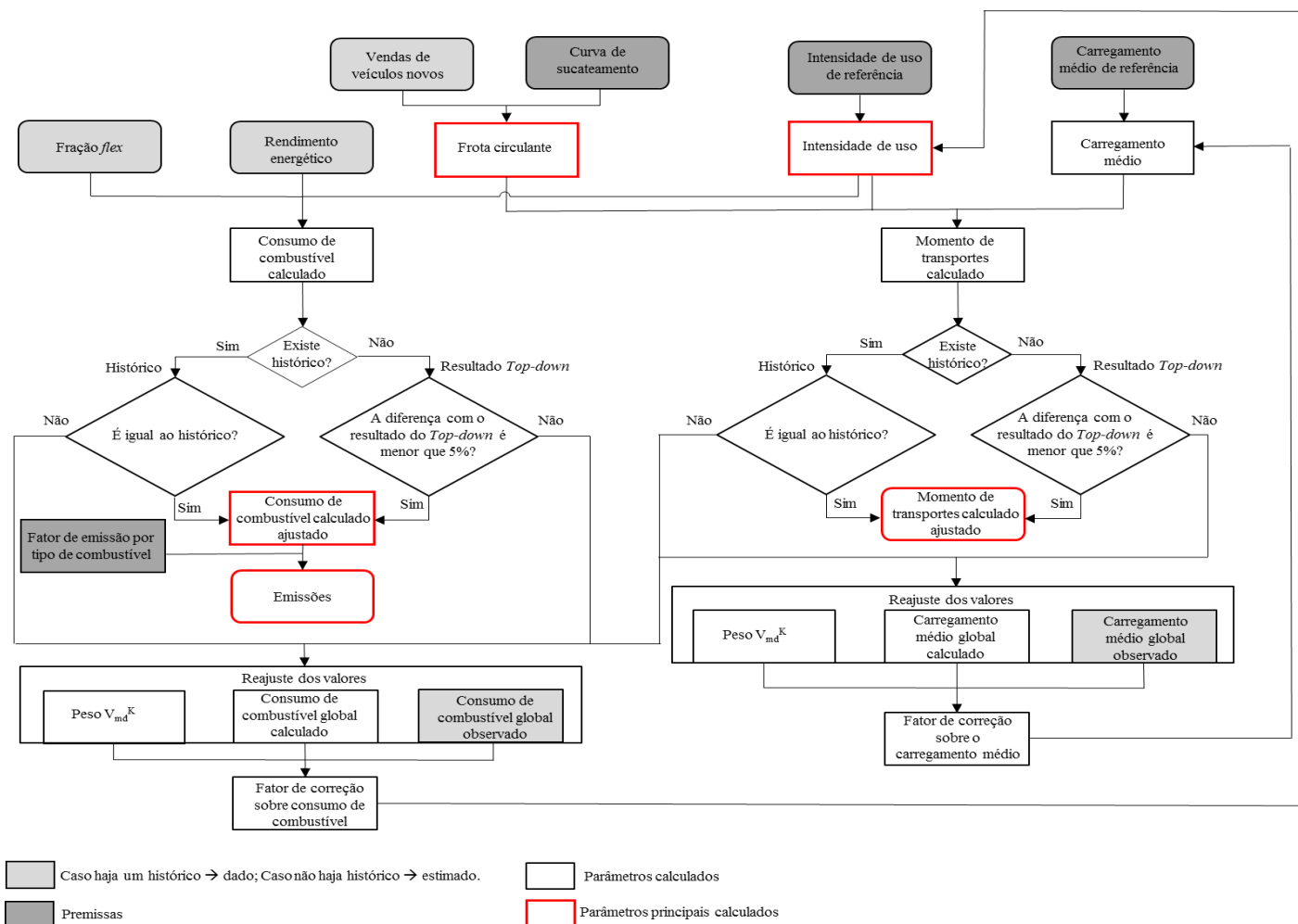
O transporte rodoviário possui maior diversidade de veículos, fontes de energia e complexidade operacional, o que leva a necessidade de maior detalhamento para quantificação do consumo de energia e emissões de GEE. No caso do modo rodoviário de passageiros, verifica-se uma “subdivisão”

composta pelos automóveis, comerciais leves, motocicletas e veículos de transporte público. Muitos destes ainda usam uma diversidade de fontes energéticas, como é o caso dos automóveis em que se pode escolher entre gasolina, etanol, energia elétrica e/ou GNV. Os veículos de transporte público seguem a seguinte divisão: ônibus urbanos, micro-ônibus e ônibus rodoviários.

No caso do transporte de cargas, há também uma divisão de tipos de veículos conforme sua capacidade em: comerciais leves (ciclo Diesel), caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados. Tanto para passageiros como para carga, os veículos de grande porte são movidos a diesel B7, mistura que contém 7% em volume de biodiesel e 93% em volume de óleo diesel de petróleo.

Para o caso do transporte rodoviário, a quantificação da energia consumida e emissões de GEE é uma atividade intensiva em dados e, em uma situação ideal, os dados da frota, intensidade de uso e fatores de emissão deveriam ser observados/medidos em campo. Porém, a experiência mencionada pela equipe que elaborou o Segundo Inventário Nacional de Emissões de Veículos Automotores 2013 (MMA, 2013), mostra que esta situação ideal é impraticável, em função das limitações de recursos materiais, humanos e tempo, sendo usual e aceitável que se estime estes dados por meio de algum procedimento. O procedimento usado para estimar o consumo de energia e emissões de GEE que utiliza a abordagem está sintetizado na Figura 2.

Assim, de posse dos valores de energia consumida por tipo de combustível (em volume), procede-se o cálculo das emissões de GEE, multiplicando-se a quantidade de cada combustível pelo fator de emissão referente a cada fonte de energia utilizada.



**Figura 2.** Figura 1 Procedimento adotado para estimar o consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> por meio da metodologia *bottom-up*

Fonte: Elaboração própria

### 2.4.1. Procedimento para cálculo da frota circulante

O cálculo da frota circulante baseou-se na estimativa das vendas e das curvas de sucateamento para os diferentes tipos de veículos. Para o histórico de venda de veículos novos comercializados até o primeiro semestre de 2016, este estudo baseou-se na Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016), Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO, 2016) (motocicletas) e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Vaz et al.; (2015) (automóveis híbridos e elétricos).

A estimativa de vendas futuras baseou-se no histórico de vendas dos veículos novos, na estimativa do PIB e em estudos do setor. A curva de sucateamento foi obtida a partir do Relatório de Referência de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis, do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT 2010) e do Estudo da Frota Circulante Brasileira, SINDIPEÇAS (2009), conforme a Equação 9.

$$Fr_{a,V_{md},k} = V_{mda} \times (1 - S_{a,V_{md},k}) \quad (9)$$

Em que,

$Fr_{a,V_{md},k}$  é frota circulante estimada, expressa em números de veículos, para o ano (a) referente ao veículo ( $V_{md}$ ) e combustível (k);

$V_{md}, k$  são os veículos do tipo (V) e ano modelo (md) e combustível (k);

$S_{a,V_{md},k}$  é a fração de veículos  $V_{md}$  (ano-modelo), já sucateados e que, portanto, não circulam no ano (a);

Sendo  $S_{a,V_{md},k}$ ,

$S_{a,V_{md},k} = \exp(-\exp(\alpha + \beta(a)))$ , para automóveis e veículos comerciais leves do Ciclo Otto, e

$S_{A,V_{md},k} = \frac{1}{(1 + \exp(\alpha(a - a_0)))} + \frac{1}{(1 + \exp(\alpha(a + a_0)))}$ , para comerciais leves do ciclo diesel, ônibus e caminhões;

Em que,

$a$  é a idade do veículo em anos;

$\alpha = 1,798$  para automóveis;  $\alpha = 0,17$  para veículos comerciais leves do ciclo Diesel;  $\alpha = 1,618$  para os demais veículos comerciais leves;  $\alpha = 0,10$  para caminhões,  $\alpha = 0,16$  para ônibus;

$\beta = -0,137$  para automóveis;  $\beta = -0,141$  para veículos comerciais leves (exceto os do ciclo Diesel);

$\alpha_0 = 15,3$  para veículos comerciais leves do ciclo Diesel,  $\alpha_0 = 17$  para caminhões e  $\alpha_0 = 19,1$  para ônibus.

As curvas adotadas para os automóveis e comerciais leves (exceto os do ciclo Diesel) são as utilizadas pelo Serviço de Planejamento da PETROBRAS, calibradas pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) (MME, 2013, *apud* PNAD, 1988). A função de sucateamento resultante é uma função *Gompertz* (MMA, 2013).

Para os veículos do tipo comercial leve do ciclo Diesel, ônibus e caminhões, as curvas de sucateamento (função Logística) foram calibradas a partir de dados de idade média e de frota total de 1997 fornecidos pelo DENATRAN (MMA, 2013).

Para motocicletas, adotou-se a curva de sucateamento utilizada pelo SINDIPEÇAS (2009), no Estudo da Frota Circulante Brasileira, no primeiro e no segundo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011 e MMA, 2013), cujas taxas anuais de sucateamento para motocicletas de até 200 cc são: 4% nos primeiros cinco anos; 5% do 6º ao 10º ano; 6% do 11º ao 15º ano e 8% do 16º ano em diante.

#### **2.4.2. Procedimento para cálculo da intensidade de uso**

Para o cálculo da intensidade de uso, considerou-se, primeiramente, uma intensidade de uso de referência, que foi baseada no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2013 MMA (2013). Caso o consumo de combustível calculado por meio da intensidade de uso estimada não esteja de acordo com o observado por meio do histórico (até o ano base) ou o estimado por meio da metodologia *top-down*, a intensidade de uso deverá ser calibrada. Um coeficiente de ajuste da intensidade de uso para cada combustível  $k$  será calculado conforme a Equação 10. Calculado este coeficiente, obtém-se a intensidade de uso ajustada por meio da Equação 11.

$$\alpha_{k,A} = \frac{Vol_{k,a}^{observado}}{Vol_{k,a}^{calculado}} \quad (10)$$

Em que,

$\alpha_{k,A}$  é o coeficiente de ajuste da intensidade de uso;

$Vol_{k,a}^{observado}$  é o consumo do combustível k observado no EPE (2016) para as séries históricas do ano A. Já para as estimativas, o consumo do combustível k observado na estimativa *top-down* para o ano a;

$Vol_{k,a}^{calculado}$  é o consumo do combustível k calculado para o ano A.

Logo:

$$Iu'_{a,V_{md},k} = Iu_{a,V_{md},k} \times (\alpha_{k,a} \pm p_{md}^k) \quad (11)$$

Em que,

$Iu'_{a,V_{md},k}$  é a intensidade de uso ajustada no ano (a) para o veículo ( $V_{md}$ ) que usa o combustível (k);

$Iu_{a,V_{md},k}$  é a intensidade de uso de referência no ano (a) para o veículo ( $V_{md}$ ) que usa o combustível (k);

$p_{md}^k$  é o peso determinado para o veículo ( $V_{md}$ ) que usa o combustível ( $k^1$ ).

Caso o momento de transporte não esteja de acordo com o observado por meio do histórico (até o ano base) ou o estimado por meio da metodologia *top-down*, a intensidade de uso deverá ser calibrada novamente, porém, sem que o consumo ultrapasse a diferença de 5% do observado/estimado.

---

<sup>1</sup> O peso deverá ser determinado com base nas características dos veículos e da operação atual e tendencial dos mesmos. A partir da definição de tais características, realiza-se testes com a finalidade de verificar o peso adequado para cada tipo de veículo, de forma a calibrar o modelo.

### 2.4.3. Procedimento para cálculo do consumo de combustível

O consumo de combustível é calculado com base no rendimento energético, na frota circulante, na intensidade de uso e na fração *flex* (percentual de veículos *flexible-fuel*) que utiliza cada tipo de combustível (gasolina e etanol).

Para o cálculo do consumo de combustível proveniente dos veículos automotores, utilizou-se a Equação 12.

$$Vol_{k,A}^{calculado} = \sum_{V_{md}} Fr_{A,V_{md},k} \cdot \frac{Iu_{A,V_{md},k}}{Ren_{A,V_{md},k}} \quad (12)$$

Em que,

$Ren_{A,V_{md},k}$  é o rendimento dos veículos ( $V_{md}$ ) no ano (a) que usam o combustível (k);

$Vol_{A,k}$  é o volume combustível (k) calculado para o ano (a).

Após realizar o ajuste da intensidade de uso, conforme a Equação 11, tem-se a expressão para determinar o volume consumido na Equação 13.

$$Vol'_{k,a} = \sum_{V_{md,a}} Fr_{a,V_{md},k} \cdot \frac{Iu'_{a,V_{md},k}}{Ren_{a,V_{md},k}} \quad (13)$$

Em que,

$Vol'_{a,k}$  é o volume combustível (k) calculado e calibrado para o ano (a).

### 2.4.4. Procedimento para estimativa do momento de transporte

Tendo sido definida e ajustada a intensidade de uso, determina-se o momento de transporte para o transporte de carga (t.km) e passageiro (pass.km), por meio das equações 15 e 16, respectivamente.

$$M_{calculado}^{a,carga} = \sum_{cam_{tp}} Fr_{a,cam_{tp},k} \cdot Iu'_{a,cam_{tp},k} \cdot Carreg_{a,cam_{tp}}^{médio} \quad (15)$$

$$M_{calculado}^{a,passageiro} = \sum_{V_{pl}} Fr_{a,V_{pl},k} \cdot Iu'_{a,V_{pl},k} \cdot Carreg_{a,V_{pl}}^{médio} \quad (16)$$



Em que,

$cam_{tp}$  são os comerciais leves, caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados;

$Vp_i$  são os veículos para transportes de passageiros (automóveis, comerciais leves, motocicletas e ônibus).

Para que o momento de transporte de carga calculado fosse igual ao estimado com base no PIB Absoluto e que o momento de transporte de passageiro fosse igual ao estimado com base no PIB *per capita*, foram determinados os coeficientes  $\beta_{carga,a}$  e  $\beta_{passageiro,a}$  definidos nas Equações 17 e 18 que serão utilizados para corrigir o carregamento médio utilizado nos cálculos.

Para o caso do momento de transporte de carga calculado ser maior do que o observado (de 1980 a 2010 publicado no PDE 2021) ou estimado pela metodologia *top-down* (de 2016 até 2050), a correção se deu ajustando a taxa de lotação dos caminhões e comerciais leves, de preferência dos de menor capacidade para os de maior capacidade, de modo que o momento calculado fosse igual ao observado. No caso do valor calculado ser menor do que o momento de transporte observado ou estimado, a correção se deu ajustando a taxa de lotação dos veículos de maior capacidade para os de menor capacidade, de modo que o momento calculado fosse igual ao observado.

Já para o caso do momento de transporte de passageiros calculado ser maior do que o observado (de 1980 a 2010 publicado no PDE 2021) ou estimado pela metodologia *top-down* (de 2016 até 2050), a correção se deu ajustando a taxa de ocupação dos ônibus (urbanos, rodoviários e micro) de modo que o momento calculado fosse igual ao observado ou estimado. No caso de a estimativa ser menor do que o momento de transporte observado ou estimado, a correção se deu ajustando a taxa de ocupação dos ônibus (urbanos, rodoviários e micro) e dos automóveis de modo que o momento calculado fosse igual ao observado ou estimado.

Para ambos os casos (carga e passageiros), além do ajuste na lotação média pode ser necessário o ajuste na intensidade de uso, respeitando a calibração do consumo.

$$\beta_{carga,a} = \frac{\text{Momento}_{a,carga}^{\text{observado}}}{\text{Momento}_{a,carga}^{\text{calculado}}} = \frac{\text{Carreg}_{a,cam_{t,a}}^{\text{estimado,carga}}}{\text{Carreg}_{a,cam_{t,a}}^{\text{médio,carga}}} \quad (17)$$

$$\beta_{passageiros,a} = \frac{\text{Momento}_{a,passageiro}^{\text{observado}}}{\text{Momento}_{a,passageiro}^{\text{calculado}}} = \frac{\text{Carreg}_{a,V_{p,a}}^{\text{estimado,passageiro}}}{\text{Carreg}_{a,V_{p,a}}^{\text{médio,passageiro}}} \quad (18)$$

Os carregamentos estimados dos veículos foram definidos de acordo com o comportamento do histórico observado até 2010. Sendo assim, o valor futuro do momento de transporte foi determinado pelas Equações 19 e 20.

$$\text{Momento}_{\text{calculado}}^{A,carga} = \sum_{cam_{tp}} Fr_{a,cam_{tp},k} \cdot Iu'_{a,cam_{tp},k} \cdot \text{Carreg}_{a,cam_{tp}}^{\text{médio}} \cdot (\beta_{carga,a} \pm p_{md}^k) \quad (19)$$

$$\text{Momento}_{\text{calculado}}^{A,passageiro} = \sum_{V_{p1}} Fr_{a,V_{p1},k} \cdot Iu'_{a,V_{p1},k} \cdot \text{Carreg}_{a,V_{p1}}^{\text{estimado,passageiro}} \cdot (\beta_{passageiros,a} \pm p_r) \quad (20)$$

#### 2.4.5. Procedimento para cálculo da emissão de GEE

Neste estudo, foram considerados, além do CO<sub>2</sub>, os gases CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O. Os fatores de emissão do modo rodoviário foram obtidos do Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (CETESB, 2015) e MMA (2013), em que são apresentados por tipo de veículo, ano-modelo e combustível.

O último Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (CETESB, 2015) apresenta os fatores de emissão até 2014. Para o cálculo das emissões de 2015 a 2050, considerou-se constante o fator de emissão de 2014. Também não são apresentados valores para veículos híbridos, considerando para o cálculo, os mesmos valores dos veículos flex.

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, multiplicou-se o consumo de cada combustível de cada veículo pelo fator de emissão de cada ano, apresentado na Tabela 2, conforme Equação 21.

**Tabela 2.** Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> por ano-calendário e combustível

Ano-calendário	Gasolina Automotiva (kg/l)	Etanol Hidratado (kg/l)	Etanol Anidro (kg/l)	Diesel Mineral (kg/l)	Biodiesel (kg/l)	GNV (kg/m <sup>3</sup> )		
1980	2,209	1,457	1,526	2,631	-	-		
1981	2,209			2,646				
1982	2,212			2,656				
1983	2,261			2,649				
1984	2,258			2,647				
1985	2,278			2,665				
1986	2,275			2,686				
1987	2,261			2,680				
1988	2,281			2,671			1,999	
1989	2,266			2,686				
1990	2,261			2,686				
1991-1997	2,261			2,674				
1998	2,243			2,646				
1999	2,232			2,631				
2000	2,220			3,613				
2001-2004	2,212			2,603				
2005-2012	2,212			2,603				2,431

$$E_{vCO_2}^a = \sum_k Vol_{a,k,v} * Fe_{CO_2kva} \quad (21)$$

Em que,

$E_{vCO_2}^a$  é a emissão anual em kg para o veículo (v) de CO<sub>2</sub>;

$Vol_{A,k,v}$  é o volume anual do combustível (k) calculado para veículo (v);

$Fe_{gk}$  é o fator de emissão do CO<sub>2</sub>, expresso em kg/l, variando de acordo com o combustível (k), veículo (v) e ano (a).

A seguir, serão apresentados, nas Tabelas 3 a 15, os fatores de emissão do CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O dentro de cada categoria de veículo e cada tipo de combustível.

**Tabela 3.** Fatores de emissão de CH<sub>4</sub> por categoria e por combustível para automóveis e veículos leves (g/km)

Ano/modelo	Combustível	Fator de emissão
até 1983	Gasolina C	0,45
	Etanol hidratado	0,24
1984-1985	Gasolina C	0,36
	Etanol hidratado	0,24
1986-1987	Gasolina C	0,3
	Etanol hidratado	0,24
1988	Gasolina C	0,26
	Etanol hidratado	0,26
1989	Gasolina C	0,24
	Etanol hidratado	0,24
1990	Gasolina C	0,21
	Etanol hidratado	0,2
1991	Gasolina C	0,2
	Etanol hidratado	0,17
1992	Gasolina C	0,09
	Etanol hidratado	0,09
1993	Gasolina C	0,09
	Etanol hidratado	0,11
1994	Gasolina C	0,15
	Etanol hidratado	0,19
1995	Gasolina C	0,15
	Etanol hidratado	0,19
1996	Gasolina C	0,1
	Etanol hidratado	0,16
1997	Gasolina C	0,05
	Etanol hidratado	0,08
1998	Gasolina C	0,03
	Etanol hidratado	0,05
1999	Gasolina C	0,03
	Etanol hidratado	0,05
2000	Gasolina C	0,03
	Etanol hidratado	0,05
2001	Gasolina C	0,03
	Etanol hidratado	0,04
2002	Gasolina C	0,03
	Etanol hidratado	0,04
2003	Gasolina C	0,03
	Etanol hidratado	0,04
	Flex - Gasolina C	0,01
	Flex - Etanol hidratado	0,04

Ano/modelo	Combustível	Fator de emissão
2004	Gasolina C	0,03
	Etanol hidratado	0,05
	Flex - Gasolina C	0,02
	Flex - Etanol hidratado	0,04
2005	Gasolina C	0,02
	Etanol hidratado	0,05
	Flex - Gasolina C	0,03
	Flex - Etanol hidratado	0,04
2006	Gasolina C	0,02
	Etanol hidratado	0,03
	Flex - Gasolina C	0,02
	Flex - Etanol hidratado	0,03
2007	Gasolina C	0,02
	Flex - Gasolina C	0,02
	Flex - Etanol hidratado	0,03
2008	Gasolina C	0,01
	Flex - Gasolina C	0,02
	Flex - Etanol hidratado	0,01
2009	Gasolina C	0,007
	Flex - Gasolina C	0,006
	Flex - Etanol hidratado	0,026
2010	Gasolina C	0,007
	Flex - Gasolina C	0,009
	Flex - Etanol hidratado	0,05
2011	Gasolina C	0,013
	Flex - Gasolina C	0,008
	Flex - Etanol hidratado	0,042
2012	Gasolina C	0,026
	Flex - Gasolina C	0,014
	Flex - Etanol hidratado	0,028

**Tabela 4.** Fatores de emissão de CH<sub>4</sub> para motores diesel

Categoria	CH <sub>4</sub> (g/km)
Comerciais leves	0,005
Ônibus	0,060
Caminhões	0,060

**Tabela 5.** Fatores de emissão de N<sub>2</sub>O por categoria para veículos do ciclo Diesel

Categoria	N <sub>2</sub> O (g/km)
Comerciais leves	0,02
Ônibus	0,03
Caminhões	0,03

**Tabela 6.** Fatores de emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> para veículos movidos a GNV (g/km)

CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
0,22	0,0313

**Tabela 7.** Fatores de emissão de CH<sub>4</sub> para motocicletas (g/km)

Ano/modelo	Combustível	CH <sub>4</sub>
Até 2002	Gasolina C	0,39
2003	Gasolina C	0,12
2004	Gasolina C	0,13
2005	Gasolina C	0,07
2006	Gasolina C	0,05
2007	Gasolina C	0,05
2008	Gasolina C	0,04
2009	Gasolina C	0,02
	Flex - Gasolina C	0,02
	Flex - Etanol hidratado	0,02
2010	Gasolina C	0,02
	Flex - Gasolina C	0,02
	Flex - Etanol hidratado	0,02
2011	Gasolina C	0,03
	Flex - Gasolina C	0,02
	Flex - Etanol hidratado	0,02
2012	Gasolina C	0,03
	Flex - Gasolina C	0,02
	Flex - Etanol hidratado	0,02

**Tabela 8.** Fatores de emissão variáveis de automóveis nos anos (g/km) – gasolina C

Gás/Ano	Até 1983	1984-1985	1986-1987	1988	1989	1990	1991
CH <sub>4</sub>	0,45	0,36	0,3	0,255	0,240	0,21	0,195
N <sub>2</sub> O	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Gás/Ano	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
CH <sub>4</sub>	0,09	0,09	0,149	0,149	0,1	0,05	0,035
N <sub>2</sub> O	0,004	0,004	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
Gás/Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
CH <sub>4</sub>	0,035	0,032	0,027	0,027	0,027	0,027	0,025
N <sub>2</sub> O	0,022	0,022	0,022	0,022	0,021	0,021	0,021
Gás/Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
CH <sub>4</sub>	0,017	0,017	0,014	0,08	0,07	0,013	0,026
N <sub>2</sub> O	0,021	0,021	0,024	0,024	0,023	0,021	0,021
Gás/Ano	2013		2014-2050				
CH <sub>4</sub>	0,006		0,006				
N <sub>2</sub> O	0,022		0,021				

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2015)

**Tabela 9.** Fatores de emissão variáveis de automóveis nos anos (g/km) – álcool hidratado

Gás/Ano	Até 1983	1984-1985	1986-1987	1988	1989	1990	1991
CH <sub>4</sub>	0,24	0,24	0,24	0,255	0,24	0,195	0,165
N <sub>2</sub> O	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Gás/Ano	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
CH <sub>4</sub>	0,09	0,105	0,186	0,186	0,16	0,08	0,051
N <sub>2</sub> O	0,006	0,006	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
Gás/Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
CH <sub>4</sub>	0,045	0,048	0,040	0,043	0,043	0,045	0,045
N <sub>2</sub> O	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
Gás/Ano	2006						
CH <sub>4</sub>	0,032						
N <sub>2</sub> O	0,017						

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2015)

**Tabela 10.** Tabela 1 Fatores de emissão variáveis de automóveis nos anos (g/km) – flex e híbrido – gasolina C

Gás/Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CH <sub>4</sub>	0,012	0,02	0,027	0,028	0,028	0,024	0,003
N <sub>2</sub> O	0,023	0,022	0,021	0,02	0,021	0,021	0,019
Gás/Ano	2010	2011	2012	2013	2014-2050		
CH <sub>4</sub>	0,009	0,008	0,014	0,006	0,004		
N <sub>2</sub> O	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019		

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2015)

**Tabela 11.** Fatores de emissão variáveis de automóveis nos anos (g/km) – flex e híbrido – álcool hidratado

Gás/Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CH <sub>4</sub>	0,04	0,037	0,037	0,034	0,034	0,031	0,039
N <sub>2</sub> O	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
Gás/Ano	2010	2011	2012	2013	2014-2050		
CH <sub>4</sub>	0,05	0,042	0,028	0,032	0,02		
N <sub>2</sub> O	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017		

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2015)

**Tabela 12.** Fatores de emissão variáveis de comerciais leves nos anos (g/km) – gasolina C

Gás/Ano	Até 1983	1984	1985	1986-1992	1993	1994	1995
CH <sub>4</sub>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
N <sub>2</sub> O	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,022	0,022
Gás/Ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
CH <sub>4</sub>	0,25	0,181	0,03	0,026	0,024	0,031	0,028
N <sub>2</sub> O	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
Gás/Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CH <sub>4</sub>	0,028	0,03	0,003	0,012	0,013	0,057	0,001
N <sub>2</sub> O	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,024	0,028

Gás/Ano	2010	2011	2012	2013	2014-2050
CH <sub>4</sub>	0,007	0,008	0,006	0,004	0,002
N <sub>2</sub> O	0,027	0,024	0,024	0,025	0,022

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2015)

**Tabela 13.** Fatores de emissão variáveis de comerciais leves nos anos (g/km) – álcool hidratado

Gás/Ano	Até 1984	1985-1990	1991	1992	1993	1994	1995
CH <sub>4</sub>	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165
N <sub>2</sub> O	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,017
Gás/Ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
CH <sub>4</sub>	0,165	0,173	0,155	0,156	0,156	0,156	0,059
N <sub>2</sub> O	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
Gás/Ano	2003	2004	2005				
CH <sub>4</sub>	0,059	0,059	0,037				
N <sub>2</sub> O	0,017	0,017	0,017				

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2015)

**Tabela 14.** Fatores de emissão variáveis de comerciais leves nos anos (g/km) – flex e híbrido – gasolina C

Gás/Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CH <sub>4</sub>	0,024	0,024	0,024	0,024	0,045	0,05	0,024
N <sub>2</sub> O	0,023	0,022	0,021	0,020	0,020	0,020	0,028
Gás/Ano	2010	2011	2012	2013	2014-2050		
CH <sub>4</sub>	0,029	0,012	0,009	0,009	0,006		
N <sub>2</sub> O	0,024	0,026	0,026	0,027	0,027		

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2015)

**Tabela 15.** Fatores de emissão variáveis de comerciais leves nos anos (g/km) – flex e Híbrido – álcool hidratado

Gás/Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CH <sub>4</sub>	0,035	0,035	0,035	0,035	0,056	0,056	0,008
N <sub>2</sub> O	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
Gás/Ano	2010	2011	2012	2013	2014-2050		
CH <sub>4</sub>	0,073	0,048	0,049	0,038	0,021		
N <sub>2</sub> O	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017		

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2015)

Para o cálculo das emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, utilizou-se a Equação 22, onde multiplica-se a quilometragem média percorrida de cada veículo e tipo de combustível, pelo seu respectivo fator de emissão, apresentado nas tabelas anteriores, conforme a Equação 8.



$$E_{mg}^a = \sum_i (\overline{Km}_{v,a,k} * Fe_{gva,k}) \quad (22)$$

Em que,

$E_{mg}^a$  é a emissão anual em g para o veículo (v), ano (a) e combustível (k), do GEE (g);

$\overline{Km}_{v,a,k}$  é o volume quilometragem média anual percorrida pelo veículo (v), do ano (a) e combustível (k);

$Fe_{gva,k}$  é o fator de emissão do GEE (g), expresso em g/km, variando de acordo veículo (v), ano (a) e combustível (k).

#### **2.4.6. Procedimento para veículos convertidos para uso de GNV**

A metodologia para estimar as emissões de CO<sub>2</sub> por veículos convertidos para o uso de GNV foi a mesma adotada nos dois últimos Inventários Nacionais de Emissões de Veículos Automotores (MMA, 2011 e MMA, 2013), por meio de metodologia *top down*, onde os fatores de emissão em g<sub>poluente</sub>/m<sup>3</sup><sub>combustível</sub> são aplicados diretamente ao consumo de combustível relatado no Balanço Energético Nacional (EPE, 2016).

Para conversão dos fatores de emissão em g/km para g/m<sup>3</sup>, foi adotado o valor médio de rendimento igual a 12 km/m<sup>3</sup>, também utilizados em MMA (2011) e (2013). No que se refere às emissões de CO<sub>2</sub>, os procedimentos e valores adotados são os mesmos apresentados na seção 2.4.5. deste estudo.

Os veículos considerados como convertidos para GNV foram retirados da frota que pertenciam originalmente e passaram a ser considerados como frota GNV, com o intuito de evitar a dupla contagem.

### **2.5. Premissas e hipóteses**

Neste item serão apresentadas as premissas e hipóteses relacionadas ao transporte de passageiro e carga.

#### **2.5.1. Uso de Energia**

Neste item serão apresentadas as premissas relacionadas ao uso de energia no setor de transportes.

##### **2.5.1.1. Fontes Convencionais**

A seguir apresenta-se a relação das fontes convencionais de energia consideradas.

- Diesel: será considerada para os modos rodoviário, ferroviário e aquaviário (fluvial);
- Gasolina C: será considerada para o modo rodoviário;
- Óleo pesado: será considerada para o modo aquaviário (marítimo de cabotagem);
- Querosene de aviação: será considerado para o modo aéreo;
- Gasolina de aviação: será considerada para o modo aéreo de passageiros.

Vale ressaltar que para o caso do modo ferroviário, devido à inexpressiva representatividade do transporte de passageiros com veículos movidos a diesel, toda energia gasta com este combustível foi alocada no transporte de cargas.

No caso do modo aéreo, toda a gasolina de aviação foi alocada para o transporte de passageiros, visto que esse tipo de combustível é utilizado por aviões de pequeno porte, modelos utilizados para pulverização de lavouras e o transporte especial de passageiros e que não possuem capacidade de transportar uma quantidade relevante de carga. Já o querosene de aviação foi alocado para ambas às modalidades de transporte, como grande parte da frota de aeronaves transporta passageiros e cargas no mesmo voo.

### **2.5.1.2. Fontes Alternativas**

A seguir apresenta-se a relação das fontes alternativas de energia consideradas.

- Gás Natural Veicular (GNV): será considerado para o modo rodoviário em automóveis e veículos comerciais leves adaptados para uso de GNV na forma bicombustível;
- Biodiesel: será considerado para os modos rodoviário, ferroviário e aquaviário (de passageiro), tendo em vista que este biocombustível será considerado em adição ao diesel de petróleo. Considerou-se que a participação do biodiesel no diesel de petróleo (BX) será de B8 (8% biodiesel e 92% diesel de petróleo) em 2017, este percentual será elevado para 9% e 10% a cada 12 meses subsequentes, portanto, em março de 2019 será de B10, em 2030 será de B12 e B15 em 2040. Tal premissa foi adotada com base no discurso da Presidenta Dilma Rousseff (Planalto, 2016), tendo em vista o compromisso do Governo Brasileiro assumido durante a realização da COP 21 (UBRABIO, 2015);
- Etanol anidro: será considerado para o modo rodoviário em adição de até 27% a gasolina na forma de etanol anidro;

- Etanol Hidratado: será considerado para o modo rodoviário, para os automóveis e veículos comerciais leves *flexible fuel* e híbridos.
- Energia elétrica: será considerada para os modos, dutoviário, rodoviário e ferroviário (passageiros).

Para o caso específico do transporte fluvial, que atualmente não possui adicional de biodiesel, como acontece para os demais modos que o utilizam em percentuais misturados ao diesel, considerou-se tal adição, a partir do ano de 2020, em percentuais iguais ao aplicado para os outros modos.

Quanto à escolha do tipo de combustível para os veículos do tipo *flexible fuel* e para os veículos leves híbridos (automóveis e veículos comerciais leves), até o ano de 2012, baseou-se em dados históricos. De 2012 a 2015 a utilização foi estimada com base no custo dos respectivos combustíveis e no balanço energético nacional (EPE, 2016). A partir daí a utilização foi ajustada linearmente até alcançar o percentual de 70% para o etanol hidratado em 2050, com base na INDC da brasileira que visa aumentar o consumo de biocombustíveis na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, aumentando a oferta de etanol inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração).

O percentual de 70% foi calculado com base na evolução do modo rodoviário de passageiros, no deslocamento da previsão do PNMC sobre utilização do etanol em substituição à gasolina e em uma visão conservadora da estimativa declarada na INDC brasileira, da produção de etanol em 2025 e 2030 de 45 e 54 bilhões de litros, respectivamente.

### **2.5.2. Eficiência Energética**

Para determinação da melhoria da eficiência energética desses veículos, optou-se por adotar um referencial teórico para balizar os valores que serão utilizados, para isso utilizou-se o 5º Relatório de Análise do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas Capítulo 8, elaborado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), (Sims, R et al., 2014) e pelo U.S. *Department of Energy*, Vyas et al., (2013). Portanto, foram adotados os valores de referência conforme o nível de eficiência energética estabelecida para cada modo, bem como o ano em que se atinge tal eficiência, conforme ilustrado na Tabela 16.

**Tabela 16.** Potencial de melhorias em eficiência energética de todos os modos de transportes

Modo	Ações	Potencial de melhorias em eficiência energética	
		2030	2050
Aéreo	Melhorias no projeto e construção de aeronaves, como redução de peso, resistência aerodinâmica, introdução de <i>winglets</i> e <i>riblets</i> e aprimoramento no desempenho dos motores.	20% a 40%	23% a 65%
	Melhorias operacionais se tornam possíveis por meio da utilização de sistemas de navegação por satélite, o que reduz o congestionamento e o consumo de combustível.		
Aquaviário	Melhores projetos de navios para redução de peso; motores e sistemas de transmissão eficientes; sistemas de recuperação de calor; sistemas auxiliares para geração de energia e redução da resistência aerodinâmica e hidrodinâmica.	Até 15 % (marítimo)	Até 30% (marítimo)
	Implantar medidas para operação em condições ótimas e controle de velocidade de cruzeiro.		
	Implantação de medidas relacionadas à reforma e aprimoramento da manutenção de embarcações.	Até 5% (navegação interior)	Até 20% (navegação interior)
Ferroviário	Uso de sistemas de propulsão de maior eficiência e de frenagem regenerativa, além de aperfeiçoamentos no motor a diesel.	15% a 17%	30% a 35%
	Melhorias aerodinâmicas e redução do peso das composições.		
	Uso de freios pneumáticos controlados eletronicamente (ECP) e sistema de controle PTC ( <i>positive train control</i> ) podem reduzir os congestionamentos e reduzir o tempo de operação em marcha lenta o que resultaria em um aumento na eficiência energética.		
	Modernização da infraestrutura do sistema ferroviário, com o mesmo intuito do item anterior.		
	Uso de locomotivas híbridas e <i>Genset</i> .		
Rodoviário	Redução do peso dos veículos, redução da resistência aerodinâmica, uso de pneus de baixa resistência ao rolamento e/ou pneus radiais e eletrificação dos acessórios.	15% a 30% (HDV) Até 25% (LDV)	25% a 50% (HDV) Até 50% (LDV) Motos: 10% e 20%
	Melhorias tecnológicas nos motores e uso de tecnologias de recuperação de calor, como: motores com recuperação de energia por turbina acoplada e de ciclo "achatado", uso de ventilador do motor com acionamento intermitente e de válvulas de admissão e descarga do motor com atuação variável (VAV), além de motores turbo alimentados.		
	Uso de sistema de pós-tratamento de gases de descarga com arrefecimento avançado, que proporciona melhor queima do combustível e promove aumento do rendimento energético.		
	Redução das perdas por fricção no sistema de propulsão, uso de transmissão automatizada e aprimoramento no turbo compressor.		
	Melhorias em manutenção e implementação de programas de conservação de veículos.		
	<i>Eco-driving</i> , redução do uso da marcha lenta e uma melhor gestão do tráfego e escolha de rotas.		
	Monitoramento das viagens (com metas e incentivos financeiros aos motoristas), além da implantação de projetos visando a redução do consumo de combustíveis, como o Projeto TransportAR.		
	Uso de veículos híbridos (diesel-elétrico)		

Modo	Ações	Potencial de melhorias em eficiência energética	
		2030	2050
		Até 35% (LDV)	
Dutoviário	Aumento de capacidade e aprimoramento de uso.	Até 7,5%	Até 17,5%

Fonte: Elaboração própria, com base no Relatório de Análise do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - Capítulo 8 (Sims, R *et al.*, 2014), *The International Council on Clean Transportation* (ICCT), Façanha *et al.*, (2012) e Vyas *et al.* (2013).

A partir dos resultados obtidos da aplicação do método *top-down*, identificou-se a melhoria de eficiência alcançada e consumo estimado, fez-se então uma comparação da melhoria de eficiência global com a eficiência energética apresentada nas premissas adotadas para o modo rodoviário. O consumo estimado foi comparado com o consumo obtido pelo procedimento para cálculo do consumo de combustível para o modo rodoviário da metodologia *bottom-up*. A partir das comparações realizadas, do conhecimento técnico da equipe envolvida no estudo e da estimativa apresentada no Estudo de Demanda de Energia 2050 (EPE, 2016), a melhoria de eficiência foi ajustada.

## 2.5.3. Transporte de Passageiros

### 2.5.3.1. Divisão Modal

Para obtenção da divisão modal do transporte de passageiro, adotou-se um crescimento tendencial para os modos de transporte, conforme Tabela 17. Estas premissas aproximam-se da previsão da divisão modal do transporte de passageiro estimada pelo Estudo de Demanda de Energia 2050 (EPE, 2016).

**Tabela 17.** Divisão modal para o transporte de passageiro

Ano	Aéreo	Aquaviário	Ferrovário	Rodoviário
2015	6,63%	0,05%	1,82%	91,50%
2020	6,64%	0,06%	2,06%	91,23%
2030	7,95%	0,08%	2,37%	89,60%
2040	9,00%	0,09%	2,61%	88,30%
2050	9,10%	0,10%	2,84%	87,96%

Fonte: Elaboração própria

Com base no estudo realizado por *The International Council on Clean Transportation* (ICCT), (Façanha *et al.*, 2012) e no *Workshop* Tecnologias de Mitigação de Emissões de GEE no Brasil até 2050, para projeções da divisão modal até 2050, adotou-se as seguintes premissas:

- (1) Pequena migração de momento de transporte do modo rodoviário para o momento de transporte do modo ferroviário e aéreo;
- (2) Pequena migração do automóvel para o ônibus;

### 2.5.3.2. Modo Rodoviário

Neste item serão apresentadas as premissas relacionadas ao transporte de passageiro para modo rodoviário.

#### Frota

A determinação da divisão da frota de veículos rodoviários de passageiros baseou-se em informações do histórico de vendas, fornecido por meio de relatórios da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016), no período de 1957 a 2016 e na Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO, 2016), para vendas de motocicletas em 2013, 2014 e 2015. Para a projeção até o ano de 2050, adotaram-se as seguintes considerações, com base nos resultados obtidos pelo modelo *top-down*, para os veículos convencionais e em discussões estabelecidas no *Workshop* Tecnologias de Mitigação de Emissões de GEE no Brasil até 2050, experiência dos pesquisadores e no estudo da EPE (2016) para os veículos alternativos:

- (1) quanto aos veículos leves (automóveis e comerciais leves) adotou-se uma taxa média de vendas dos veículos do tipo automóvel e comercial leve de 3,43% a.a., de 2018<sup>2</sup> a 205, com base na estimativa do PIB e nos estudos da ANFAVEA (2016) e EPE (2016). Para as motocicletas, considerou-se uma taxa de 2,8% a.a. até 2050 com base na estimativa do PIB e em MMA (2013)<sup>3</sup>;
- (2) quanto aos veículos convencionais de uso coletivo, adotou-se a taxa de vendas dos veículos do transporte coletivo ônibus urbano, ônibus rodoviário e micro-ônibus para 5,0% a.a. até 2039 e de 2,5% a.a. até 2050 com base na estimativa da população e no estudo da EPE (2016);
- (3) quanto à participação das vendas, os veículos alternativos de uso individual (híbridos e elétricos), adotou-se a taxa de vendas dos veículos do tipo automóvel, por meio da observação do histórico de vendas de 2006 a 2015, fornecido pelo estudo realizado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Vaz *et al.*; (2015).

---

<sup>2</sup> Essa premissa foi adotada em função da crise econômica que atingiu o Brasil no ano 2015, em que se teve uma redução de 31,20% das vendas de veículos, apontado pelo setor. Sendo assim, fez-se uma previsão de uma situação similar para o ano de 2016 e de crescimento de 1,85% para o ano de 2017.

<sup>3</sup> Esta taxa só valeria até 2030, mas foi adotada até 2050.

Quanto à participação nas vendas de cada tipo de tecnologia até o ano de 2050, considerou-se:

(1) quanto aos automóveis dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 4% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada;

(2) quanto aos automóveis dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados desde de 2013;

(3) quanto aos automóveis *flexible fuel*, observou-se uma participação de 95,95% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2045, quando tal tecnologia não será mais comercializada (EPE, 2016a);

(4) quanto aos automóveis híbridos, observou-se uma participação de 0,05% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2045, quando tal tecnologia atingirá 90% da participação. Em 2050 essa participação será de 82%, devido a maior participação dos veículos elétricos;

(5) quanto aos automóveis elétricos, observou-se uma participação de 0,001% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2045, onde alcançará uma participação de 10%. De 2045 a 2050, considerou-se um crescimento exponencial na participação das vendas, onde tal tecnologia atingirá 18% da participação, em 2050;

(6) quanto aos comerciais leves dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 13% das vendas em 2015. Para 2050 considerou-se uma queda mais intensa até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada. Sua última venda será em 2029, com uma participação de 1,18%;

(7) quanto aos comerciais leves dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados desde de 2012;

(8) quanto aos comerciais leves *flexible fuel*, observou-se uma participação de 87% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2040, quando alcançará 70% das vendas. Em seguida considerou-se uma queda mais intensificada até 2045, quando tal tecnologia não será mais comercializada (em nível nacional), hipótese apresentada no estudo da EPE (2016a). Sua última venda será em 2044, com uma participação de 10%;

(9) quanto aos comerciais leves híbridos, começa a ser comercializado em 2020, com participação de 1,99%. Considerou-se um crescimento médio de 119% das vendas até 2045, quando tal tecnologia atingirá 100% da participação;

(10) quanto aos comerciais leves elétricos, estes não serão considerados neste estudo;

(11) quanto as motocicletas, introdução da venda de motocicletas elétricas a partir de 2017 em substituição das motocicletas dedicadas à gasolina e parte das *flexible fuel*, alcançando uma participação em 2050 de 35% para as motos elétricas, 60% *flexible fuel* e 5% dedicadas a gasolina.

(12) quanto aos veículos convencionais de uso coletivo (ciclo Diesel), urbano convencionais e micro-ônibus, sua participação nas vendas, caíra dos atuais 100% em 2015 para 22% em 2045, onde permanecerá com essa participação até 2050;

(12.1) os micro-ônibus serão substituídos progressivamente por micro-ônibus elétricos *plug-in*, começando com 5% de participação em 2017 e alcançando uma participação 78% em 2050 e por micro-ônibus elétricos *plug-in*, começando com 40% de participação em 2020 e alcançando uma participação 70% em 2050;

(12.2) quanto aos veículos alternativos de uso coletivo (híbridos e elétricos), aumentou-se a taxa de vendas dos veículos do transporte coletivo (alternativo – híbridos diesel-elétrico e elétrico *plug-in*) do tipo ônibus urbano para que toda a frota destes veículos tenha uma divisão de 48% para os híbridos diesel-elétrico e 8% para os elétricos *plug-in* em 2050, conforme hipóteses do estudo da EPE (2016<sup>a</sup>);

(13) quanto aos ônibus rodoviários híbridos e elétricos, estes não serão considerados neste estudo;

As premissas apresentadas de maior participação de veículos leves e ônibus elétricos e híbridos foram baseadas nos estudos Façanha (2012) e EPE (2016a). Além disso, considerou-se também a *Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action Lima* – Paris Action Agenda (LPAA, 2015) que indica para o ano de 2030, que pelo menos 20% de todos os veículos de transporte rodoviário (passageiro e carga) serão elétricos (média mundial) e que os veículos leves serão os que mais vão contribuir para o alcance dessa meta.

Baseou-se também, no programa *Mobilise Your City Local Governments in Developing Countries Take High Road to Low-Carbon* desenvolvido pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC, 2015) que visa apoiar países em desenvolvimento (África, Sul da Ásia, América do Sul, e Oriente Médio), a partir de 2020 para o desenvolvimento e a implementação de sustentabilidade urbana, tendo em vista que parceiros doadores já se comprometeram a doar 5,5 milhões de euros, em 2016.

A Tabela 18 apresenta a frota de veículos rodoviários no ano base.

**Tabela 18.** Tipos e percentuais de veículos rodoviários de passageiros, ano base 2015

Tipo de Veículo	Percentual de participação
Automóvel a gasolina (dedicado) (1)	30,63%



Automóvel a etanol (dedicado)	2,61%
Automóvel flexível fuel	65,39%
Automóvel a GNV	1,36%
Automóvel híbrido flex-elétrico	0,01%
Automóvel elétrico plug-in	0,0001%
Motocicleta a gasolina (dedicado)	81,1%
Motocicleta flexível fuel	19,9%
Comercial leve a gasolina (dedicado)	34,85%
Comercial leve a etanol (dedicado)	1,74%
Comercial leve flexível fuel	61,77%
Comercial leve GNV	1,63%
Ônibus urbano diesel (B7)	100%
Micro-ônibus diesel (B7)	100%
Ônibus rodoviário diesel (B7)	100%

Nota: (1) os veículos comerciais leves ciclo Diesel foram considerados apenas no transporte de carga.

Fonte: Elaboração própria

## Intensidade de Uso

Para determinação da intensidade de uso de referência dos veículos rodoviários de passageiros que estarão em operação até o ano 2050, na forma da distância média anual percorrida pelos veículos (km/ano), conforme pode ser observado na Tabela 19, baseou-se em informações fornecidas pelo MMA (2013). Os ajustes necessários para determinação da intensidade de uso foram baseados no consumo de energia obtido pelo método *top-down*.

**Tabela 19.** Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de passageiro

Tipo de Veículo	Intensidade de uso (km/ano)
Automóvel a gasolina (dedicado) (1)	20.000
Automóvel a etanol (dedicado)	
Automóvel flexível fuel	
Automóvel a GNV	30.000
Automóvel híbrido flex-elétrico	20.000
Automóvel elétrico plug-in	
Motocicleta a gasolina (dedicado)	12.000
Motocicleta flexível fuel	
Comercial leve a gasolina (dedicado)	20.000
Comercial leve a etanol (dedicado)	
Comercial leve flexível fuel	
Comercial leve GNV	30.000
Ônibus urbano diesel (B7)	91.994
Micro-ônibus diesel (B7)	91.994
Ônibus rodoviário diesel (B7)	118.094

Nota: (1) os veículos comerciais leves ciclo Diesel foram considerados apenas no transporte de cargas; (2) variações da intensidade de uso com a idade do veículo seguem a mesma sistemática fornecida pelo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (MMA, 2013); (3) o percentual de uso de biodiesel foi apresentado 3.2.1.2.3 desse relatório.

Fonte: Elaboração própria

## Momento de Transporte

Adotou-se a lotação média dos ônibus rodoviários, ônibus urbanos e dos micro-ônibus para o valor de 45, 40 e 13 (passageiros), respectivamente, com base no Estudo da EPE (2012).

Para o ajuste do momento de transporte calculado, considerou-se o também o EPE (2012), para os dados históricos, e no resultado obtido por meio do modelo *top-down* (projeção).

## Rendimento

Para identificação do rendimento atual dos veículos rodoviários de passageiros baseou-se em informações fornecidas pelo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (MMA, 2013), para os veículos híbridos e elétricos baseou-se nos estudos elaborados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Sims, R *et al.*, 2014), pelo *C40 Cities Climate Leader Group* e *Inter-American Development Bank* (IDB) (C40 e IDB, 2013) e por meio de manuais de veículos disponíveis atualmente, no mercado mundial (Nissan, 2011 e BYD, 2014).

Para determinação da melhoria da eficiência energética desses veículos, adotou-se os valores com base nos estudos realizados pelo *The International Council on Clean Transportation* (ICCT) (Façanha *et al.*, 2012), *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Sims, R *et al.*, 2014) e pelo *U.S. Department of Energy*, Vyas *et al.*, (2013), conforme Tabelas 20, 21 e 22.

**Tabela 20.** Rendimento e melhoria de eficiência energética dos veículos rodoviários de passageiro (ciclo Otto)

Veículo	Rendimento [km/l]	Melhoria de eficiência <sup>(1)</sup>
Automóvel a gasolina (dedicado)	11,3	Não será considerado
Automóvel a etanol (dedicado)	6,9	Não será considerado
Automóvel <i>flexible fuel</i> (gasolina)	12,2	25% até 2050
Automóvel <i>flexible fuel</i> (etanol)	8,5	25% até 2050
Motocicleta a gasolina (dedicado)	37,19	10% até 2050
Motocicleta <i>flexible fuel</i> (gasolina)	43,2	10% até 2050
Motocicleta <i>flexible fuel</i> (etanol)	29,30	10% até 2050
Comercial leve a gasolina (dedicado)	9,9	10% até 2050
Comercial leve a etanol (dedicado)	6,9	Não será considerado
Comercial leve <i>flexible fuel</i> (gasolina)	9,1	25% até 2050
Comercial leve <i>flexible fuel</i> (etanol)	6,2	25% até 2050

Ônibus urbano diesel (BX)	2,3	Redução de 25%, em função da conversão da frota para o tipo <i>Padron</i> e BRT's, ambos com ar condicionado
Micro-ônibus diesel (BX)	6,9	5% até 2050
Ônibus rodoviário diesel (BX)	9,1	5% até 2050

Legenda: BX: Percentual de biodiesel adicionado ao diesel de petróleo.

Notas: (1) em relação a 2012.

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 21.** Rendimento energético dos veículos rodoviários de passageiro (GNV)

Veículo	Rendimento [km/m <sup>3</sup> ]	Melhoria de eficiência
Automóvel a GNV	12	Não será considerado
Comercial leve a GNV	12	

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 22.** Rendimento energético dos veículos rodoviários de passageiro (híbrido diesel-elétrico)

Veículo	Rendimento	Melhoria de eficiência
Automóvel híbrido <i>flex</i> -elétrico (etanol)	11,6 km/l	25% até 2050
Automóvel híbrido <i>flex</i> -elétrico (gasolina)	16,6 km/l	25% até 2050
Automóvel elétrico <i>plug-in</i>	3,5 km/kwh	25% até 2050
Ônibus urbano híbrido diesel-elétrico	3,25 km/l	15% até 2050
Ônibus urbano elétrico <i>plug-in</i>	0,17 km/kwh	15% até 2050

Fonte: Elaboração própria

Para comprar e ajustar a melhoria de eficiência global baseou-se na eficiência energética apresentada na Tabela 18, obtida a partir do 5º Relatório de Análise do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - Capítulo 8 elaborado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Sims, R *et al.*, 2014), nos estudos realizados pelo *The International Council on Clean Transportation* (ICCT) (Façanha *et al.*, 2012) e nos estudos do *U.S. Department of Energy*, Vyas *et al.*, (2013), além da experiência dos pesquisadores.

### 2.5.3.3. Outros Modos

Para os demais modos de transporte de passageiros (aéreo, aquaviário e ferroviário), considerou-se o rendimento energético atual (kJ/t.km) dos modos com base nas informações de momento de transporte e consumo de energia da evolução histórica dos modos fornecida pelo Estudo Associado ao Plano Decenal de Energia – PDE 2021: Consolidação de base de dados do setor de transportes 2012 (EPE, 2012), sendo o momento de transporte atualizado com estudos mais recentes, no caso do modo aéreo, pelos anuários da ANAC, e o aquaviário com base no estudo da ANTAQ (2013) e de dados obtidos pela CCR Barcas (2015), além disso a demanda de energia foi atualizada de acordo

com o Balanço Energético Nacional (EPE<sub>b</sub>, 2016). Para determinação da melhoria da eficiência energética desses veículos, optou-se por adotar um referencial teórico para balizar os valores que serão utilizados, para isso utilizou-se o 5º Relatório de Análise do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas Capítulo 8, elaborado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), (Sims, R *et al.*, 2014) e pelo *U.S. Department of Energy*, Vyas *et al.*, (2013). Portanto, foram estabelecidos os valores de referência conforme o nível de eficiência energética estabelecida para cada modo, bem como o ano em que se atinge tal eficiência (Tabela 23).

**Tabela 23.** Evolução do rendimento energético por modo de transporte, em kJ/pass.km

Ano	Aéreo	Ferrovário	Rodoviário	Fluvial
2010	1.264	219	1.061	3.184
2030	1.138	213	1.019	3.104
2050	1.011	208	1.008	3.024

Nota:(1). Fluvial e marítimo

## 2.5.4. Transporte de Carga

Neste item serão apresentadas as premissas relacionadas ao transporte de carga.

### 2.5.4.1. Divisão Modal

Como ponto de partida para divisão modal do transporte de carga, tentou-se levar em consideração a oferta de infraestrutura prevista pelo governo, no Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT, 2011), para o ano de 2031. No entanto, em função da não conclusão dos projetos ferroviários e hidroviários nos prazos temporais previstos, considerou-se um deslocamento do cronograma, julgando que o que foi previsto para 2015 seria realizado somente no ano de 2025, com postergação das divisões modais previstas para os anos seguintes, até o ano de 2050. Ainda assim, a divisão modal resultante levou a uma fração elevada de transferência modal para o modo ferroviário (36,41%), que acarretaria em elevados investimentos, aparentemente incompatíveis com a evolução moderada do PIB Absoluto, que foi usado para projetar o momento de transporte agregado de carga. Com isso, optou-se por adotar a divisão modal do transporte de carga baseando-se no estudo desenvolvido pelo *The International Council on Clean Transportation* (ICCT) (Façanha *et al.*, 2012), para o modo ferroviário. Além disso, optou-se por adotar a evolução tendencial para os modos dutoviário, aéreo e aquaviário (dividido em marítimo e fluvial) deixando o restante para o modo rodoviário (Tabela 24). Estas premissas aproximam a previsão da divisão modal do transporte de carga daquela estimada pelo Estudo de Demanda de Energia 2050 (EPE 2016) e na discussão ocorrida durante o *Workshop Tecnologias de Mitigação de Emissões de GEE* no Brasil até 2050

**Tabela 24.** Distribuição modal esperada/ajustada em toneladas-quilômetros

Ano	Dutoviário	Aéreo	Marítimo	Fluvial	Ferrovário	Rodoviário
2020	2,63%	0,10%	12,15%	5,21%	24,95%	54,96%
2025	2,52%	0,12%	12,44%	5,39%	25,24%	53,60%
2030	2,42%	0,13%	12,73%	5,56%	26,92%	52,16%
2035	2,26%	0,16%	12,75%	5,81%	28,17%	52,23%
2040	2,23%	0,16%	13,24%	5,88%	28,70%	49,78%
2050	2,00%	0,20%	13,88%	6,27%	30,87%	46,78%

Fonte: Elaboração própria

### 2.5.4.2. Modo Rodoviário

Neste item serão apresentadas as premissas relacionadas ao transporte de carga para o modo rodoviário.

#### Frota

A determinação da divisão da frota de veículos rodoviários de carga baseou-se em informações do histórico de vendas, fornecido por meio de relatórios da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016), no período de 1957 a 2015. A estimativa de vendas futuras baseou-se na correlação do histórico de vendas dos caminhões com o PIB absoluto e pelas projeções realizadas no relatório da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016), no estudo da EPE (2016), na experiência dos pesquisadores e nas discussões estabelecidas no *Workshop Tecnologias de Mitigação de Emissões de GEE no Brasil até 2050*, sendo elas:

- (1) quanto aos veículos convencionais (ciclo Diesel), considerou-se a taxa de vendas dos veículos comerciais leves e dos caminhões leve, semileve e médio como 3,15% a.a. de 2017 a 2025 e com 1,6% a.a. de 2026 até 2050;
- (2) para os veículos semipesados e pesados, considerou-se a taxa de 3,3% a.a. de 2017 a 2025 e com 0,7% a.a. de 2026 até 2050, fruto da transferência modal do transporte de carga do modo rodoviário para o ferroviário. Tendo como premissa a divisão modal apresentada na tabela 25, tais taxas foram obtidas, com base nos resultados de consumo de energia e momento de transporte alcançados pela metodologia *top-down*.

#### Intensidade de Uso

Para determinação da intensidade de uso de referência dos veículos rodoviários de carga que estarão em operação até o ano 2050, na forma da distância média anual percorrida pelos veículos (km/ano), baseou-se em informações fornecidos pelo MMA, (2013), conforme pode ser observado na Tabela

25. Os ajustes necessários para determinação da intensidade de uso foram baseados no consumo obtido pelo método *top-down*.

**Tabela 25.** Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de carga

Tipo de Veículo	Intensidade de uso no ano de aquisição do veículo (km/ano)
Comercial leve diesel (B7)	20.000
Caminhão leve diesel (B7)	64.580
Caminhão semileve diesel (B7)	64.580
Caminhão médio diesel (B7)	112.310
Caminhão semipesado diesel (B7)	117.904
Caminhão pesado diesel (B7)	117.904

Nota: (1) variações da intensidade de uso com a idade do veículo seguem a mesma sistemática fornecidos pelo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (MMA, 2013).

Fonte: Elaboração própria

### Momento de Transporte

Adotou-se, de forma conservadora, o carregamento médio dos caminhões, com base na experiência dos pesquisadores, para o valor médio de 50% da lotação, considerando que o retorno das viagens é feito com os veículos vazios.

O momento de transportes calculado foi comparado e ajustado com o consumo obtido pelo método *top-down* (projeção para o rodoviário) e com os dados históricos, obtidos por meio do PDE 2021 (EPE, 2012).

### Rendimento

A identificação do rendimento médio atual dos veículos rodoviários de passageiros baseou-se em informações fornecidas pelo MMA (2013) e, para os veículos híbridos, baseou-se nos estudos elaborados por *C40 Cities Climate Leader Group* e *Inter-American Development Bank* (IDB), C40 e IDB, (2013).

Para determinação da melhoria da eficiência energética desses veículos, adotou-se os valores com base nos estudos realizados por *Façanha et al.* (2012), *Sims et al.* (2014) e *Vyas et al.* (2013), conforme Tabelas 26.

**Tabela 26.** Rendimento e melhoria de eficiência energética dos veículos rodoviários de carga (ciclo Diesel)

Veículo	Rendimento [km/l]	Melhoria de eficiência <sup>(1)</sup>
Comercial leve diesel (B7)	10,5	Sem alteração
Caminhão leve diesel (B7)	5,6	15% até 2050
Caminhão semileve diesel (B7)	9,1	
Caminhão médio diesel (B7)	5,6	

Caminhão semipesado diesel (B7)	3,4	
Caminhão pesado diesel (B7)	3,4	

Notas: (1) em relação a 2012; (2) os veículos comerciais leves ciclo Otto foram considerados apenas nos transporte de passageiros.

Fonte: Elaboração própria

Com os resultados obtidos a partir da aplicação do procedimento para cálculo do consumo de combustível, identificou-se e ajustou-se a melhoria de eficiência alcançada e o consumo estimado.

O consumo de combustível calculado foi comparado e ajustado com o consumo obtido pelo método *top-down* (projeção para o rodoviário) e com os dados históricos, obtidos por meio do Inventário Nacional de Emissões de Veículos Automotores 2013 (MMA, 2013).

### 2.5.4.3. Outros Modos

Para os demais modos de transporte de carga (dutoviário, aéreo e aquaviário), considerou-se o rendimento energético atual (kJ/t.km) dos modos com base nas informações de momento de transporte e consumo de energia por meio de informações relacionadas a evolução histórica dos modos fornecida pelo Estudo Associado ao Plano Decenal de Energia – PDE 2021: Consolidação de base de dados do setor de transportes 2012 (EPE, 2012), sendo o momento de transporte atualizados com estudos mais recentes, , no caso do modo aéreo, pelos anuários da ANAC, e o aquaviário com base no estudo da ANTAQ (2014), já a demanda de energia foi atualizada de acordo com o BEN (EPE, 2016).

No modo ferroviário de carga, ao analisar as eficiências energéticas calculadas por meio da base de dados da EPE, verificou-se que a eficiência energética estava no limite inferior do *benchmarking* internacional, logo, buscou-se outros estudos do setor, sendo utilizado então, os dados do momento de transporte dos estudos da ANTT (2011 e 2016) e do consumo de energia de 2000 a 2011 de CNT (2012) e de 2012 a 2015 de EPE (2016b)

Para determinação da melhoria da eficiência energética desses modos, optou-se por adotar um referencial teórico para balizar os valores que serão utilizados. Para isso, utilizou-se o Sims, *et al.* (2014), Façanha *et al.* (2012) e Vyas *et al.* (2013). A tabela 27 apresenta a evolução do rendimento energético por modo de transporte.

**Tabela 27.** Evolução do rendimento energético por modo de transporte, em kJ/t.km

Ano	Aéreo	Marítimo <sup>(1)</sup>	Fluvial <sup>(1)</sup>	Ferrovário	Rodoviário <sup>(2)</sup>	Dutoviário
2015	13.566	284	227	123	1.739	123
2030	12.523	265	233	110	1.706	118
2050	11.131	244	227	105	1.662	113

Nota: (1) Divisão do modo aquaviário; (2) não considera veículos elétricos.

Fonte: Elaboração própria

## 2.6. Resultados Obtidos

**Tabela 28.** Evolução do momento de transporte de passageiro por modo de transporte, em  $10^6$  p.km

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Aéreo	96.700	127.617	125.350	147.459	183.450	213.741	250.153	315.727
Aquaviário	895	1.008	1.225	1.452	1.738	2.047	2.430	3.470
Ferroviário	27.352	34.022	38.879	47.769	54.689	62.798	72.544	98.534
Rodoviário	1.476.161	1.975.940	1.721.872	1.880.214	2.067.668	2.243.433	2.454.346	3.051.793
Total	1.601.108	1.925.444	1.887.325	2.076.894	2.307.545	2.522.020	2.779.473	3.469.523

**Tabela 29.** Evolução da divisão modal do transporte de passageiro

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Aéreo	6,04%	6,63%	6,64%	7,10%	7,95%	8,48%	9,00%	9,10%
Aquaviário	0,06%	0,05%	0,06%	0,07%	0,08%	0,08%	0,09%	0,10%
Ferroviário	1,71%	1,82%	2,06%	2,30%	2,37%	2,49%	2,61%	2,84%
Rodoviário	92,20%	91,50%	91,23%	90,53%	89,60%	88,95%	88,30%	87,96%

**Tabela 30.** Evolução do momento de transporte de carga por modo de transporte, em  $10^6$  t.km.

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Dutoviário	32.438	33.261	31.923	33.978	36.804	39.437	42.874	53.413
Aéreo	1.054	1.114	1.227	1.582	2.039	2.565	3.240	5.341
Marítimo	141.094	163.222	147.530	167.416	193.573	221.713	258.055	370.555
Fluvial	60.469	53.547	63.227	72.487	84.626	97.819	114.845	167.584
Ferroviário	277.923	331.721	302.922	349.095	409.533	475.522	560.653	824.434
Rodoviário	633.783	678.853	667.271	721.379	794.520	866.704	960.527	1.249.336
Aquaviário (Marítimo + Fluvial)	201.563	216.769	210.757	239.903	278.199	319.532	372.899	538.139
Total	1.146.761	1.261.718	1.214.099	1.345.936	1.521.095	1.703.760	1.940.194	2.670.664

**Tabela 31.** Evolução da divisão modal do transporte de carga

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Dutoviário	2,83%	2,64%	2,63%	2,52%	2,42%	2,31%	2,21%	2,00%
Aéreo	0,09%	0,09%	0,10%	0,12%	0,13%	0,15%	0,17%	0,20%
Marítimo	12,30%	12,15%	12,15%	12,44%	12,73%	13,01%	13,30%	13,88%
Fluvial	5,27%	5,21%	5,21%	5,39%	5,56%	5,74%	5,92%	6,27%
Ferroviário	24,24%	24,95%	24,95%	25,94%	26,92%	27,91%	28,90%	30,87%
Rodoviário	55,27%	54,97%	54,96%	53,60%	52,23%	50,87%	49,51%	46,78%



**Tabela 32.** Evolução da frota rodoviária por tipo de veículo

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050	
Automóveis	24093775	30948170	32843364	35427381	39445299	44833745	51572550	70507106	
Comerciais Leves	4379839	6814246	7447304	8121204	9046558	10271259	11819346	16268743	
Motocicleta	12597536	16895279	18515357	20427062	22681495	25430887	28756098	37355875	
Ônibus	Urbano	220971	272631	321759	374090	417807	452162	478387	511378
	Micro	73986	91835	99853	103220	103046	100188	95020	77743
	Rodoviário	31777	38873	41032	42861	43336	43069	42509	41697
Caminhão	Semileve	72789	86683	89716	94251	99361	104921	111397	127768
	Leve	387275	451629	456106	475934	503596	535655	572787	662905
	Médio	243098	238059	217593	207996	205732	208686	216240	242428
	Semipesado	391083	520526	536637	566787	598267	625459	650632	700275
	Pesado	323129	471405	481854	500311	518109	532276	545816	576884

**Tabela 33.** Característica da frota rodoviária em 2050 por tipo de veículo e combustível

Tipo de veículo	Total	Tipo de combustível (%)					
		Gasolina	Etanol	Flex	Híbridos	Elétricos	Diesel
Automóveis	70.506.979	0,34%	0,01%	27,85%	62,17%	9,63%	
Comerciais Leves	16.268.743	0,39%	0,00%	20,84%	48,24%		30,53%
Motocicletas	37.355.875	12,15%		25,97%		61,88%	
Ônibus	Urbano	511.378			54,50%	6,23%	39,27%
	Rodoviário	58.650					100,00%
	Micro	117.773				53,29%	46,71%
Caminhões	Semileve	127.768					100,00%
	Leve	662.905					100,00%
	Médio	242.428					100,00%
	Semipesado	700.275					100,00%
	Pesado	576.884					100,00%

**Tabela 34.** Indicadores do transporte rodoviário

Indicadores	2015	2050
População	204.450.649	226.347.688
Taxa de motorização	0,27	0,55
Eficiência energética carga (kJ/t.km)	1.750	1.662
Eficiência energética passageiro (kJ/p.km)	1.051	555

**Tabela 35.** Evolução do consumo de combustível pelo modo Aéreo (10<sup>3</sup> tep)

Combustível	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Gasolina A	44	49	47	54	65	73	84	99
Querosene	3.228	3.610	3.938	4.554	5.533	6.323	7.256	8.952
Total	3.272	3.658	3.985	4.607	5.598	6.396	7.339	9.051

**Tabela 36.** Evolução do consumo de combustível pelo modo Aquaviário (10<sup>3</sup> tep)

Combustível	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Óleo combustível	966	1.109	984	1.095	1.226	1.376	1.568	2.157
Óleo Diesel	414	367	408	449	499	572	661	936
Biodiesel	0	0	9	10	15	17	25	35
Total	1.380	1.476	1.400	1.554	1.739	1.965	2.254	3.128

**Tabela 37.** Evolução do consumo de combustível pelo modo Dutoviário (10<sup>3</sup> tep)

Combustível	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Energia elétrica	95	96	92	97	104	110	119	145

**Tabela 38.** Evolução do consumo de combustível pelo modo Ferroviário (10<sup>3</sup> tep)

Combustível	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Eletricidade	143	177	201	245	279	318	365	489
Óleo Diesel	950	908	739	778	958	1.098	1.237	1.772
Biodiesel	47	64	77	81	122	140	204	292
Total	1.139	1.148	1.017	1.104	1.358	15.56	1.806	2.554

**Tabela 39.** Evolução do consumo de combustível pelo modo Rodoviário (10<sup>3</sup> tep)

Combustível	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Gás natural	1.767	1.553	1.560	1.662	1.905	2.103	2.223	2.156
Óleo Diesel	30.853	35.145	32.928	34.872	38.601	41.581	43.209	50.392
Biodiesel	1.517	2.471	3.417	3.619	4.916	5.296	7.122	8.305
Gasolina A	17.064	23.322	18.258	16.110	14.815	13.617	12.308	8.783
Energia elétrica	0	0	10	39	116	380	818	2.214
Etanol Anidro	3.690	5.982	4.683	4.132	3.800	3.493	3.157	2.253
Etanol Hidratado	8.166	9.121	10.251	12.522	15.463	18.664	21.733	25.881
Total	63.056	77.593	71.107	72.956	79.616	85.134	90.570	99.984

**Tabela 40.** Participação por modo do consumo total do setor de transportes

Modo	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Aéreo	4,75%	4,36%	5,14%	5,74%	6,33%	6,72%	7,19%	7,88%
Aquaviário	2,00%	1,76%	1,80%	1,93%	1,97%	2,06%	2,21%	2,72%
Dutoviário	0,14%	0,11%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,13%
Ferrovário	1,65%	1,37%	1,31%	1,37%	1,54%	1,63%	1,77%	2,22%
Rodoviário	91,46%	92,40%	91,63%	90,84%	90,05%	89,46%	88,72%	87,05%
Total (10 <sup>3</sup> tep)	68.942	83.972	77.600	80.317	88.415	95.161	102.087	114.862

**Tabela 41.** Evolução da Emissão de GEE referentes ao setor de transportes (Gg)

Poluente	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
CH <sub>4</sub>	67	37,9	31,5	30,5	32,7	35,2	37,8	39,6
N <sub>2</sub> O	16	14,2	12,7	13,0	14,7	16,3	18,3	23,2
CO <sub>2</sub>	168.364	198.223	177.466	179.975	192.458	202.229	207.917	229.362
CO <sub>2</sub> eq	174.597	257.635	181.708	184.281	197.258	207.537	213.827	236.612

## 2.7. Prospecção Tecnológica para Cenários de Mitigação

Tabela 42. Tecnologia 1

SETOR	TRANSPORTE				
Subsetor	Rodoviário de Carga				
Unidade Principal	Veículo/ano				
Nova Tecnologia					
Nome	Caminhões semileves e leves dedicados a etanol				
Descrição Geral	<p>Caminhões ciclo Otto dedicados a etanol ou ciclo diesel adaptado a etanol.</p> <p>Eles atendem aos requisitos do Proconve sem usar Arla 32 – reagente utilizado para reduzir quimicamente as emissões de CO<sub>2</sub> – e utilizam motor diesel de 8,9 litros adaptado para rodar com 95% de etanol e 5% de Master Batch 95, um aditivo com propriedades antidetonantes e antioxidantes fabricado no Brasil pela empresa química.</p> <p>Scania começou a realizar testes em 2007. Seu primeiro caminhão foi lançado em 2007. Até o momento 60 veículos foram vendidos</p>				
Região	Brasil				
Nível de utilização da tecnologia		Frota total	Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2020	89.716 <sup>1</sup> 456106 <sup>2</sup>	0%	0	1%
	2025	94251 <sup>1</sup> 475.934 <sup>2</sup>	0%	3%	5%
	2030	99361 <sup>1</sup> 503596 <sup>2</sup>	0%	5%	10%
	2040	111397 <sup>1</sup> 572787 <sup>2</sup>	0%	10%	25%
	2050	127768 <sup>1</sup> 662905 <sup>2</sup>	0%	15%	40%
<sup>1</sup> Caminhão Semi-Leve <sup>2</sup> Caminhão Leve					
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2020: 70% <sup>1</sup> 2025: 59,16% 2030: 47,4% 2040: 39,76% 2050: 32,7% <sup>1</sup> em relação à tecnologia atual (ciclo Diesel). Considerando o preço base R\$79.400 para caminhões semi-leve e R\$107.500 para caminhão leve – cálculo baseado na diferença do ônibus urbano dedicado a etanol e ciclo diesel.				
Elementos de custo	consumo de combustível do veículo: 6km/l e 4km/l para os caminhões semileves e leves, respectivamente; intensidade de CO <sub>2</sub> : reduzem 91% de emissão se comparado a tecnologia atual (ciclo diesel).				

Interrelação com outros setores	AFOLU			
<b>Dificuldade de penetração</b> <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras
		Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)
	Técnicas:	1		
	Econômicas:	4	Oferta sazonal do etanol. Política de preços do Governo Federal e Estadual (impostos) Concorrência com o açúcar pela matéria prima, cana. Queda do preço do petróleo.	Regramento político bem definido. Atuação junto aos poderes Executivo e Legislativo em prol da ação.
	Financeiras:	3	Custo do caminhão comparado aos do ciclo diesel convencionais. Financiamento	Linha especiais “verdes” junto ao BNDES.
	Político-institucionais:	4	Falta de adesão dos compradores de caminhão com a causa da sustentabilidade. Desconhecimento e desinteresse pelo tema.	Engajamento do setor de transporte por meio de arranjos institucionais.
	Outras:			
Externalidades (em relação à baseline)	Ambientais: Sociais: Econômicos:			
Referências bibliográficas:	<a href="http://www.cnt.org.br/Imprensa/Noticia/caminhoes-movidos-a-etanol-reduzem-92-emissoes-de-co2-cnt">http://www.cnt.org.br/Imprensa/Noticia/caminhoes-movidos-a-etanol-reduzem-92-emissoes-de-co2-cnt</a>			

**Tabela 43.** Tecnologia 2

<b>SETOR</b>	<b>TRANSPORTE</b>
<b>Subsetor</b>	<b>Ferroviário de Carga</b>
<b>Unidade Principal</b>	<b>t.km/ano</b>
<b>Nova Tecnologia</b>	
Nome	Eletrificação das ferrovias

Descrição Geral	Eletrificação das ferrovias: a América Latina Logística Malha Sul S.A (ALLMS), a América Latina Logística Malha Paulista S.A (ALLMP), a Ferrovia Centro - Atlântica S.A (FCA) e a Transnordestina Logística S.A (TLSA). Um total de 21.527 km de malha a serem eletrificadas.			
Região	Brasil			
Nível de utilização da tecnologia		Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2025	0%	1.075 (0,3%)	2.149 (0,6%)
	2030	0%	7.720 (1,8%)	15.239 (3,5%)
	2040	0%	29.643 (4,7%)	59.286 (9,6%)
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2025:			
	2030:			
	2040:			
	2050:			
Elementos de custo	Ganho de eficiência; Intensidade de CO2: não apresenta emissões locais			
Interrelação com outros setores	Setor de geração elétrica			
Dificuldade de penetração <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras
		Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)
	Técnicas:	1	Pouca dificuldade técnica	
	Econômicas:	4	Necessidade de substituição de locomotivas diesel.	Plano de substituição de equipamentos ao estilo do PROCONVE.
	Financeiras:	4	Recursos para infraestrutura necessária.	Financiamento externo. Abundância de recursos em outros países (p. ex.: China).
	Político-institucionais:	4	Quem pagará pelo investimento. Se o setor público ou os concessionários.	Parceira Público Privado.
	Outras:			
Externalidades (em relação à baseline)	Ambientais: Sociais: Econômicos:			
Referências bibliográficas:	ANTT, 2012. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas, Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília, DF. CNT, 2011. Pesquisa CNT de Ferrovias 2011. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, DF. Ferrovia do Aço. Disponível em: <a href="https://goo.gl/qZMvUW">https://goo.gl/qZMvUW</a> . Acesso em 20 dez. 2015.			

Tabela 44. Tecnologia 3

SETOR	Transporte						
Subsetor	Aéreo						
Unidade Principal	Kj/ (t.km ou pass.km)						
Nova Tecnologia							
Nome	Potencial de melhorias em eficiência energética						
Descrição Geral	<p>Potencial médio de melhorias em eficiência energética com base em referências internacionais.</p> <p>Melhorias no projeto e construção de aeronaves, como redução de peso, resistência aerodinâmica, introdução de <i>winglets</i> e <i>riblets</i> e aprimoramento no desempenho dos motores.</p> <p>Melhorias operacionais se tornam possíveis por meio da utilização de sistemas de navegação por satélite, o que reduz o congestionamento e o consumo de combustível.</p> <p>baseline: 13.914 kj/t.km e 1.264 kj/pass.km</p>						
Região	Brasil						
Nível de melhoria de eficiência		Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo			
	2020	4%	8%	10%			
	2025	7%	14%	28%			
	2030	10%	20%	40%			
	2040	15%	33%	53%			
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2020: 2025: 2030: 2040: 2050:						
Elementos de custo	Economia de combustível; Redução na emissão de CO <sub>2</sub> .						
Interrelação com outros setores	Ricardo A. B. Dupont (ANAC): Transporte rodoviário						
Dificuldade de penetração <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.		Barreiras	Instrumentos para superar barreiras		
		Jurandi Arruda (ITL)	Ricardo A. B. Dupont (ANAC)	Jurandi Arruda (ITL)	Ricardo A. B. Dupont (ANAC)	Jurandi Arruda (ITL)	Ricardo A. B. Dupont (ANAC)
	Técnicas:	1	4	Inovações dependem da indústria aeronáutica, que já caminha nesta direção.	Conhecimento técnico	Mais pesquisas no Brasil neste sentido, em apoio ao desenvolvimento das novas tecnologias.	Desenvolvimento e aperfeiçoamento em recursos humanos
Econômicas:	1	4	Há necessidade e de adoção dessas	Ausência de investimentos	Mais pesquisas no Brasil neste sentido, em	Novos investimentos	

				tecnologias para a redução do consumo de combustível, principal item de custo das empresas aéreas.		apoio ao desenvolvimento das novas tecnologias.	
	Financeiras:	2	4	Novas aeronaves . Custo de aquisição e substituição de frota.	Investimentos em P&D e Inovação	Reaquecimento da economia interna.	Novos investimentos
	Político-institucionais:	3	4	Falta de regulamentação e de liderança no Brasil na condução desses objetivos.		Arranjos institucionais .	Criação de políticas públicas e incentivo na área
	Outras:						
Externalidades (em relação à <i>baseline</i> )	Ambientais: Sociais: Econômicos:						
Referências bibliográficas:	<p>Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.</p> <p>Façanha, C., Blumberg, K., Miller, J., 2012. Global Transportation Energy and Climate. The International Council on Clean Transportation (ICCT).</p>						



**Tabela 45.** Tecnologia 4

SETOR	Transporte			
Subsetor	Aquaviário - Marítimo			
Unidade Principal	Kj/ (t.km ou pass.km)			
Nova Tecnologia				
Nome	Potencial de melhorias em eficiência energética			
Descrição Geral	<p>Potencial médio de melhorias em eficiência energética com base em referências internacionais.</p> <p>Melhores projetos de navios para redução de peso; motores e sistemas de transmissão eficientes; sistemas de recuperação de calor; sistemas auxiliares para geração de energia e redução da resistência aerodinâmica e hidrodinâmica.</p> <p>Implantar medidas para operação em condições ótimas e controle de velocidade de cruzeiro.</p> <p><i>Baseline:</i> 286 kj/t.km e 3.184 kj/pass.km</p>			
Região	Brasil			
Nível de utilização da tecnologia		Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2020	3,1%	4,1%	6,2%
	2025	5,5%	7,1%	10,6%
	2030	7,5%	10%	15%
	2040	13,8%	17,5%	22,5%
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2020: 2025: 2030: 2040: 2050:			
Elementos de custo	Economia de combustível; Redução na emissão de CO <sub>2</sub> .			
Interrelação com outros setores	-			
Dificuldade de penetração <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras
	Técnicas:			
	Econômicas:			
	Financeiras:			
	Político-institucionais:			
Outras:				
Externalidades (em relação à baseline)	Ambientais: Sociais: Econômicos:			
Referências bibliográficas:	Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Façanha, C., Blumberg, K., Miller, J., 2012. Global Transportation Energy and Climate. The International Council on Clean Transportation (ICCT).			

Tabela 46. Tecnologia 5

SETOR	Transporte			
Subsetor	Ferroviário			
Unidade Principal	KJ/ (t.km ou pass.km)			
Nova Tecnologia				
Nome	Potencial de melhorias em eficiência energética			
Descrição Geral	<p>Potencial médio de melhorias em eficiência energética com base em referências internacionais.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de sistemas de propulsão de maior eficiência e de frenagem regenerativa, além de aperfeiçoamentos no motor a diesel;</li> <li>• Melhorias aerodinâmicas e redução do peso das composições;</li> <li>• Uso de freios pneumáticos controlados eletronicamente (ECP) e sistema de controle PTC (positive train control) podem reduzir os congestionamentos e reduzir o tempo de operação em marcha lenta o que resultaria em um aumento na eficiência energética;</li> <li>• Modernização da infraestrutura do sistema ferroviário, com o mesmo intuito do item anterior;</li> <li>• Uso de locomotivas híbridas e <i>Genset</i>.</li> </ul> <p><i>Baseline:</i> 106 kj/t.km e 219 kj/pass.km</p>			
Região	Brasil			
Nível de utilização da tecnologia		Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2020	1%	6,2%	7%
	2025	1,8%	10,6%	12%
	2030	2,5%	15%	17%
	2040	8,8%	22,5%	26%
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2020:			
	2025:			
	2030:			
	2040:			
	2050:			
Elementos de custo	1) Economia de combustível; 2) Redução na emissão de CO <sub>2</sub> .			
Interrelação com outros setores	-			
Dificuldade de penetração <i>Avaliação: 1= Baixa, 2=</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras
		Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)

<p><i>Média baixa,</i> 3= <i>Média alta,</i> 4= <i>Alta</i></p>	Técnicas:	2	Falta de tecnologia nacional.	Estímulo a pesquisa.
	Econômicas:	3	Eqp atual ainda atende sem necessidade/obrigação de atualização tecnológica.	Pesquisas e empoderamento das empresas quanto aos ganhos econômicos com a adoção da tecnologia.
	Financeiras:	3	Custos para aquisição/desenvolvimento.	Financiamento via BNDES.
	Político-institucionais:	3	Falta de competitividade do setor. As empresas detem exclusividade nos trechos e não concorrem entre si.	Uso do 'poder regulatório' das agências.
	Outras:			
Externalidades (em relação à <i>baseline</i> )	Ambientais: Sociais: Econômicos:			
Referências bibliográficas:	<p>Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.</p> <p>Façanha, C., Blumberg, K., Miller, J., 2012. Global Transportation Energy and Climate. The International Council on Clean Transportation (ICCT).</p>			

**Tabela 47.** Tecnologia 6

SETOR	TRANSPORTE			
Subsetor	Dutoviário			
Unidade Principal	Kj/t.km			
Nova Tecnologia				
Nome	Potencial de melhoria de eficiência energética			
Descrição Geral	<p>Potencial médio de melhorias em eficiência energética com base em referências internacionais.</p> <p>Aumento de capacidade e aprimoramento de uso.</p> <p><i>Baseline:</i> 123 kj/t.km</p>			
Região	Brasil			
Nível de utilização da tecnologia		Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2020	1,6%	1.85%	3,1%
	2025	2,7%	3,2%	5,3%
	2030	3,8%	4,5%	7,5%
	2040	3,85%	9,1%	12,5%
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2020:			
	2025:			
	2030:			
	2040:			
	2050:			
Elementos de custo	1) Economia anual na eletricidade.			
Interrelação com outros setores	Setor geração elétrica			
<b>Dificuldade de penetração</b> <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras
	Técnicas:			
	Econômicas:			
	Financeiras:			
	Político-institucionais:			
Outras:				

<p>Externalidades (em relação à baseline)</p>	<p>Ambientais:</p> <p>Sociais: Melhoria da qualidade de vida da população nas áreas vizinhas, pela diminuição dos odores.</p> <p>Econômicos: Maior margem econômica pela diminuição dos custos de energia nos sistemas de produção.</p>
<p>Referências bibliográficas:</p>	<p>Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D’Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.</p> <p>Façanha, C., Blumberg, K., Miller, J., 2012. Global Transportation Energy and Climate. The International Council on Clean Transportation (ICCT).</p>

Tabela 48. Tecnologia 7

SETOR	TRANSPORTE			
Subsetor	Rodoviário			
Unidade Principal	Kj/(t.km ou pass.km)			
Nova Tecnologia				
Nome	Potencial de melhoria de eficiência energética			
Descrição Geral	<p>Redução do peso dos veículos, redução da resistência aerodinâmica, uso de pneus de baixa resistência ao rolamento e/ou pneus radiais e eletrificação dos acessórios.</p> <p>Melhorias tecnológicas nos motores e uso de tecnologias de recuperação de calor, como: motores com recuperação de energia por turbina acoplada e de ciclo “achatado”, uso de ventilador do motor com acionamento intermitente e de válvulas de admissão e descarga do motor com atuação variável (VAV), além de motores turbo alimentados.</p> <p>Uso de sistema de pós-tratamento de gases de descarga com arrefecimento avançado, que proporciona melhor queima do combustível e promove aumento do rendimento energético.</p> <p>Redução das perdas por fricção no sistema de propulsão, uso de transmissão automatizada e aprimoramento no turbo compressor.</p> <p>Melhorias em manutenção e implementação de programas de conservação de veículos.</p> <p>Eco-driving, redução do uso da marcha lenta e uma melhor gestão do tráfego e escolha de rotas.</p> <p>Monitoramento das viagens (com metas e incentivos financeiros aos motoristas), além da implantação de projetos visando a redução do consumo de combustíveis, como o Projeto TransportAR.</p> <p>Aumento de capacidade e aprimoramento de uso.</p> <p><i>Baseline: 1750 kj/t.km e 1061 kj/ pass.km.</i></p>			
Região	Brasil			
Nível de utilização da tecnologia		Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2020	1,03%	6,18%	11,12%
	2025	1,76%	10,6%	19,06%
	2030	2,5%	15%	27%
	2040	2,55%	20%	38,5%
	2050	2,6%	25%	50%
COMENTÁRIOS	<p>Bruno R. L. Stukart (EPE):</p> <p>Potencial de melhora:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>EPA (2015): prevê melhora de 24% na eficiência energética de 2012-2027 para HDV (Heavy Duty Vehicles).</li> <li>IEA (2012): technology Roadmap: prevê 1,5%a.a. de 2005-2030</li> <li>EIA: prevê 0,6%a.a. até 2040.</li> <li>Volkswagen prevê -1,8%a.a até 2020.</li> <li>Pode aumentar a eficiência energética do cenário de referência.</li> </ul> <p>Patrícia Feitosa Bonfim Stelling (EPE):</p> <p>A melhoria da eficiência energética também pode ocorrer a partir dos seguintes fatores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de injeção direta de combustível.</li> </ul>			

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de outros ciclos alternativos ao Otto, de maior eficiência.</li> <li>Aumento da eletrificação e da hibridização das frotas mundiais.</li> <li>Introdução dos veículos autônomos.</li> </ul> <p>Gabriel Tenenbaum de Oliveira (ITDP)</p> <p>A melhoria da eficiência energética também pode ocorrer a partir dos seguintes fatores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adoção de normas mais rígidas de controle de poluentes locais (ex: "PROCONVE P-8" equivalente a Euro VI) no transporte público de passageiros.</li> <li>Aumento sistemático da priorização do transporte público coletivo (ex: 1 por cento da extensão total de vias da cidade ao ano), o que induz a menor vulnerabilidade às flutuações de congestionamento, maior transição modal do carro para o transporte público e menos tempos de arranque dos ônibus.</li> <li>Desestímulo ao uso do carro nos corredores de transporte público de média e alta capacidade (BRT, no caso do transporte rodoviário de passageiros): restrição do estacionamento em via e estabelecimento de limite de vagas máximas a edificar para novos empreendimentos.</li> </ul>							
Investimento (US\$/unidade) Data do câmbio:2016	2016: US\$15.335 (valor médio para todos os veículos, incluindo todas as melhorias de eficiência citadas na descrição, de acordo com IEA 2014.							
Elementos de custo								
Interrelação com outros setores	-							
Dificuldade de penetração <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.			Barreiras		Instrumentos para superar barreiras	
		Bruno R. L. Stukart (EPE)	Patrícia F.B. Stelling (EPE)	Jurandi Arruda (ITL)	Patrícia F.B. Stelling (EPE)	Jurandi Arruda (ITL)	Patrícia F.B. Stelling (EPE)	Jurandi Arruda (ITL)
	Técnicas:	1	3	3	Tecnologia das baterias, de veículos autônomos	Baixa penetração das tecnologias citadas na indústria nacional.	Investimento de P&D	Programa de renovação de frota.
Econômicas:	2	3	3	Preço das baterias, obtenção das matérias-primas para produção de baterias	Baixa taxa de retorno dos investimentos privados feitos no modal rodoviário devido à forte concorrência dos autônomos	Investimento de P&D	Barreiras à entrada nesse mercado. Profissionalização do setor, via empresas.	

	Financeiras:	3	3	4		Custo dos equipamentos. Novas tecnologias aumentam o valor final dos caminhões novos.		Financiamento com juros mais baixos para caminhões verdes.
	Político-institucionais:	1	3	4	Políticas governamentais promovidas de mudanças no perfil das frotas e no modo de uso dos veículos	Agência reguladora ineficiente.		Fortalecimento das políticas reguladoras.
	Outras:							
Externalidades (em relação à baseline)	<p>Patrícia Feitosa Bonfim Stelling (EPE)</p> <p>Ambientais: redução das emissões de GEEs</p> <p>Sociais: redução de acidentes e doenças respiratórias provenientes de poluição local.</p> <p>Econômicos: novas indústrias, novos mercados</p>							
Referências bibliográficas:	<p>Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.</p> <p>Façanha, C., Blumberg, K., Miller, J., 2012. Global Transportation Energy and Climate. The International Council on Clean Transportation (ICCT).</p> <p>Vyas, A. D.; Patel, D. M.; Bertram, K. M. (2013). Potential for Energy Efficiency Improvement Beyond the Light-Duty-Vehicle Sector. <i>Transportation Energy Futures Series</i>. Prepared for the U.S. Department of Energy by Argonne National Laboratory, Argonne, IL. DOE/GO-102013-3706. 82 pp.</p> <p>IEA, 2014 World Energy Investment Outlook: Energy Efficiency Investment Assumption Tables.</p>							



Tabela 49. Tecnologia 8

SETOR	TRANSPORTE				
Subsetor	Rodoviário de Passageiro				
Unidade Principal	Veículo/ano				
<b>Nova Tecnologia</b>					
Nome	Ônibus Urbano híbrido elétrico-hidrogênio				
Descrição Geral	Ônibus híbrido elétrico-hidrogênio (pilha a combustível), baterias de íon de lítio tracionárias que são recarregadas por oportunidade.  Movido a energia renovável e não-poluinte; Piso baixo; Câmbio automático; Sistema de regeneração de energia cinética.				
Região	Brasil				
Nível de utilização da tecnologia (Participação na frota)		Frota	Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2020	321.759	0	0	0
	2025	374.090	0	0	1%
	2030	417.807	0	2%	3%
	2040	478.387	0	3%	5%
	2050	486.077	0	6%	10%
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2020: 263% <sup>1</sup> 2025: 181,49% 2030: 123,6% 2040: 81,97% 2050: 52,03%  <sup>1</sup> em relação à tecnologia atual (R\$310.000)				
Elementos de custo	1) consumo de combustível do veículo: 0,3 kwh/km (reduzem o consumo de energia em até 35%, quando comparamos o uso de eletricidade com o diesel). 2) intensidade de CO2: não apresenta emissões locais				
Interrelação com outros setores	Setor de energia elétrica				
<b>Dificuldade de penetração</b> <i>Avaliação:</i> 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras	
		Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	
	Técnicas:	3	Falta de política de Estado, estimulando o desenvolvimento dessa tecnologia, apesar de existir know how nacional.	Plano Nacional de desenvolvimento tecnológico para o setor.	
	Econômicas:	3	Setor sensível pois impacta diretamente na inflação e no custo de vida da população.	Discussão com a sociedade e planejamento de longo prazo para mudança gradual.	
	Financeiras:	3	Os investimentos precisam de autorização do governo e	Discussão com a sociedade e	

			consequente negociação da amortização dos custos.	planejamento de longo prazo para mudança gradual.
	Político-institucionais:	4	Falta de visão institucional quanto a obrigação de liderar o movimento pela adoção de novas tecnologias, seja pela via do regramento público para o setor, seja pelo anseio da sociedade organizada.	Necessidade de liderança (ausente no momento).
	Outras:			
Externalidades (em relação à baseline)	Ambientais: Sociais: Econômicos:			
Referências bibliográficas:	C40 e IDB, 2013. Low Carbon Technologies can transform Latin America's Bus Fleets. C40 Cities Climate Leader Group (C40) e <i>Inter-American Development Bank</i> (IDB). Hydrogen Laboratory, 2011. Implantação de ônibus não-poluentes no Rio de Janeiro.			

Tabela 50. Tecnologia 9

SETOR	TRANSPORTE				
Subsetor	Rodoviário de Carga				
Unidade Principal	Veículo/ano				
<b>Nova Tecnologia</b>					
Nome	Caminhões semileves e leves elétricos				
Descrição Geral	Caminhões ciclo Otto elétricos.				
Região	Brasil				
Nível de utilização da tecnologia		Frota	Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2020	89.716 <sup>1</sup> 456106 <sup>2</sup>	0	0	0%
	2025	94251 <sup>1</sup> 475.934 <sup>2</sup>	0	0%	3%
	2030	99361 <sup>1</sup> 503596 <sup>2</sup>	0	1%	5%
	2040	111397 <sup>1</sup> 572787 <sup>2</sup>	0	3%	10%
	2050	127768 <sup>1</sup> 662905 <sup>2</sup>	0	5%	20%
<sup>1</sup> Caminhão Semi-Leve <sup>2</sup> Caminhão Leve					
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2020: 150% <sup>1</sup> 2025: 132,1% 2030: 109,7% 2040: 89,8% 2050: 74,6%  <sup>1</sup> em relação à tecnologia atual (ciclo Diesel). Considerando o preço base R\$79.400 para caminhões semi-leve e R\$107.500 para caminh – cálculo baseado na diferença do ônibus urbano dedicado a etanol e ciclo diesel.				
Elementos de custo	1) 20% a menos de custo de manutenção; 2) Intensidade de CO2: não apresenta emissões locais				
Interrelação com outros setores	Energia				
Dificuldade de penetração <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras	
		Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	
	Técnicas:	2	Limitação de fornecimento de células de bateria	Estímulo ao desenvolvimento de novos produtos. Garantia mínima de produção com compra garantida.	
	Econômicas:	3	Setor enfrenta dificuldade conjuntural pois possui muitos agregados, com frota velha.	Plano de renovação de frota. Barreiras à entrada.	
Financeiras:	4	Investimentos maiores que	O governo lançar um selo verde		

			nos veículos convencionais.	para o setor e estimular por meio das suas compras o uso de empresas sustentáveis.
	Político-institucionais:	4	Falta de agenda dos stakeholder's com a sustentabilidade.	Fórum permanente (governo, empresários, acadêmicos e trabalhadores) para adoção de agenda comum.
	Outras:			
Externalidades (em relação à <i>baseline</i> )	Ambientais: Sociais: Econômicos:			
Referências bibliográficas:	C40 e IDB, 2013. Low Carbon Technologies can transform Laton América's Bus Fleets. C40 Cities Climate Leader Group (C40) e <i>Inter-American Development Bank</i> (IDB). Delft, 2013. Zero emissions trucks - An overview of state-of-the-art technologies and their potential.			

**Tabela 51.** Tecnologia 10

SETOR	TRANSPORTE			
Subsetor	Transporte Rodoviário de Carga			
Unidade Principal	Unidades/ano			
Nova Tecnologia				
Nome	Caminhão Médio Diesel Hidráulico (VW 24.220 – 3 eixos)			
Descrição Geral	<p>O sistema híbrido diesel hidráulico é composto por um motor e um acumulador hidráulico que armazena energia cinética recuperada pela frenagem por meio de um fluido (Folkson, 2014).</p> <p>O sistema de propulsão híbrido hidráulico possui duas configurações: em série ou em paralelo. Na configuração em série a potência mecânica do motor de combustão interna (MCI) é transmitida para as rodas de forma direta e por meio de uma transmissão hidráulica. Dessa forma, o sistema carrega o acumulador durante a frenagem e usa a energia hidráulica armazenada para movimentar o veículo (Rodrigues, 2010).</p> <p>Na configuração em paralelo a movimentação da roda pode consumir apenas a energia hidráulica armazenada no controlador, dispensando a utilização do motor de combustão interna (MCI) que segue o mesmo princípio do sistema híbrido diesel elétrico em paralelo, sendo acionado em função da necessidade ou da melhor aplicação e esta é feita de forma automática (Rodrigues, 2010).</p>			
Método de Projeção				
Região	Brasil			
Nível de utilização da tecnologia		Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2020	0	5% frota de caminhão de coleta lixo urbano	10% frota de caminhão de coleta lixo urbano
	2025	0	10% frota de caminhão de coleta lixo urbano	30% frota de caminhão de coleta lixo urbano
	2030	0	20% frota de caminhão de coleta lixo urbano	50% frota de caminhão de coleta lixo urbano
	2040	0	25% frota de caminhão de coleta lixo urbano	80% frota de caminhão de coleta lixo urbano
	2050	0	30% frota de caminhão de coleta lixo urbano	100% frota de caminhão coleta lixo urbano
Investimento (R\$/unidade) Data do câmbio: 2014	2014: R\$ 38.000 2020: R\$ 36.860 2025: R\$ 35.017 2030: R\$ 32.355 2040: R\$ 29.896 2050: R\$ 25.398			

Elementos de custo	1) Investimento inicial por caminhão: R\$ 385.000,00 2) Custo adicional por propriedade: R\$ 38.000,00 3) Economia de combustível por propriedade: até 25%			
Inter-relação com outros setores				
<b>Dificuldade de penetração</b> <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras
		Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)
	Técnicas:	3	Necessidade de testes de longa duração quanto a itens como confiabilidade e manutenção do equipamento.	
	Econômicas:	3	Serviço municipal. Dificuldade de articulação nacional dessa iniciativa.	Para que exista escala, uma lei federal deve obrigar e um programa de governo deve prover as orientações e formas de estímulo financeiro para as prefeituras passarem a adotar a exigência em suas concorrências públicas.
	Financeiras:	3	Custo de investimento mais alto.	Financiamento diferenciado.
	Político-institucionais:	4	Serviço concedido pelo poder público que deve ter interesse pela adoção da tecnologia.	Fórum permanente (governo, empresários, acadêmicos e trabalhadores) para adoção de agenda comum.
	Outras:			
Externalidades (em relação à baseline)	Ambientais:  Sociais: Melhoria da qualidade de vida da população, pela diminuição dos impactos ambientais negativos.  Econômicos: Maior margem econômica pela diminuição dos custos com combustível.			
Referências bibliográficas:	Oliveira L. A. de, D'Agosto M. A., Fernandes V. A, Oliveira C. M., (2014). A financial and environmental evaluation for the introduction of diesel-hydraulic hybrid-drive system in urban waste collection. <i>Transportation Research Part D</i> Vol. 31, pág. 100–109.			

Tabela 52. Tecnologia 11

SETOR	TRANSPORTE				
Subsetor	Transporte Rodoviário de Carga				
Unidade Principal	Unidade/ano				
Nova Tecnologia					
Nome	Caminhão Médio Híbrido Elétrico (VW 24.220 – 3 eixos)				
Descrição Geral	Caminhão Médio Híbrido Elétrico. Os componentes elétricos adicionais exigidos para a hibridização estão integrados a um Módulo de Potência Híbrido montado diretamente na carroceria. O módulo inclui a bateria, o sistema de controle, o sistema de resfriamento da bateria e o conversor de voltagem. O módulo é encapsulado e projetado para proteção contra colisão. A condução é auxiliada por uma unidade de direção eletro-hidráulica quando o veículo não está com o motor ligado. Todo o pacote híbrido, incluindo a bateria, acrescenta um total de 790 kg ao peso do caminhão.				
Método de Projeção					
Região	Brasil				
Nível de utilização da tecnologia		Frota	Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2025	207.996	0	0	3,4%
	2030	205.732	0	4,5	9,1%
	2040	216.240	0	8,3%	16,7%
	2050	242.428	0	17,5%	35,5%
Investimento (R\$/unidade) Data do câmbio: 2016	2013: 60% <sup>1</sup> 2020: 49,5% 2030: 37,7% 2040: 24,6% 2050: 9,9% <sup>1</sup> em relação à tecnologia atual (ciclo Diesel), considerando o preço base R\$135.000.				
Elementos de custo	3) 20% a menos de custo de manutenção; 4) 18% de combustível.				
Inter-relação com outros setores	1) Setor de Energia				
Dificuldade de penetração <i>Avaliação:</i> 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta			Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras
			Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)
	Técnicas:		1	Restrição da capacidade de carga dos caminhões em função do volume/peso do equipamento.	
	Econômicas:		2	Setor enfrenta dificuldade conjuntural pois possui muitos agregados, com frota velha.	Plano de renovação de frota. Barreiras à entrada.

	Financeiras:	3	Investimentos maiores que nos veículos convencionais.	O governo lançar um selo verde para o setor e estimular por meio das suas compras o uso de empresas sustentáveis.
	Político-institucionais:	4	Falta de agenda dos stakeholder's com a sustentabilidade.	Fórum permanente (governo, empresários, acadêmicos e trabalhadores) para adoção de agenda comum.
	Outras:			
Externalidades (em relação à baseline)	<p>Ambientais: Redução de 25% das emissões de CO<sub>2</sub>, 60% de NO<sub>x</sub>, 70% de PM1,5, 70% de THC e 80% das emissões de CO.</p> <p>Sociais:</p> <p>Econômicos: economia de 30% de combustível e durabilidade 15 anos maior em relação à tecnologia convencional</p>			
Referências bibliográficas:	<p>C40 e IDB, 2013. Low Carbon Technologies can transform Latin América's Bus Fleets. C40 Cities Climate Leader Group (C40) e <i>Inter-American Development Bank</i> (IDB).</p> <p>Delft, 2013. Zero emissions trucks - An overview of state-of-the-art technologies and their potential.</p> <p>Scania, 2015. <a href="http://www.scania.com.br/a-scania/imprensa/press-releases/directory/press_release_43_15.aspx">http://www.scania.com.br/a-scania/imprensa/press-releases/directory/press_release_43_15.aspx</a></p>			



Tabela 53. Tecnologia 12

SETOR	TRANSPORTE				
Subsetor	Rodoviário de Carga				
Unidade Principal	Veículo/ano				
Nova Tecnologia					
Nome	Caminhões semi-pesados e pesados híbrido elétrico-hidrogênio				
Descrição Geral	Caminhões elétrico-hidrogênio (pilha a combustível), baterias de íon de lítio tracionárias que são recarregadas por oportunidade.				
Região	Brasil				
Nível de utilização da tecnologia		Frota	Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2040	650.632 <sup>1</sup> 545.816 <sup>2</sup>	0	2%	4%
	2050	700.275 <sup>1</sup> 576.884 <sup>2</sup>	0	5%	10%
<sup>1</sup> Caminhão Semi-Pesado					
<sup>2</sup> Caminhão Pesado					
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016	2020: 263% <sup>1</sup> 2025: 181,49% 2030: 123,6% 2040: 81,97% 2050: 52,03%  <sup>1</sup> em relação à tecnologia atual (ciclo Diesel). Considerando o preço base R\$156.000 para caminhões semi- pesado e R\$247.000 para caminhão pesado				
Elementos de custo	1) 20% a menos de custo de manutenção; 2) Intensidade de CO2: não apresenta emissões locais				
Interrelação com outros setores	Energia				
Dificuldade de penetração <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras	
		Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	
	Técnicas:	4	Disponibilidade do hidrogênio ao longo da malha rodoviária.		
	Econômicas:	3	Setor enfrenta dificuldade conjuntural pois possui muitos agregados, com frota velha.	Plano de renovação de frota. Barreiras à entrada.	
	Financeiras:	4	Investimento muito maior que nos veículos convencionais.	O governo lançar um selo verde para o setor e estimular por meio das suas compras o uso de empresas sustentáveis.	
Político-institucionais:	4	Interesse dos principais agentes em apresentar	Fórum permanente (governo, empresários,		

			uma alternativa sustentável ao petróleo. Falta de agenda dos stakeholder's com a sustentabilidade.	acadêmicos e trabalhadores) para adoção de agenda comum.
	Outras:			
Externalidades (em relação à baseline)	Ambientais: Sociais: Econômicos:			
Referências bibliográficas:	C40 e IDB, 2013. Low Carbon Technologies can transform Latin America's Bus Fleets. C40 Cities Climate Leader Group (C40) e <i>Inter-American Development Bank</i> (IDB). Delft, 2013. Zero emissions trucks - An overview of state-of-the-art technologies and their potential.			

Tabela 54. Tecnologia 13

SETOR	TRANSPORTE				
Subsetor	Rodoviário de Carga				
Unidade Principal	Veículo/ano				
<b>Nova Tecnologia</b>					
Nome	Caminhões semi-pesados e pesados B30				
Descrição Geral	Caminhões semi-pesados e pesados utilizando diesel com 30% de biodiesel no volume.				
COMENTÁRIOS	Bruno R. L. Stukart: Hoje as montadoras Brasileiras estão mais preocupadas em desenvolver a tecnologia EURO VI para conseguir exportar para a Europa e para o resto do mundo. Pelo que li no relatório da ANTP (Impactos Substituição Bus por veículos menos poluentes), a utilização de percentuais de biodiesel acima de 10% prejudica o funcionamento de motores com a tecnologia EURO VI. Dado o cenário atual, acho mais provável o uso urbano passar a usar percentuais maiores, e o uso rodoviário migrar para os padrões de emissão europeus, utilizando menos biodiesel. Mas isso dependerá da legislação brasileira.				
Região	Sudeste para nível mínimo e Brasil para nível máximo.				
Nível de utilização da tecnologia		Frota	Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo
	2050	700.275 <sup>1</sup> 576.884 <sup>2</sup>	0	20%	90%
<sup>1</sup> Caminhão Semi-Pesado					
<sup>2</sup> Caminhão Pesado					
Investimento (R\$/unidade) Reais de 2016					
Elementos de custo	Redução de emissão de CO2.				
Interrelação com outros setores	AFOLU				
<b>Dificuldade de penetração</b> <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Grau de Dific.	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras	
		Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	Jurandi Arruda (ITL)	
	Técnicas:	2	Frota circulante não preparada para este combustível.	Programa de renovação de frota.	
	Econômicas:	2			
	Financeiras:	2			
	Político-institucionais:	2	Garantia de produção do biodiesel para atender à demanda.		
Outras:					
Externalidades (em relação à baseline)	Ambientais: Sociais: Econômicos:				
Referências bibliográficas:	C40 e IDB, 2013. Low Carbon Technologies can transform Latin America's Bus Fleets. C40 Cities Climate Leader Group (C40) e <i>Inter-American Development Bank</i> (IDB). Delft, 2013. Zero emissions trucks - An overview of state-of-the-art technologies and their potential.				

## 2.8. Avaliação geral do setor

No geral, os especialistas que compuseram a mesa de transporte no Workshop “Tecnologias de Mitigação de Emissões de GEE no Brasil até 2050” consideraram as premissas utilizadas na modelagem do ano base otimistas.

Com relação à divisão modal do transporte de passageiro, eles disseram que isso não deve mudar em cenários de mitigação, visto que as premissas do cenário de plano governamental já abrangem todas as medidas de mitigação possíveis de serem implementadas até 2050.

Os especialistas concordaram que a projeção da frota considerando o cenário macroeconômico, atingindo 95 milhões de veículos leves em 2050.

Quando a penetração dos veículos leves híbridos e elétricos, isso deve depender de incentivos governamentais. Os membros da mesa consideraram que é melhor repensar na divisão das vendas de veículos leves, por conta do atual cenário econômico.

Também foi considerado que a penetração dos ônibus híbridos está muito otimista. Quando se trata de ônibus, para haver mudanças é necessário que o estado imponha o tipo de ônibus, pois há resistência do frotista.

Ainda no transporte de passageiro, foi destacado que a premissa utilizada de que a escolha *flex* seria de 75% de etanol e 25% de gasolina estava otimista, visto que a escolha pelo etanol depende principalmente do preço, e o preço deste combustível depende do preço do açúcar no mercado internacional e de como será a safra. Dessa forma, um cenário em que o etanol represente 50% da escolha *flex* representa melhor uma trajetória de linha de base.

Por último, considerou-se que o ônibus elétrico plug-in teria uma grande barreira relacionada a infraestrutura de abastecimento.

Com relação ao transporte de carga, os especialistas concordaram que as premissas de divisão modal do PNLT (que levam em conta os projetos do PAC) são demasiadamente otimistas. Como exemplo foi citado que se leva 20 anos para construir uma ferrovia no Brasil, ou seja, a mudança na divisão modal é lenta e gradual, sendo difícil o modo ferroviário atingir 45% de participação.

A frota de caminhão, na visão dos membros da mesa, está superestimada no Balanço 2050 realizado pela EPE (2016) e não condizia com a projeção da atividade de transporte e da divisão modal futura.

Quanto ao uso dos biocombustíveis no transporte de carga, a premissa de B30 para caminhões pesados não foi considerada viável, uma vez que, os caminhões pesados rodam mais de 100 mil quilômetros por ano, logo, o uso de 30% de biodiesel na mistura pode acarretar em problemas tecnológicos. Soma-se a isso o fato de da dificuldade de ofertar diesel B30 nos postos de todas as rodovias brasileiras, visto que tal combustível requer maiores cuidados no armazenamento.

Quanto aos caminhões à Hidrogênio todos consideraram que existe a dificuldade de implementação desta tecnologia por conta da necessidade da infraestrutura de abastecimento.

### 3. Referências Bibliográficas

- ABRACICLO, Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas. ABRACICLO, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares, 2016.
- ANFAVEA, 2016. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em 10 nov. 2015.
- ANFAVEA, 2016. 2034 Uma Visão do Futuro. Disponível em: [http://automotivebusiness.ananekcdn.net.br/pdf/pdf\\_264.pdf](http://automotivebusiness.ananekcdn.net.br/pdf/pdf_264.pdf). Acesso em: 27 jan. 2016.
- BYD, 2014. Installation Manual and User Manual for BYD Double Glass Photovoltaic Modules.
- C40 e IDB, 2013. Low Carbon Technologies can transform Laton América’s Bus Fleets. C40 Cities Climate Leader Group (C40) e *Inter-American Development Bank* (IDB).
- EPE, 2012. Empresa de Pesquisa Energética. Estudo Associado ao Plano Decenal de Energia – PDE 2021. Consolidação de Bases de Dados do Setor de Transporte: 1970-2010. Nota técnica SDB-Abst 1/12012, Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2012.
- EPE, 2016a. Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica DEA 13/14 : Demanda de Energia 2050. Série Estudos da Demanda de Energia. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2016.
- EPE, 2016b. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional – 2016. Ano Base 2015, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil, 2016.
- Façanha, C., Blumberg, K., Miller, J., 2012. Global Transportation Energy and Climate. The International Council on Clean Transportation (ICCT).
- Freitas, W.R.S. e Jabbour, C.J.C. Utilizando estudo de caso(s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões. *Estudo&Debate, Lajeado*, v.18, n.2, pp 07-22, 2011.
- Gil, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- Greenpeace International, Global Wind Energy Council e Solar Power Europe, 2015, 5th Edition 2015 World Energy Scenario.
- IBGE, 2013. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pec/Indeco/Port/ie1-51.xlsx>> Acesso em 12 dez. 2015.
- Kirk, Jerome and Miller, Marc L.(1986) *Reability and validity in qualitative research*. Beverly Hills; Sage.
- LPAA – Lima-Paris Action Agenda, 2015. Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action, Paris.
- MCT, 2010. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2010. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte Rodoviário, Brasília 2010.
- MMA, 2011. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.

- MMA, 2013. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- Nissan, 2011. Leaf - Owner Manual.
- Nissan, 2016. Disponível em: <[http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2011/\\_STORY/111025-01-e.html](http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2011/_STORY/111025-01-e.html)> Acesso em: 08.jan.16.
- PNLT 2011. Plano Nacional de Logística e Transportes (2011) Projeto de Reavaliação de estimativas e Metas do PNL. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/images/2014/11/PNLT/2011.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2015.
- Schipper, L., Marie-Lilliu, C. e Gorham, R. Flexing the Link Between Transport and Greenhouse Gas Emissions: A Path for the World Bank. International Energy, Agency, 2000.
- Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Sindipeças, 2009. Credidio, J. & Serra, B (coord). Estudo da frota circulante brasileira – Sindicato Nacional de Industria de Componentes para Veículos Automotores.
- Terberg Special Vehicles, 2016. Disponível em: <[www.terbergspecialvehicles.com/products/tractors/yt-yard-tractors/yt202-ev/](http://www.terbergspecialvehicles.com/products/tractors/yt-yard-tractors/yt202-ev/)> Acesso em: 08.jan.16.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015. Mobilise Your City Local Governments in Developing Countries Take High Road to Low-Carbon. <<http://newsroom.unfccc.int/lpaa/transport/mobiliseyourcity-taking-the-high-road-to-low-carbon/>> (acesso em 07.06.2016).
- Vanek, F.; Angenent, L.; Banks, J.; Daziano, R.; Turnquist, M. 1st Edition. Sustainable Transportation Systems Engineering: Evaluation & Implementation. Mac Graw Hill Education, 2014.
- Vaz, L. F. H.; Barros, D. C.; Castro, B. H. R. C. (2015) Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. Automotivo. BNDES Setorial, v.41, p.295-344.
- Vyas, A. D.; Patel, D. M.; Bertram, K. M. (2013). Potential for Energy Efficiency Improvement Beyond the Light-Duty-Vehicle Sector. *Transportation Energy Futures Series*. Prepared for the U.S. Department of Energy by Argonne National Laboratory, Argonne, IL. DOE/GO-102013-3706. 82 pp.