

CENÁRIOS PROSPECTIVOS FUTUROS PARA O USO DE ENERGIA  
EM TRANSPORTES NO BRASIL E AS EMISSÕES DE GEE  
CENÁRIO BUSINESS AS USUAL (BAU) - 2050

# **Cenários prospectivos futuros para o uso de energia em transportes no Brasil e as emissões de GEE**

**Cenário Business as Usual (BAU) - 2050**

**Relatório Final**

## **AUTORES**

Daniel Neves Schmitz Gonçalves (danielnsg@pet.coppe.ufrj.br)

Marcio de Almeida D'Agosto (dagosto@pet.coppe.ufrj.br)

Pesquisadores do Laboratório de Transporte de Carga (LTC/PET/COPPE/UFRJ)

Rio de Janeiro, 2017

1ª Edição

## **EDITORA**

Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS)

## **CAPA**

Unicast Consultoria

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-93743-01-6



9 788593 743016

Agradecemos ao Greenpeace Brasil, aos pesquisadores do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente e aos colaboradores do LTC, em especial ao George Goes, Cintia Oliveira e William Montarroyos, que apoiaram a elaboração deste trabalho.

Neves Schmitz Gonçalves, Daniel  
Cenários prospectivos futuros para o uso de energia em  
transportes no Brasil e as emissões de GEE: Cenário Business  
as Usual (BAU) - 2050 / Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Márcio  
de Almeida D'Agosto. -- Rio de Janeiro, 2017.  
65 f.

# Sumário

Sumário	IV
Siglas	V
Tabelas	VII
Figuras	VIII
APRESENTAÇÃO .....	1
TRABALHOS RECENTES RELACIONADOS AO TEMA .....	2
1. Introdução .....	3
2. Metodologia .....	5
2.1. Abordagem qualitativa .....	7
2.2. Abordagem quantitativa.....	8
2.2.1. Metodologia <i>top-down</i> .....	8
2.2.2. Metodologia <i>bottom-up</i> .....	12
3. Premissas.....	19
3.1.1. Dados macroeconômicos .....	19
3.1.5. Transporte de passageiros.....	24
3.1.6. Transporte de carga.....	31
4. Resultados encontrados e análises .....	35
4.1. Momento de transporte.....	35
4.2. Demanda energética .....	39
4.3. Emissões de CO <sub>2</sub> .....	41
5. Considerações finais, limitações e proposições para trabalhos futuros .....	45
6. Referências bibliográficas.....	48
Anexo I – Setores e sua participação nas emissões totais de CO <sub>2eq</sub> de 2010 (1.271.399 Gg CO <sub>2eq</sub> )	
50	
Anexo II – <i>Workshops</i> realizados e instituições presentes.....	51
Anexo III – Evolução da demanda energética (10 <sup>3</sup> tep).....	52
Anexo IV – Evolução do momento de transporte de passageiros (10 <sup>6</sup> pass.km) e de carga (10 <sup>6</sup> t.km).....	55

## Siglas

ABRACICLO: Associação Brasileira dos fabricantes de motocicletas, ciclomotores, motonetas, bicicletas e similares.

ANAC: Agência Nacional de Aviação Civil.

ANFAVEA: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.

ANTAQ: Agência Nacional de Transportes Aquaviários.

ANTT: Agência Nacional de Transportes Terrestres.

ASI: *Avoid Shift Improve.*

ASIF: *Activity, Structure, Intensity and Fuel.*

B8: 8% de biodiesel adicionado ao diesel de petróleo

BAU: *Business as Usual.*

BEN: Balanço Energético Nacional.

BEV: *Battery Electric Vehicle.*

BRT: *Bus Rapid Transit.*

BX: Percentual de biodiesel adicionado ao diesel de petróleo

CEC: Comitê de Elaboração de Cenários.

COP: Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

EPE: Empresa de Pesquisa Energética.

FBMC: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas.

GEE: Gases de Efeito Estufa.

Gg: Gigagrama.

GNV: Gás Natural Veicular.

HDV: *Heavy-Duty Vehicles.*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

ICCT: *The International Council on Clean Transportation.*

IEA: Agência Internacional de Energia.

iNDCs: Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas.

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LDV: *Light-Duty Vehicles*.

LTC: Laboratório de Transporte de Carga.

NDC: Contribuições Nacionalmente Determinadas.

OMS: Organização Mundial da Saúde.

PBMC: Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PBT: Peso Bruto Total.

PDE: Plano Decenal de Energia.

PIB: Produto Interno Bruto.

PNE: Plano Nacional de Energia.

SFC: *Smart Freight Centre*.

TEP: Tonelada Equivalente de Petróleo.

TOD: Transporte Orientado ao Desenvolvimento.

## Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Fator de emissão de CO <sub>2</sub> por tipo de combustível.....	17
<b>Tabela 2.</b> Potencial de melhorias em eficiência energética de todos os modos de transportes. ....	22
<b>Tabela 3.</b> Divisão modal para o transporte de passageiros.....	24
<b>Tabela 4.</b> Tipos e percentuais de veículos rodoviários de passageiros, ano base 2015. ....	26
<b>Tabela 5.</b> Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de passageiros.....	27
<b>Tabela 6.</b> Rendimento e melhoria de eficiência energética dos veículos rodoviários de passageiros (ciclo Otto).....	29
<b>Tabela 7.</b> Rendimento energético dos veículos rodoviários de passageiros (GNV). ....	30
<b>Tabela 8.</b> Rendimento energético dos veículos rodoviários de passageiros. ....	30
<b>Tabela 9.</b> Evolução do rendimento energético por modo de transporte, em kJ/pass.km. ....	31
<b>Tabela 10.</b> Divisão modal esperada/ajustada em t.km.....	32
<b>Tabela 11.</b> Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de carga. ....	33
<b>Tabela 12.</b> Rendimento e melhoria de eficiência energética dos veículos rodoviários de carga (ciclo Diesel).....	34
<b>Tabela 13.</b> Evolução do rendimento energético por modo de transporte, em kJ/t.km. ....	34

## Figuras

Figura 1. Variação anual – t.km x PIB .....	6
Figura 2. Método ASIF. ....	7
Figura 3. Procedimento adotado para estimar o consumo de energia por meio da metodologia <i>top-down</i> . ....	9
Figura 4. Procedimento adotado para estimar o consumo de energia por meio da metodologia <i>bottom-up</i> .....	13
Figura 5. Variação anual – Vendas de veículos (leves e caminhões) x PIB. ....	15
Figura 6. Projeções do PIB brasileiro. ....	19
Figura 7. Projeção do PIB <i>per capita</i> brasileiro para 2050. ....	20
Figura 8. Evolução do momento de transporte de passageiros.....	35
Figura 9. Evolução do momento de transporte de passageiros por modo. ....	36
Figura 10. Evolução do momento de transporte de carga. ....	37
Figura 11. Evolução do momento de transporte de carga por modo. ....	37
Figura 12. Demanda agregada de energia por atividade. ....	39
Figura 13. Demanda de energia por fonte – Transporte de passageiros .....	40
Figura 14. Demanda de energia por fonte – Transporte de carga. ....	40
Figura 15. Emissão de CO <sub>2</sub> – transporte de passageiros. ....	41
Figura 16. Emissão de CO <sub>2</sub> – transporte de carga. ....	42
Figura 17. Evolução da emissão de CO <sub>2</sub> por tipo de transporte.....	43
Figura 18. Evolução da emissão de CO <sub>2</sub> – Setor de transportes.....	43



## APRESENTAÇÃO

O estudo intitulado *Cenários prospectivos futuros para o uso de energia em transportes no Brasil e as emissões de GEE* é uma publicação desenvolvida pelo Laboratório de Transporte de Carga (LTC) do Programa de Engenharia de Transportes (PET) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), editorado e publicado pelo Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS).

Esta primeira edição, dando início a uma série de publicações, apresenta o Cenário *Business as Usual* (BAU) do setor de transportes, que envolve o transporte de passageiros e o de carga, considerando apenas os deslocamentos domésticos brasileiros. Nas próximas edições pretende-se apresentar novos cenários.

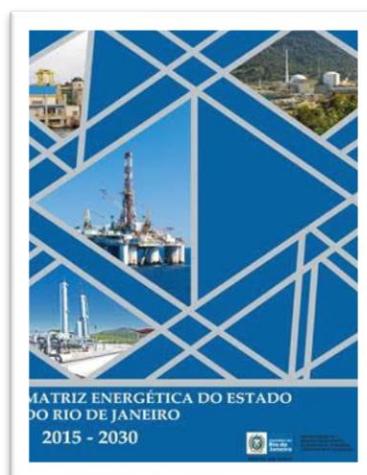
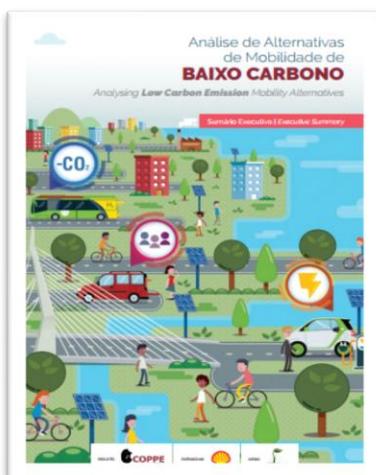
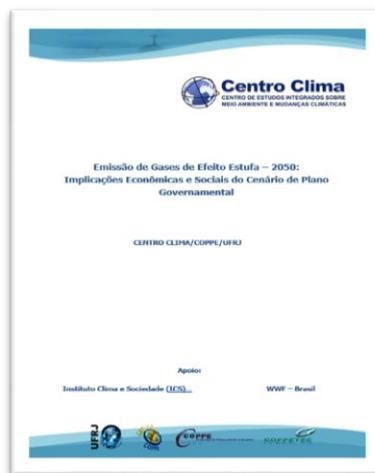
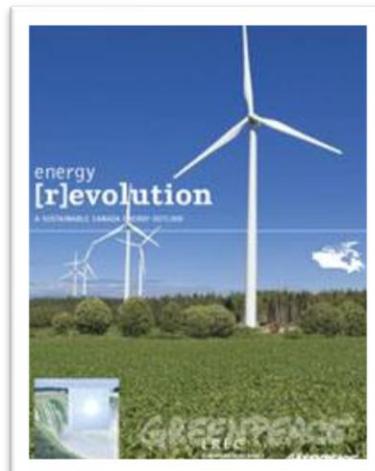
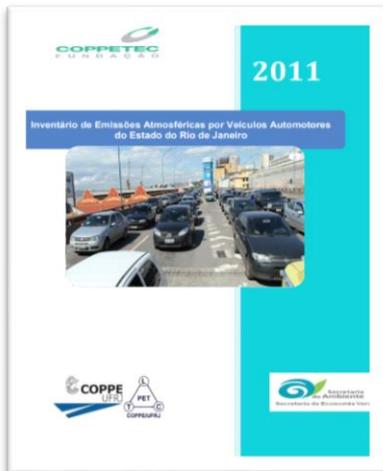
O estudo tem como objetivo ilustrar o efeito da evolução tendencial do setor de transportes na demanda de energia, em particular no que se refere aos combustíveis fósseis e, conseqüentemente, nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Visa, portanto, auxiliar na tomada de decisão sobre as estratégias para mitigar as emissões de GEE. Sendo um instrumento de fundamental importância para se elaborar diretrizes de ações na área energética, contempla os aspectos econômicos, financeiros, sociais, ambientais, institucionais, tecnológicos e de recursos humanos e a interligação entre eles.

O estudo foi coordenado pelo Prof. Marcio D'Agosto, que participou de trabalhos relacionados ao tema, dentre eles destacam-se os seguintes: item 3.3 – Transportes do Capítulo 3 – Caminhos para a Mitigação das Mudanças Climáticas do Volume 3 – Relatório de Mitigação das Mudanças Climáticas do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) (2011); Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro (2011); duas edições do *Energy Revolution* publicado pelo Greenpeace (2013, 2015); Capítulo 8 do Relatório de Análise 5 - *Mitigation of Climate Change* do Grupo de Trabalho III do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2014), Análise de Alternativas de Mobilidade de baixo carbono (2015); Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro (2016); e Emissão de GEE – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental (2016).

A participação na elaboração dos trabalhos citados e nos encontros da Câmara Temática do Setor de Transportes do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC) permitiu a identificação de premissas, parâmetros e variáveis que estão presentes no Cenário BAU, sendo baseadas em um processo participativo de elaboração de cenários, que mobilizou os setores da sociedade brasileira apresentados no Anexo I.



## TRABALHOS RECENTES RELACIONADOS AO TEMA





## 1. Introdução

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2013), os transportes são os maiores consumidores de combustíveis derivados de petróleo, uma fonte de energia não renovável, cerca de 93% do consumo mundial de energia no setor de transporte se dá na forma de derivados de petróleo. Assim sendo, é um dos que mais contribui para a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (7,1Gt CO<sub>2</sub>eq em 2013 com aumento de 2,3 vezes nos últimos 40 anos), cujo aumento de concentração na atmosfera é responsável pelo aquecimento global, o maior desafio ambiental da humanidade para o século XXI. Logo, o desafio de mitigação das emissões de GEE no setor de transportes se reflete nos compromissos internacionais, estando presente em 77% das Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas (iNDCs) submetidas no acordo do clima de Paris no final de 2015 (GOTA *et al.*, 2015).

Além disso, atualmente cerca de 54% da população mundial vive em áreas urbanas e esta tendência é crescente no século XXI (United Nations, 2014). Garantir a sustentabilidade para a mobilidade de pessoas e cargas nas cidades é outro desafio de igual envergadura para as próximas décadas. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), os transportes são a maior fonte de poluentes atmosféricos nas cidades, responsáveis por prejuízos sociais significativos decorrentes de doenças respiratórias, cardiovasculares e neurológicas, estresse, lesões e mortes devido a acidentes. No Brasil, assim como em todo o mundo, existe uma forte correlação entre a movimentação de pessoas e cargas e o produto interno bruto (PIB), em sua forma agregada ou *per capita*. No período entre 2006 e 2015, os momentos de transporte de passageiros e de carga cresceram 58% e 31%, respectivamente, enquanto o PIB cresceu 120% e a população 9% (GONÇALVES ; D'AGOSTO, 2017).

Por outro lado, a demanda energética do setor de transportes no Brasil cresceu cerca de 64% no período de 2005 a 2014, aumentando sua relevância no consumo final de energia, com 32% de participação. Isso corresponde a 69% do consumo de petróleo e gás natural, combustíveis fósseis, e 13,8% das emissões GEE, ficando atrás da fermentação entérica e do desmatamento da Amazônia, que correspondem a cerca de 18,4% e 14,1% das emissões de GEE, respectivamente (MCTI, 2016).

A busca por cenários sustentáveis coloca os setores (ANEXO I) responsáveis pela maior parte das emissões de GEE no país diante de novos desafios, que devem ser reconhecidos e discutidos para o aprimoramento do planejamento setorial sob a ótica do poder público, da iniciativa privada e da sociedade civil organizada.



A técnica de Cenários Prospectivos Futuros é uma ferramenta que possibilita a identificação e proposição de respostas quanto aos impactos econômicos, ambientais e sociais da aplicação de diferentes conjuntos de medidas de mitigação de emissões de GEE no Brasil até 2050.

Tal estudo tem por objetivo obter um cenário tendencial (*Business as Usual* – BAU) de evolução da matriz energética para os transportes no Brasil até 2050, considerando o consumo de energia e as emissões de GEE. Busca-se, com este estudo, oferecer aos tomadores de decisão, do poder público e da iniciativa privada, uma estimativa sobre como o Brasil poderá aumentar o nível de serviço ofertado e reduzir custos de transporte por meio de premissas direcionadas a uma economia de baixo carbono.

Além dessa Introdução, o estudo possui quatro outras seções. Na seção dois será descrita a metodologia para realizar as estimativas. Na seção três serão apresentadas as premissas consideradas para cada modo de transporte e tipo de atividade. Na seção quatro serão apresentados e analisados os resultados. Na seção cinco serão apresentadas as considerações finais, limitações e recomendações para estudos futuros.



## 2. Metodologia

Levando em consideração os objetivos deste estudo, optou-se por aplicar uma combinação 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 prático, 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, e nos métodos e procedimentos de coleta e análise dos dados (GIL, 2008).

Quanto à abordagem deste trabalho, optou-se por realizar uma pesquisa quantitativa, definindo-se os parâmetros e as variáveis para obter uma avaliação precisa dos componentes do problema abordado, e uma pesquisa qualitativa com a finalidade de verificar o fenômeno por meio do estudo do mesmo (KIRK e MILLER, 1986).

Quanto aos procedimentos 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 projeção de cenários futuros nacionais e internacionais realizados por entidades públicas e/ou privadas, levantar informações sobre eficiência energética para o setor de transportes, identificar possibilidade de mudança de comportamento dos usuários de transporte, entre outros.

Além disso, foram feitas pesquisas, junto a especialistas da área de transporte e energia, com o propósito de ratificar as premissas adotadas em outros estudos realizados pela equipe.

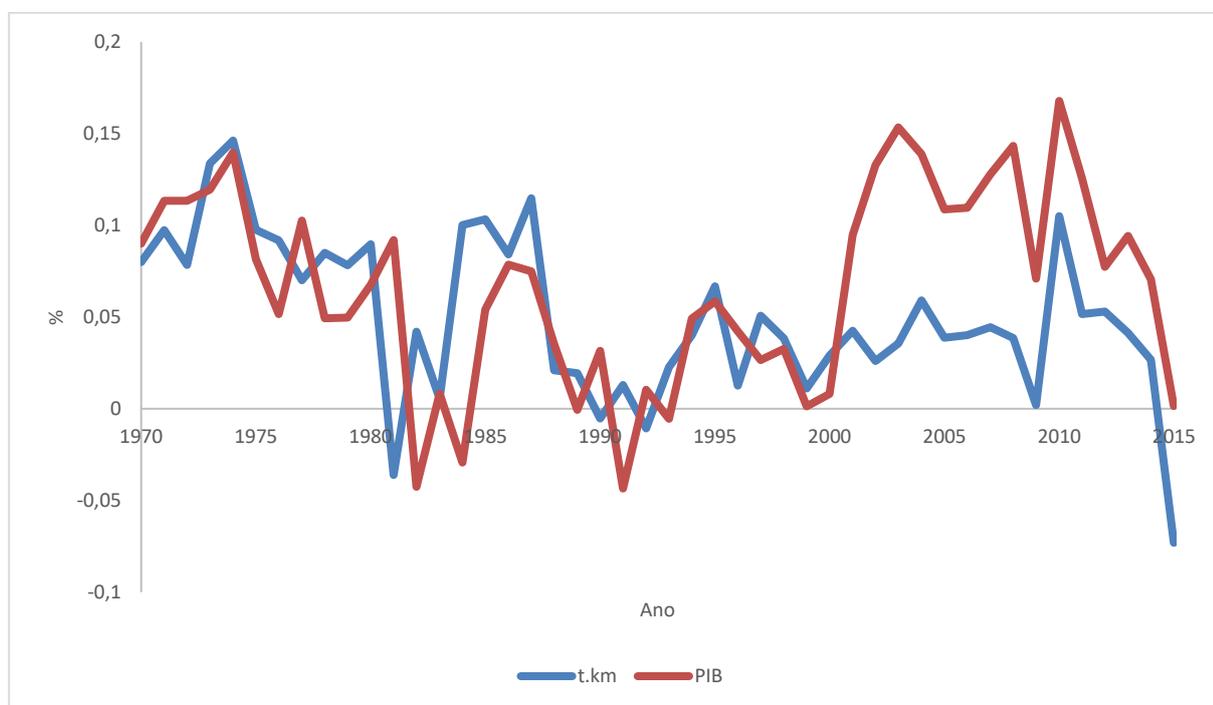
Quanto aos procedimentos para análise dos dados levantados nos livros, artigos científicos, relatórios e documentos técnicos, utilizaram-se ferramentas matemáticas e estatísticas para estabelecer a relação entre as variáveis consideradas na construção dos cenários. Os resultados obtidos foram comparados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

É importante ressaltar que, em função do amplo horizonte de projeção (2016-2050) 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.

Tendo em vista que as projeções de consumo de energia 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 para o transporte de carga, considerando-se o comportamento apresentado na Figura 1, e ao PIB *per capita* para o transporte de passageiros (FAÇANHA *et al.*, 2012; EPE, 2016a; VANEK *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Variação anual – t.km x PIB

Fonte: Elaborado pelos autores.

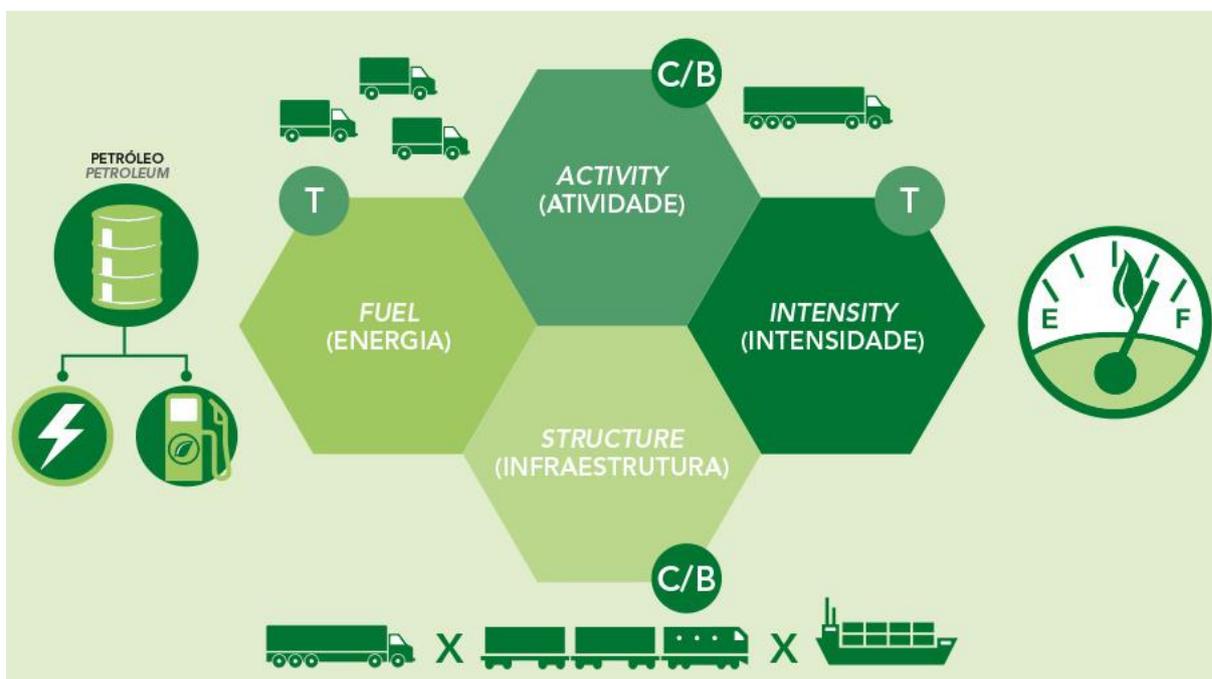
Entende-se momento de transporte como uma medida de passageiro-quilômetro (pass.km) transportado, para o transporte de passageiros, e tonelada-quilômetro (t.km) transportada, para o transporte de carga. Passageiro-quilômetro é uma unidade que apresenta o trabalho relativo ao deslocamento de um passageiro 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).



## 2.1. Abordagem qualitativa

Para a abordagem qualitativa, utilizou-se o método ASIF, que foi introduzido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) 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 as seguintes: 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).

A Figura 2 apresenta as linhas de atuação do método. A redução da atividade de transporte e o aumento da oferta de infraestrutura estão usualmente melhor relacionados à mudança no comportamento quanto à escolha por modos de transporte de passageiros de carga. 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.



**Figura 2.** Método ASIF.

**Legenda:** \*C/B – Comportamento/Behavior \*T – Tecnologia/technology

**Fonte:** Oliveira e D'Agosto (2017).



O método ASIF é coerente com as medidas voltadas para desenvolver sistemas de transportes mais eficientes e sustentáveis no futuro, como o método *Shift, Improve and Avoid* (ASI) utilizado na abordagem do Transporte Orientado ao Desenvolvimento (TOD) e na abordagem adotada pelo *Smart Freight Centre* (SFC). O método ASIF foi utilizado no 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 *Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental* (D'AGOSTO; GONÇALVES; OLIVEIRA, 2016).

## 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 para o transporte de carga e ao PIB *per capita* para o transporte de passageiros.

A prática adotada na literatura especializada pesquisada e a análise de sensibilidade realizada apontaram a possibilidade de estimar o momento de transporte de passageiros por meio do PIB *per capita* (relação entre PIB e população), considerando que os deslocamentos de passageiros não estejam relacionados apenas à quantidade de pessoas, mas também ao seu poder aquisitivo.

Em função da disponibilidade de dados úteis e da 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, aquático, dutoviário e aéreo.

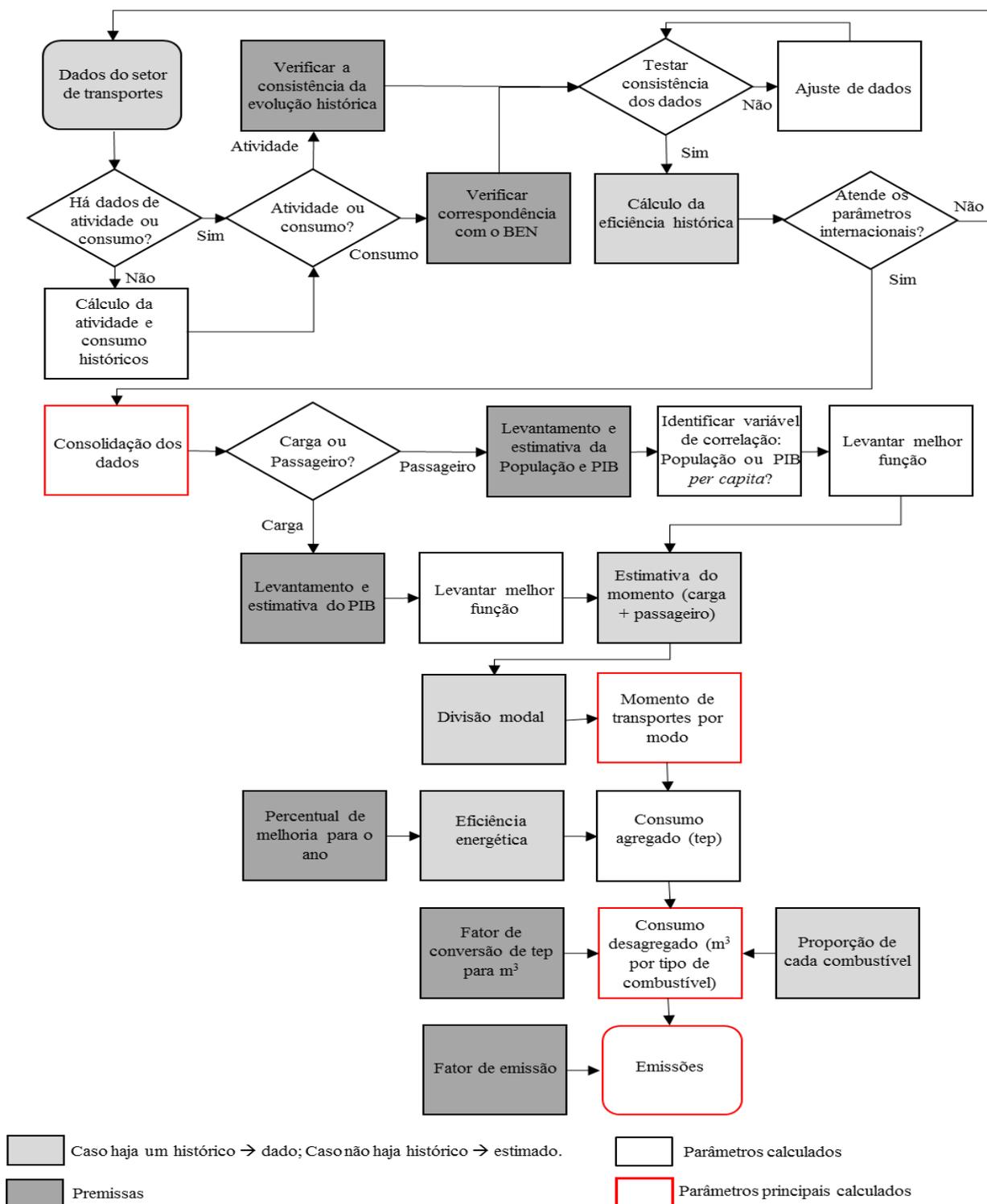
As metodologias *top-down* e *bottom-up* foram utilizadas de forma conjunta no caso do modo rodoviário. Neste caso, os resultados da aplicação da metodologia *top-down* foram utilizados para ajustar a evolução do momento de transporte e do consumo de energia.

### 2.2.1. Metodologia *top-down*

A metodologia *top-down* tem por característica identificar e quantificar o consumo de energia de forma agregada, permitindo apenas uma visão generalizada do uso de cada fonte de energia. Assim, o cálculo da demanda de energia é realizado com base em quatro conjuntos principais de dados para cada modo de transporte: (1) o momento de transporte; (2) a divisão modal; (3) a eficiência energética; e (4) a divisão por tipo de combustível.



O procedimento usado para estimar o consumo de energia e emissões de GEE por meio da metodologia *top-down* está sintetizado na Figura 3.



**Figura 3:** Procedimento adotado para estimar o consumo de energia por meio da *metodologia top-down*.

Legenda: BEN – Balanço Energético Nacional

Fonte: Elaborado pelos autores.



Optou-se por adotar esta metodologia para os modos ferroviário, aquático, dutoviário e aéreo, para os transportes de carga e passageiros, 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, o PDE 2021 (EPE, 2012), no qual o consumo de energia foi levantado com base nos relatórios do Balanço Energético Nacional. Além disso, adotou-se esta metodologia, também para o modo rodoviário, para calibração dos resultados alcançados pela aplicação da metodologia *bottom-up*.

#### 2.2.1.1. *Coleta de dados*

Inicialmente, levantaram-se os dados considerados como indispensáveis para a 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; e (6) perspectivas futuras de investimento, melhorias de eficiência e introdução de novas tecnologias.

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

#### 2.2.1.2. *Análise de consistência dos dados*

Após calcular o momento de transporte e seu respectivo consumo de energia, verificou-se que a atividade de transporte segue uma sequência histórica lógica, com valores próximos aos dos anuários do Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes (GEIPOT) e do estudo PDE 2021. Além disso, verificou-se que o consumo corresponde ao apresentado no Balanço Energético Nacional (BEN).

Nos casos em que as verificações apontaram divergências, o momento de transporte foi ajustado. Em alguns casos nos quais este ajuste não foi possível, uma nova coleta de dados foi realizada.

#### 2.2.1.3. *Cálculo da eficiência energética*

Após verificação e ajustes, a eficiência energética foi calculada pela relação entre o consumo de energia em Joule e o momento de transporte. 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.



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

#### *2.2.1.4. Consolidação dos dados*

Finalizada a etapa de verificação e ajuste dos dados históricos 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 participação do momento de cada modo no momento total do respectivo ano.

#### *2.2.1.5. Levantamento e estimativas da população e PIB*

Nesta etapa, foram levantados os dados históricos de população e PIB, além da estimativa futura dos mesmos. Depois disso, foi calculado o PIB *per capita*.

#### *2.2.1.6. 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* (nacionais e estadual). 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 ajustava aos dados históricos.

#### *2.2.1.7. Estimativa da divisão modal*

Levantou-se os planos governamentais, em um 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.

#### *2.2.1.8. Estimativa de eficiência energética*

Após o cálculo da eficiência energética média histórica até o ano base, identificou-se na literatura o percentual de melhoria anual, que deve ser aplicada à eficiência atual.



Com a previsão da melhoria da eficiência energética, pôde ser verificado se os valores obtidos são consistentes com aqueles identificados nas fontes consultadas.

#### 2.2.1.9. *Cálculo do consumo de combustível*

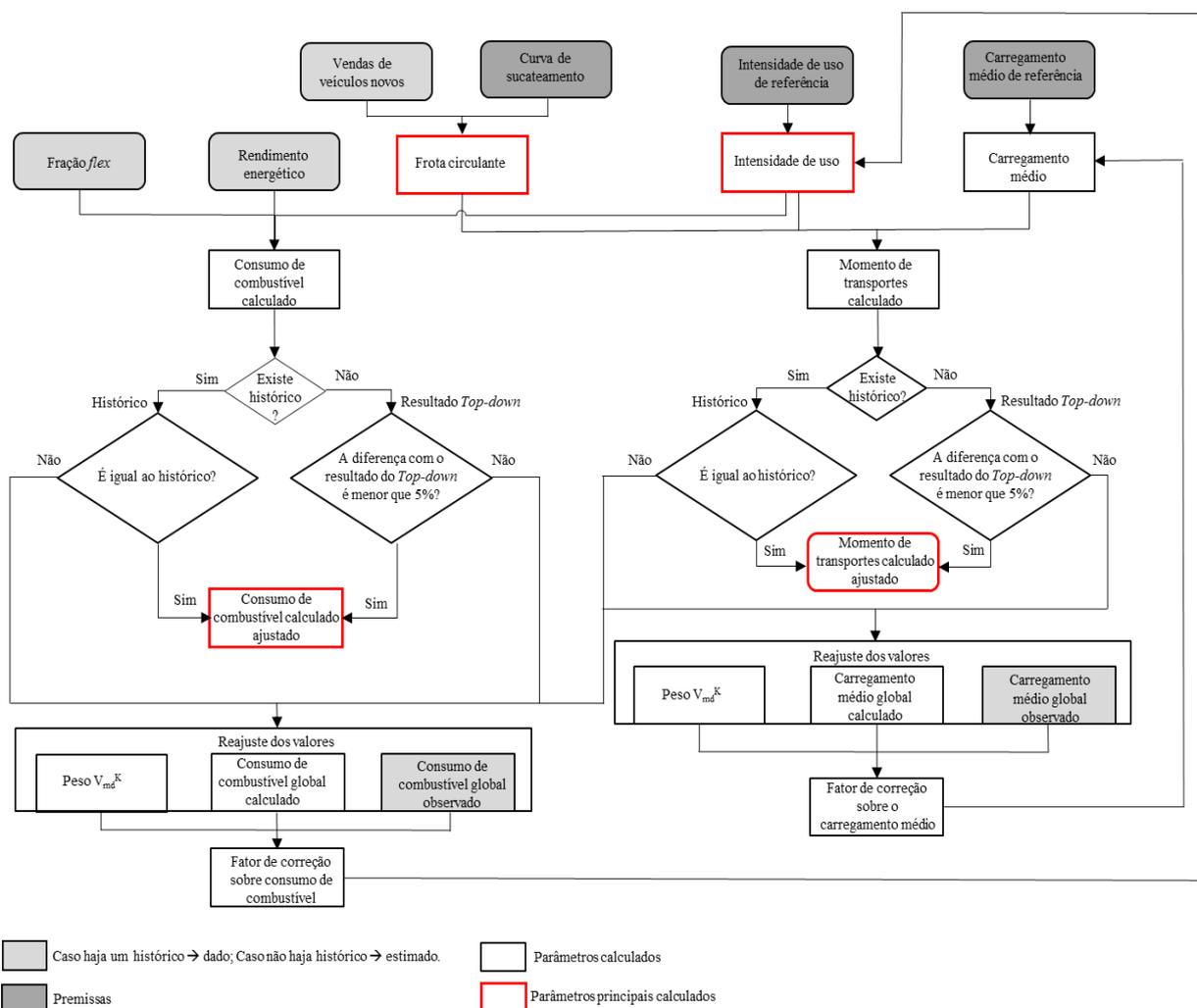
Para o cálculo do consumo de energia (combustível), foi utilizado como base o momento de transporte junto com a eficiência energética de cada modo de transporte. Os consumos de energia para os anos passados foram levantados na fase 1 e utilizados para aperfeiçoar o modelo proposto. Para os anos posteriores,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

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 ( $m^3$  ou l), utilizando para isso os fatores de conversão.

#### 2.2.2. **Metodologia *bottom-up***

A metodologia *bottom-up* tem por característica quantificar e identificar o consumo energético de forma desagregada, permitindo assim a gestão individualizada do uso de cada fonte de energia. Portanto, para o cálculo do consumo de energia, faz-se necessária 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 e tipo de combustível; e (3) consumo por tipo de fonte de energia. O procedimento usado para estimar o consumo de energia e emissões de GEE que utiliza a abordagem está sintetizado na Figura 4.



**Figura 4.** Procedimento adotado para estimar o consumo de energia por meio da metodologia *bottom-up*.

Fonte: Elaboração própria.

Optou-se por adotar esta metodologia para o modo rodoviário, seguindo as premissas e os procedimentos adotados no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários de 2013 (MMA, 2013) e no Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro (D’Agosto *et al.*, 2011), para calcular a frota circulante, a intensidade de uso e o consumo de combustível. O momento de transporte foi calibrado de acordo com o estudo de Gonçalves e D’Agosto (2017) para anos anteriores a 2016. Para os anos de 2016 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 à necessidade de um maior detalhamento para a quantificação do consumo de energia. No caso do modo rodoviário de passageiros, verifica-se uma “subdivisão” composta pelos automóveis, comerciais leves, motocicletas e veículos de transporte público (ônibus). 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 se subdividem em ônibus urbanos, micro-ônibus e ônibus rodoviários.

No caso do transporte de carga, há também a seguinte divisão por tipos de veículos, conforme seu peso bruto total (PBT): comerciais leves (ciclo Diesel), caminhões semi-leves, leves, médios, semi-pesados e pesados.

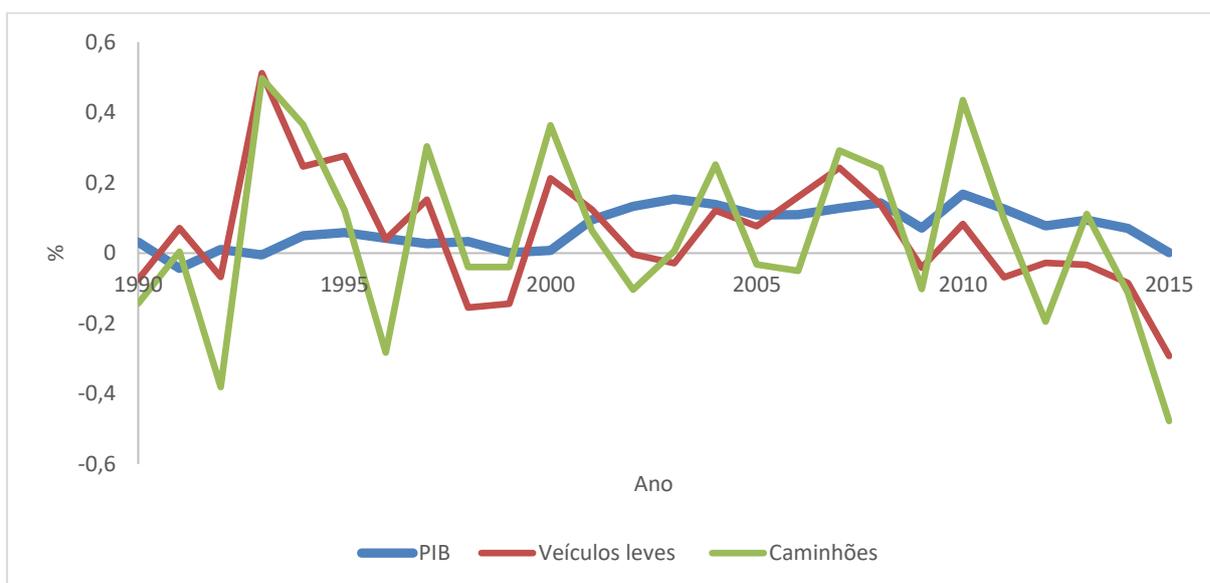
Tanto para passageiros como para cargas, os veículos rodoviários possuem biocombustíveis na mistura final do combustível. Sendo o etanol anidro misturado na gasolina A, obtém-se, então, a gasolina C. O mesmo ocorre com o diesel, sendo misturado o biodiesel com o diesel mineral. Logo, deve-se identificar a fração de biocombustíveis na mistura vigente (ano base) e suas perspectivas futuras de acréscimo ou decréscimo.

Para o caso do transporte rodoviário, a quantificação da energia consumida e das emissões de GEE é uma atividade intensiva em dados e, em uma situação ideal, os dados da frota, a intensidade de uso e os 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 de tempo, sendo usual e aceitável que se estimem estes dados por meio de algum procedimento.

#### *2.2.2.1. 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 2017, este estudo baseou-se na Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016), na Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO, 2017) (motocicletas), no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e em 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 (Figura 7) e em estudos do setor automobilístico. 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).



**Figura 5.** Variação anual – Vendas de veículos (leves e caminhões) x PIB.

Fonte: Elaboração própria.

As curvas de sucateamento 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 e no primeiro e no segundo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011; MMA, 2013), cujas taxas anuais de sucateamento para motocicletas de até 200cc são de 4% nos primeiros cinco anos; de 5% do 6º ao 10º ano; de 6% do 11º ao 15º ano; e de 8% do 16º ano em diante.

#### 2.2.2.2. 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 deve ser calculado por meio da diferença do volume de combustível observado e o calculado. Calculado este coeficiente, obtém-se a intensidade de uso ajustada por meio de uma multiplicação.

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.

#### 2.2.2.3. *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 relação entre a frota, sua respectiva intensidade de uso (ajustada) e seu rendimento energético médio, para cada tipo de veículo e combustível considerado.

#### 2.2.2.4. *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 de passageiros (pass.km) por meio da relação entre a frota, sua intensidade de uso e sua lotação média.

Para o caso do momento de transporte de carga calculado ser maior que o estimado pela metodologia *top-down*, a correção ocorreu ajustando-se a taxa de lotação dos caminhões e comerciais leves, de preferência a dos de menor capacidade para a dos 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 ocorreu ajustando-se 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 estimado pela metodologia *top-down*, a correção ocorreu ajustando-se 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



ocorreu ajustando-se 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-se a calibração do consumo.

Os carregamentos estimados dos veículos foram definidos de acordo com o comportamento do histórico nacional observado até 2015.

#### 2.2.2.5. Procedimento o cálculo da emissão de CO<sub>2</sub>

Para o cálculo da emissão de CO<sub>2</sub>, multiplica-se o consumo de cada combustível pelo seu respectivo fator de emissão (Tabela 1).

**Tabela 1.** Fator de emissão de CO<sub>2</sub> por tipo de combustível.

Combustível	Emissão de CO <sub>2</sub>	Unidade
Gasolina A	2,21	
Etanol anidro	1,46	
Etanol hidratado	1,53	
Biodiesel	2,43	
Diesel mineral	2,60	kg/l
Óleo combustível	3,10	
Diesel marítimo	3,10	
Querosene de aviação	2,49	
Gasolina de aviação	2,23	
GNV	1,999	Kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Elaboração própria a partir de MMA (2013).

#### 2.2.2.6. 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; MMA, 2013). Por meio da metodologia *top-down*, os fatores de



emissão em  $\text{g}_{\text{poluente}}/\text{m}^3_{\text{combustível}}$  são aplicados diretamente ao consumo de combustível relatado no Balanço Energético Nacional (EPE, 2014b).

Para conversão dos fatores de emissão em  $\text{g}/\text{km}$  para  $\text{g}/\text{m}^3$ , foi adotado o valor médio de rendimento igual a  $12 \text{ km}/\text{m}^3$ , também utilizados em MMA (2011; 2013). No que se refere às emissões de  $\text{CO}_2$ , os procedimentos e valores adotados são os mesmos apresentados na subseção anterior.

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.



### 3. Premissas

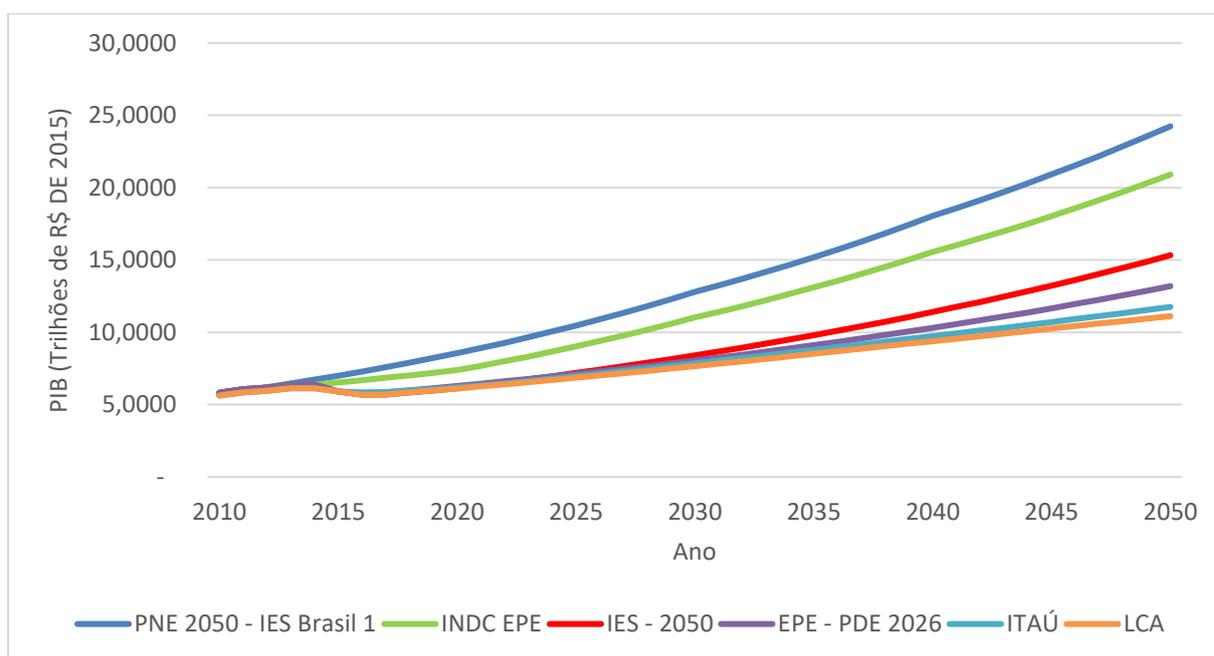
Nesta seção serão apresentadas as premissas relacionadas ao transporte de passageiros e carga.

#### 3.1.1. Dados macroeconômicos

No Brasil, assim como em todo o mundo, existe uma forte correlação entre a movimentação de pessoas e cargas com o PIB, em sua forma agregada ou *per capita*. Nos últimos 10 anos (de 2006 a 2015), o momento de transporte de passageiros e de carga cresceu 58% e 31%, respectivamente, enquanto o PIB cresceu 120% e a população 9%.

Tendo em vista que as projeções de consumo de energia 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 para o transporte de carga e da população e ao PIB *per capita* para o transporte de passageiros (FAÇANHA *et al.*, 2012; EPE, 2016a; VANEK *et al.*; 2014).

Para isso, realizou-se um levantamento de projeções do PIB, como pode ser observado na Figura 6.



**Figura 6.** Projeções do PIB brasileiro.

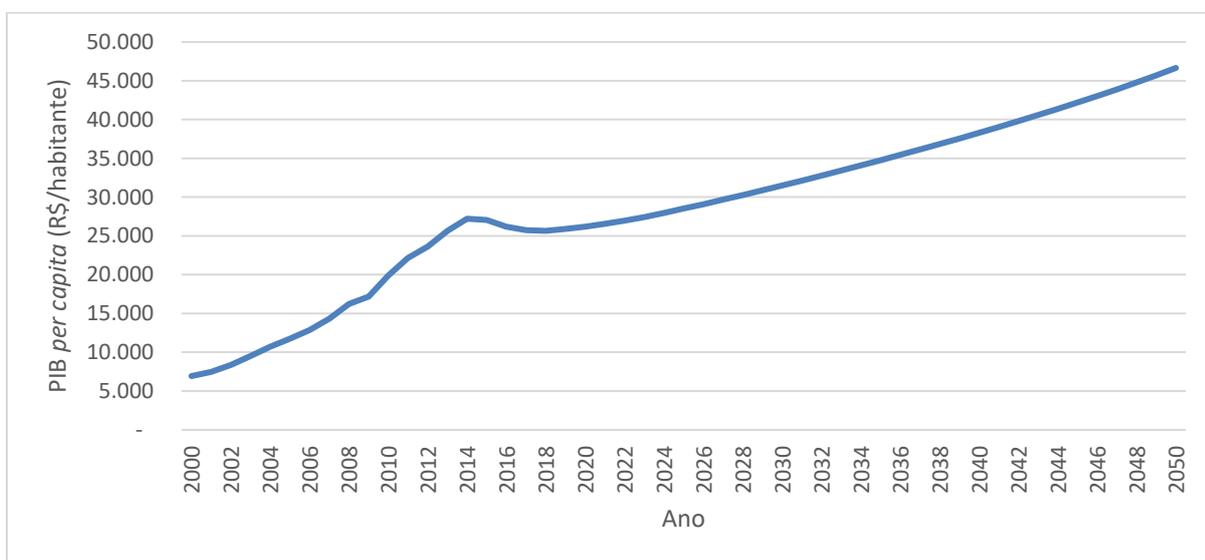
**Fonte:** Elaboração própria a partir de La Rovere *et al.* (2016)., EPE (2017), Itaú (2016) e LCA (2017).

**Legenda:** IES-2050 – estimativa de PIB utilizada no estudo de La Rovere (2016); EPE-PDE 2026 – estimativa de PIB utilizada no estudo PDE 2026 (EPE, 2016); ITAÚ – PIB estimado pelo Itaú Banking (ITAÚ, 2016); LCA – PIB estimado pela empresa de consultoria econômica (LCA, 2017).



Optou-se por utilizar a estimativa do Itaú-BBA, com base nas interações sociais ocorridas em diversos *workshops* (ANEXO II) relacionados ao tema, nos quais houve um consenso entre os representantes do comitê de elaboração de Cenários (CEC) de que a estimativa varie entre o cenário do PDE 2026 e o da LCA. Logo, como o cenário do Itaú-BBA está entre os citados, este foi escolhido.

Sendo assim, para as projeções agregadas do momento de transportes de carga (t.km), foi utilizado o PIB, estimado a partir de percentuais de variação fornecidos pelo Itaú-BBA, que considera o período de 2000 a 2050. Para as projeções agregadas do momento de transportes de passageiros (pass.km) foi utilizado o mesmo PIB em composição com a população, fornecido pelo IBGE (2013), na forma de PIB *per capita*, conforme pode ser observado na Figura 7.



**Figura 7.** Projeção do PIB *per capita* brasileiro para 2050.

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2013) e Itaú (2016).

### 3.1.2. Fontes convencionais de energia

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

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

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 as modalidades de transporte, pois grande parte da frota de aeronaves transporta passageiros e cargas no mesmo voo.

### 3.1.3. 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, sendo estes alocados em sua maioria para a frota de táxis;
- Biodiesel: será considerado para os modos rodoviário e ferroviário, 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, sendo este percentual elevado para 9% e 10% a cada 12 meses subsequentes. Portanto, em março de 2019 será de B10 (Lei n. 13.033 de 2014). Foi considerada uma participação de 12% de 2030 até 2040, passando, então, para 15% e permanecendo assim até 2050, premissa esta adotada tendo em vista o compromisso do governo brasileiro assumido durante a realização da COP 21 e a NDC submetida. Após 2025, este será considerado, mesma adição vigente, no transporte de navegação interior de carga e no transporte aquático de passageiros;
- Etanol anidro: será considerado para o modo rodoviário em adição de até 27% à gasolina na forma de etanol anidro;
- Etanol hidratado: será considerado para o modo rodoviário, para os automóveis e veículos comerciais leves *flexible-fuel*, os híbridos (a partir de 2020) e a frota residual dedicada a etanol;
- Energia elétrica: será considerada para os modos rodoviário e ferroviário (passageiros);
- Bioquerosene, bio-óleo, diesel de cana e hidrogênio: não foram considerados no cenário BAU. Serão considerados nos cenários alternativos a serem publicados.



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 2016, baseou-se em dados históricos. A partir daí a utilização foi ajustada linearmente até alcançar o percentual de 50% para o etanol hidratado em 2030, permanecendo assim até 2050. Esta é uma premissa baseada na NDC brasileira que visa aumentar o consumo de biocombustíveis na matriz energética brasileira até 2030, aumentando, desta forma, a oferta de etanol inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração).

O percentual de 50% foi calculado com base na evolução do modo rodoviário de passageiros, no deslocamento da previsão da Política Nacional da Mudança do Clima (PNMC) sobre utilização do etanol em substituição à gasolina e em uma visão conservadora da estimativa declarada na NDC brasileira da produção de etanol em 2025 e 2030 de 45 e 54 bilhões de litros, respectivamente.

### 3.1.4. Eficiência energética

Para determinação da melhoria da eficiência energética, 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 *et al.*, 2014), e o trabalho publicado 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 2.

**Tabela 2.** 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, tais 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 por meio da utilização de sistemas de navegação por satélite, o que reduz o congestionamento e o consumo de combustível.		
Aquático	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)
	Implantação de 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)



Modo	Ações	Potencial de melhorias em eficiência energética	
		2030	2050
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> ) que podem reduzir os congestionamentos e o tempo de operação em ponto morto, 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, tais como motores com recuperação de energia por turbina acoplada e de ciclo termodinâmico “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 à redução do consumo de combustíveis.		
	Uso de veículos híbridos (diesel-elétrico).	20% a 30% (HDV) 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 *et al.*, 2014), em *The International Council on Clean Transportation* (ICCT), em Façanha *et al.* (2012) e em Vyas *et al.* (2013).

A partir dos resultados obtidos com a aplicação do método *top-down*, identificou-se a melhoria de eficiência alcançada e o consumo estimado, sendo realizada, 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.



### 3.1.5. Transporte de passageiros

Nesta subseção serão apresentadas as premissas relacionadas ao transporte de passageiros.

#### 3.1.5.1. Divisão modal

Para obtenção da divisão modal do transporte de passageiros, adotou-se os valores considerados no estudo de Gonçalves e D'Agosto (2017), que teve como objetivo consolidar a base de dados do setor de transportes, considerando atividade (momento de transporte) e uso de energia. Como estimativa, adotou-se um crescimento tendencial para a divisão modal dos modos de transporte, conforme pode ser observado na Tabela 3. Estas premissas se aproximam da previsão da divisão modal do transporte de passageiros estimada pelo Estudo de Demanda de Energia 2050 (EPE, 2016).

**Tabela 3.** Divisão modal para o transporte de passageiros.

Ano	Aéreo	Aquático	Ferrovário	Rodoviário
2015	6,20%	0,06%	1,83%	91,91%
2020	6,32%	0,07%	2,18%	91,44%
2030	6,55%	0,08%	2,87%	90,50%
2040	6,79%	0,09%	3,57%	89,55%
2050	7,00%	0,10%	4,20%	88,70%

Fonte: Elaboração própria.

#### 3.1.5.2. Modo rodoviário

Nesta subseção serão apresentadas as premissas relacionadas ao transporte de passageiros para o modo rodoviário.

##### 3.1.5.2.1. 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 da Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO, 2016), para vendas de motocicletas.

As vendas foram estimadas a partir do estimativo do PIB e dos resultados obtidos no modelo top-down. Já as penetrações de novas tecnologias foram baseadas nas discussões estabelecidas nos diversos workshops e na experiência dos autores.

Com relação à evolução nas vendas de cada tipo de veículo até o ano de 2050:



- Quanto aos veículos leves (automóveis e comerciais leves), adotou-se uma taxa média de vendas dos veículos do tipo automóvel e comercial leve de 3,2% aa, de 2018 a 2050. Para as motocicletas, considerou-se uma taxa de 2,8% aa até 2050;
- Quanto aos veículos convencionais de uso coletivo, adotou-se a taxa média de vendas dos veículos do transporte coletivo ônibus urbano, rodoviário e micro-ônibus para 5,0% aa até 2039 e de 1% aa até 2050. Aumentando a participação nas vendas dos ônibus urbanos (68% para 82%) e reduzindo do rodoviário (10% para 8%) e do micro (23% para 10%). A queda da participação dos ônibus rodoviários se dá pelo aumento da participação do modo aéreo na divisão modal. Já a do micro-ônibus, segue a queda histórica.

Com relação à participação nas vendas de cada tipo de tecnologia até o ano de 2050:

- Quanto aos automóveis dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 3,8% das vendas em 2016. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada;
- Quanto aos automóveis dedicados ao etanol, estes já não são mais comercializados desde 2013;
- Quanto aos automóveis flexible-fuel, observou-se uma participação de 96,2% das vendas em 2016, mantendo sua participação até 2030. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2050, chegando em 50% da participação;
- Quanto aos automóveis híbridos, observou-se uma participação de 0,05% das vendas em 2016. Em seguida, considerou-se um crescimento tendencial até 2030, chegando a 4% de participação. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2050, chegando em 40% da participação;
- Quanto aos automóveis elétricos, observou-se uma participação de 0,001% das vendas em 2016. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2030, que alcançará uma participação de 2%. De 2030 a 2050, considerou-se um crescimento linear na participação das vendas, quando tal tecnologia atingirá 10% da participação em 2050;
- Quanto aos comerciais leves dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 13% das vendas em 2016 (considerando apenas o ciclo Otto). Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada;
- Quanto aos comerciais leves dedicados ao etanol, estes já não são mais comercializados desde 2012;



- Quanto aos comerciais leves *flexible-fuel*, observou-se uma participação de 87% das vendas em 2016. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2040, quando alcançará 67% das vendas. A seguir, considerou-se uma queda mais intensificada até 2050, tendo uma participação de 50%;
- Quanto aos comerciais leves híbridos, este começa a ser comercializado em 2020, com participação de 2%. Considerou-se um crescimento linear até 2030, chegando a 20% da participação, e exponencial até 2050, chegando a 50%;
- Quanto aos comerciais leves elétricos, estes não serão considerados neste estudo;
- Quanto às motocicletas, a introdução da venda de motocicletas elétricas a partir de 2020 em substituição das motocicletas dedicadas à gasolina e parte das *flexible-fuel*, alcançará uma participação em 2050 de 20% para as motos elétricas (até 200 cilindradas), 75% para as *flexible-fuel* e 5% para as dedicadas à gasolina;
- Quanto aos veículos convencionais de uso coletivo (ciclo Diesel), urbano convencionais e micro-ônibus, sua participação nas vendas cairá dos atuais 99,3% em 2016 para 94% em 2050, permanecendo com essa participação até 2050;
  - Os micro-ônibus serão substituídos progressivamente por micro-ônibus elétricos *plug-in*, começando com 0,5% de participação em 2016 e alcançando uma participação de 6% em 2050;
  - 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, chegando a uma participação de 3,5% para os híbridos diesel-elétrico e de 2,5% para os elétricos *plug-in* em 2050.
- Quanto aos ônibus rodoviários híbridos e elétricos, estes não serão considerados neste estudo.

A Tabela 4 apresenta a frota de veículos rodoviários no ano base.

**Tabela 4.** 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 <i>flexible-fuel</i>	65,39%
Automóvel a GNV	1,36%



Tipo de Veículo	Percentual de participação
Automóvel híbrido <i>flex-elétrico</i>	0,01%
Automóvel elétrico <i>plug-in</i>	0,0001%
Motocicleta a gasolina (dedicado)	81,1%
Motocicleta <i>flexible-fuel</i>	19,9%
Comercial leve a gasolina (dedicado)	34,85%
Comercial leve a etanol (dedicado)	1,74%
Comercial leve <i>flexible-fuel</i>	61,77%
Comercial leve GNV	1,63%
Ônibus urbano diesel (B8)	100%
Micro-ônibus diesel (B8)	100%
Ônibus rodoviário diesel (B8)	100%

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

**Fonte:** Elaboração própria.

### 3.1.5.2.2. Intensidade de uso

Para determinação da intensidade de uso de referência dos veículos rodoviários de passageiros que estarão em operação até o ano 2050, baseou-se em informações fornecidas pelo MMA (2013) na forma da distância média anual percorrida pelos veículos (km/ano), conforme pode ser observado na Tabela 5. Os ajustes necessários para determinação da intensidade de uso foram baseados no consumo de energia obtido pelo método *top-down*.

**Tabela 5.** Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de passageiros.

Tipo de Veículo	Intensidade de uso (km/ano)
<b>Automóvel a gasolina (dedicado) <sup>(1)</sup></b>	20.000
<b>Automóvel a etanol (dedicado)</b>	
<b>Automóvel <i>flexible-fuel</i></b>	
<b>Automóvel a GNV</b>	30.000
<b>Automóvel híbrido <i>flex-elétrico</i></b>	
<b>Automóvel elétrico <i>plug-in</i></b>	20.000
<b>Motocicleta a gasolina (dedicado)</b>	12.000
<b>Motocicleta <i>flexible-fuel</i></b>	
<b>Comercial leve a gasolina (dedicado)</b>	
<b>Comercial leve a etanol (dedicado)</b>	20.000
<b>Comercial leve <i>flexible-fuel</i></b>	
<b>Comercial leve GNV</b>	30.000
<b>Ônibus urbano diesel (B8)</b>	91.994
<b>Micro-ônibus diesel (B8)</b>	91.994
<b>Ônibus rodoviário diesel (B8)</b>	118.094

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

**Fonte:** Elaboração própria.



A intensidade de uso irá variar ao longo dos anos devido a diversos fatores, dentre eles, pode-se destacar, o desenvolvimento da tecnologia da informação e da conectividade entre serviços. Neste contexto, empresas privadas já começaram a desenvolver formas inovadoras de entrar no mercado de transporte de passageiros de forma individual, atividade que era restrita aos táxis ou a pequenos grupos, que em muitos lugares acabava ocorrendo de modo informal em um mercado que já era considerado maduro.

Tal tipo de transporte tem em sua essência um modelo lucrativo, o que traz como consequência a existência de um ambiente mais competitivo. Isto pode reduzir o valor da tarifa que, por sua vez, irá atrair mais usuários e retirar automóveis das ruas.

Segundo a Nota Técnica n. 06013/16 da Secretaria de Acompanhamento Econômico, os serviços de aluguel de veículos particulares, classificação do órgão nas quais as empresas concorrentes do táxi se encaixam, têm gerado forte rivalidade no mercado de transporte individual dominado pelos taxistas.

Empresas concorrentes já estão em operação desde 2012 em diversas cidades, como por exemplo, em Londres e Nova Iorque. Em 2014, a primeira cidade brasileira a receber um novo concorrente neste tipo de serviço foi o Rio de Janeiro (CANCIAN, 2016).

Analisando a base de dados da cidade de Nova Iorque (NYC, 2016), observa-se que, em menos de um ano, a frota dos novos *players* ultrapassou a dos táxis convencionais. Se somadas, possuem uma frota superior em cerca de 103%.

Outro item que tende a ganhar espaço é o compartilhamento de carros (*carsharing*). De acordo com Britton (2000), o *carsharing* surgiu na Europa há quase 30 anos com experiências pioneiras e importantes na Suíça, em 1987, e na Alemanha, mais especificamente em Berlim em 1988. Já na América do Norte, os programas surgiram na década de 1990, nos Estados Unidos, originários dos *station cars*, e no Canadá.

Recentes estudos norte-americanos mostram que cada carro compartilhado remove entre 9 e 13 automóveis privados das ruas (SHAHEEN; CHAN, 2015).

O crescimento na demanda por esse tipo de serviço despertou o interesse dos operadores de transportes e *stakeholders* deste negócio, fazendo com que muitas entidades privadas e agências governamentais disponibilizassem recursos financeiros para promover o uso compartilhado de veículos (SHAHEEN; COHEN, 2015). Outro fator importante é a participação das montadoras de automóveis na inovação do *carsharing*, proporcionando serviços similares.

Dois cidades brasileiras contam com esse tipo de serviço, Recife e São Paulo. Em Recife, o serviço é fornecido por apenas uma empresa. Já em São Paulo, o serviço é oferecido por três empresas.



### 3.1.5.2.3. Momento de transporte

A lotação média por km útil dos ônibus rodoviários, urbanos e micro foi de 45,50 e 13 passageiros, respectivamente, valor baseado no estudo de Gonçalves e D'Agosto (2017). O estudo foi utilizado em conjunto com o modelo *top-down* (projeção) para o ajuste do momento de transporte calculado.

### 3.1.5.2.4. Rendimento

Para identificação do rendimento atual dos veículos rodoviários convencionais, 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 *et al.*, 2014), pelo *C40 Cities Climate Leader Group* e *Inter-American Development Bank* (IDB) (C40; IDB, 2013) e por meio de manuais de veículos disponíveis atualmente no mercado mundial (NISSAN, 2016; BYD, 2017).

Para determinação da melhoria da eficiência energética desses veículos, adotou-se valores com base nos estudos realizados pelo *The International Council on Clean Transportation* (ICCT) (FAÇANHA *et al.*, 2012), pelo IPCC (SIMS *et al.*, 2014) e pelo *U.S. Department of Energy* (VYAS *et al.*, 2013), conforme Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8.

**Tabela 6.** Rendimento e melhoria de eficiência energética dos veículos rodoviários de passageiros (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 BRTs, ambos com ar condicionado (D'Agosto <i>et al.</i> , 2016)
Micro-ônibus diesel (BX)	6,9	5% até 2050
Ônibus rodoviário diesel (BX)	3,1	5% até 2050

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

**Notas:** (1) em relação a 2012.

**Fonte:** Elaboração própria.



**Tabela 7.** Rendimento energético dos veículos rodoviários de passageiros (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 8.** Rendimento energético dos veículos rodoviários de passageiros.

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>	1 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 2, obtida a partir do 5º Relatório de Análise do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – Capítulo 8, elaborado pelo IPCC (SIMS *et al.*, 2014), nos estudos realizados pelo ICCT (FAÇANHA *et al.*, 2012); dos estudos do *U.S. Department of Energy* (VYAS *et al.*, 2013), além da experiência dos pesquisadores que elaboraram este relatório e do programa Rota 2030, que sucederá o Programa Inovar-Auto, que se encerra em 31 de dezembro de 2017.

### 3.1.5.3. Outros modos

Para os demais modos de transporte de passageiros (aéreo, aquaviário e ferroviário), considerou-se o rendimento energético atual (kJ/pass.km) dos modos com base nas informações de momento de transporte e consumo de energia, a partir de informações relacionadas à evolução histórica dos modos (1980-2015), fornecida pelo estudo de Gonçalves e D’Agosto (2017). Já a demanda de energia foi atualizada de acordo com o BEN (EPE, 2017).

Para determinação da melhoria da eficiência energética, optou-se por adotar um referencial teórico para balizar os valores que serão utilizados. Isso foi feito com base no 5º Relatório de Análise do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – Capítulo 8, elaborado pelo IPCC (SIMS *et al.*, 2014), e no *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 9).



**Tabela 9.** Evolução do rendimento energético por modo de transporte, em kJ/pass.km.

Ano	Aéreo	Ferroviário	Rodoviário	Aquático
2015	1.041	197	1.059	1.982
2030	937	192	1.017	1.883
2050	833	187	900	1.784

Nota:(1). Fluvial e marítimo.

Fonte: Elaboração própria.

### 3.1.6. Transporte de carga

Nesta subseção serão apresentadas as premissas relacionadas ao transporte de carga.

#### 3.1.6.1. Divisão modal

Como ponto de partida para divisão modal do transporte de carga, utilizou-se a divisão modal de 2014, uma vez que a divisão de 2015 foi historicamente atípica, devido à queda do PIB. Para a projeção da divisão modal, 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 da divisão modal 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 elevados investimentos, aparentemente incompatíveis com a evolução moderada do PIB, 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 ICCT (FAÇANHA *et al.*, 2012), para o modo ferroviário. Além disso, optou-se por adotar a evolução tendencial para os modos dutoviário, aéreo e aquático (dividido em marítimo de cabotagem e navegação interior), deixando o restante para o modo rodoviário (Tabela 10). Estas premissas aproximam a previsão da divisão modal do transporte de carga daquela estimada pelo Estudo de Demanda de Energia PNE2050 (EPE, 2016) e pela discussão ocorrida durante os *workshops* realizados (ANEXO II).



**Tabela 10.** Divisão modal esperada/ajustada em t.km

Ano	Dutoviário	Aéreo	Aquático	Ferrovário	Rodoviário
2014	2,53%	0,12%	15,52%	23,22%	58,61%
2015	2,71%	0,13%	9,49%	27,04%	60,64%
2020	2,51%	0,13%	15,68%	23,47%	58,21%
2030	2,33%	0,15%	17,22%	26,02%	54,27%
2040	2,16%	0,18%	18,76%	28,57%	50,33%
2050	2,00%	0,20%	20,15%	30,87%	46,78%

Fonte: Elaboração própria.

### 3.1.6.2. *Modo rodoviário*

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

#### 3.1.6.2.1. *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, 2017) no período de 1957 a 2016. A estimativa de vendas futuras baseou-se na correlação do histórico de vendas dos caminhões com o PIB, pela atividade de transporte rodoviário projetada, sendo elas:

- Quanto aos veículos convencionais (ciclo Diesel), considerou-se a taxa de vendas dos veículos comerciais leves e dos caminhões leve, semi-leve e médio com 3,3% aa de 2018 a 2025 e com 1,6% aa de 2026 até 2050;
- Para os veículos semi-pesados e pesados, considerou-se a taxa de 3,3% aa de 2018 a 2025 e 0,7% aa 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 3, tais taxas foram obtidas com base nos resultados de consumo de energia e momento de transporte alcançados pela metodologia *top-down*.

#### 3.1.6.2.2. *Intensidade de uso*

A intensidade de uso dos veículos rodoviários de carga foi ajustada com base na distância média anual percorrida (km/ano) (MMA, 2013), conforme pode ser observado na Tabela 11, pela demanda energética estimada por meio do método *top-down* e pelas premissas adotadas.



**Tabela 11.** 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 (B8)	20.000
Caminhão leve diesel (B8)	64.580
Caminhão semi-leve diesel (B8)	64.580
Caminhão médio diesel (B8)	112.310
Caminhão semi-pesado diesel (B8)	117.904
Caminhão pesado diesel (B8)	117.904

**Nota:** (1) 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).

**Fonte:** Elaboração própria a partir de MMA (2013).

#### 3.1.6.2.3. *Momento de transporte*

Adotou-se, de forma conservadora, o carregamento médio dos caminhões com base na experiência dos autores que elaboraram este relatório, considerando-se o valor médio de 35% da lotação<sup>1</sup>, considerando que o retorno das viagens é feito com os veículos vazios e que nem toda a frota está em operação.

O momento de transporte 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 estudo de Gonçalves e D'Agosto (2017).

#### 3.1.6.2.4. *Rendimento*

A identificação do rendimento médio atual dos veículos rodoviários de carga baseou-se em informações fornecidas pelo MMA (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 Tabela 12.

---

<sup>1</sup> O valor difere entre os tipos de caminhões, sendo superior para os caminhões pesados (transporte rodoviário) e inferior para os leves (transporte urbano).



**Tabela 12.** 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 <sup>2</sup> (B8)	10,5	Sem alteração
Caminhão leve diesel (B8)	5,6	
Caminhão semi-leve diesel (B8)	9,1	
Caminhão médio diesel (B8)	5,6	15% até 2050
Caminhão semi-pesado diesel (B8)	3,4	
Caminhão pesado diesel (B8)	3,4	

**Notas:** (1) em relação a 2012; (2) os veículos comerciais leves ciclo Diesel foram considerados para o transporte de cargas.

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).

### 3.1.6.3. Outros modos

Para os demais modos de transporte de carga (dutoviário, aéreo e aquaviário), considerou-se o rendimento energético atual (kJ/t.km) com base nas informações de momento de transporte e consumo de energia relacionadas à evolução histórica dos modos fornecida pelo estudo de Gonçalves e D'Agosto (2015). Já a demanda de energia foi atualizada de acordo com o BEN (EPE, 2017).

Para determinação da melhoria da eficiência energética desses modos, optou-se novamente pelos trabalhos de Sims *et al.* (2014), Façanha *et al.* (2012) e Vyas *et al.* (2013). A Tabela 12 apresenta a evolução do rendimento energético por modo de transporte.

**Tabela 13.** Evolução do rendimento energético por modo de transporte, em kJ/t.km.

Ano	Aéreo	Marítimo de cabotagem	Navegação interior	Ferrovário	Rodoviário	Dutoviário
2015	13.566	252	710	123	1.709	121
2030	12.523	233	675	117	1.624	118
2050	10.853	214	639	100	1.538	113

**Fonte:** Elaboração própria.



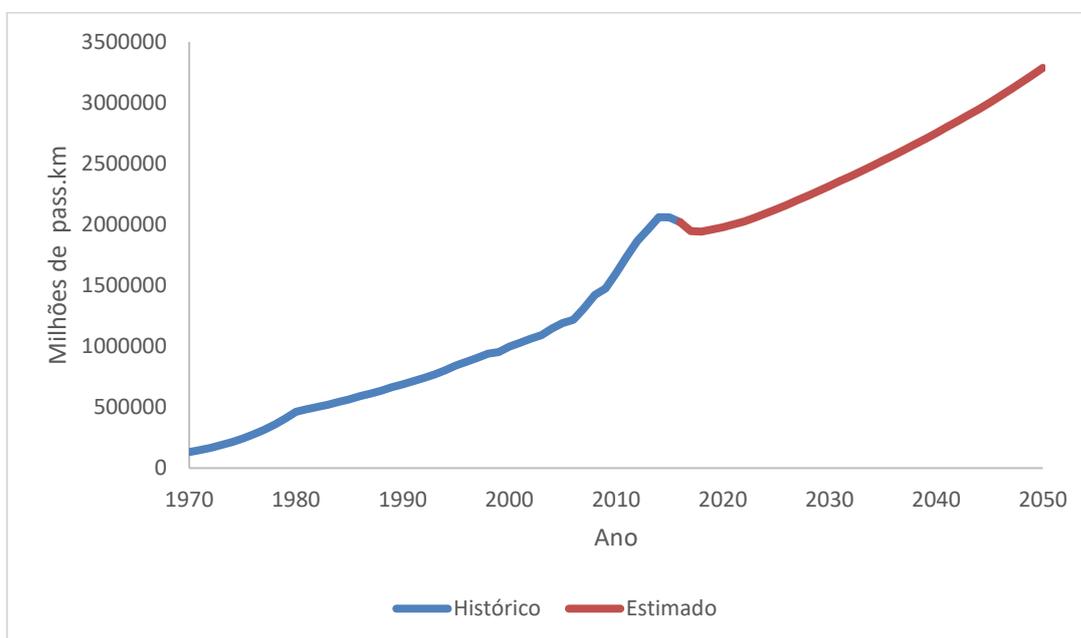
## 4. Resultados encontrados e análises

Nesta seção apresentam-se as projeções do momento de transporte para o transporte de carga e o transporte de passageiros, sua respectiva demanda energética e, conseqüentemente, suas emissões de CO<sub>2</sub>, considerando as premissas adotadas neste estudo e os resultados obtidos em relação à projeção do Cenário BAU.

### 4.1. Momento de transporte

Com base nos dados da estimativa do PIB apresentado na Figura 6, da estimativa do PIB *per capita* apresentado na Figura 7 e nos dados históricos de transporte (1970 - 2015) obtidos no estudo de Gonçalves e D'Agosto (2017), identificou-se as projeções do momento de transporte para o transporte de carga e de passageiro.

Com base no momento de transporte de passageiros projetado e apresentado na Figura 8, obtém-se a Figura 9, aplicando-se os percentuais de participação de cada modo (Tabela 3), na divisão modal, de acordo com as premissas descritas na Seção 3 deste estudo.

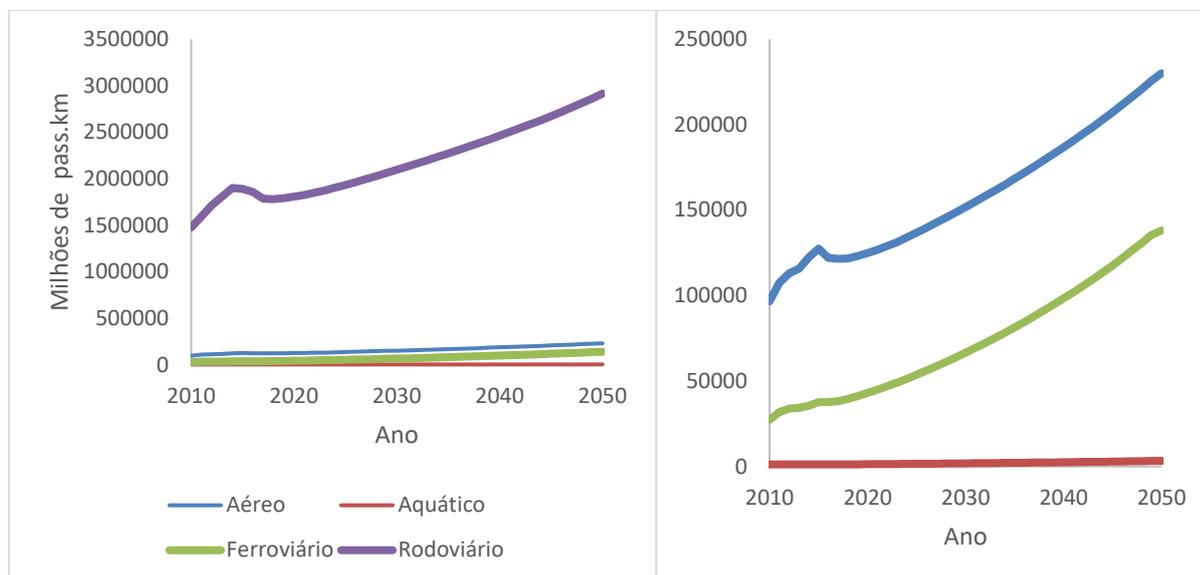


**Figura 8.** Evolução do momento de transporte de passageiros.

Fonte: Elaboração própria.



Dessa forma, verificou-se que momento de transporte de passageiros alcançará  $3.287 \times 10^9$  pass.km em 2050, tendo um crescimento médio de 1,7% aa.



**Figura 9.** Evolução do momento de transporte de passageiros por modo.

Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito ao transporte de passageiros para o modo rodoviário, verificou-se que, desde 1970, é o modo predominante, com crescimento médio de 6,3% até o ano de 2016. Estima-se um crescimento médio do momento de transporte de 1,4% de 2017 a 2050. Quanto à sua participação na divisão modal, estima-se uma redução de, aproximadamente, 3,5%, passando de 91,9% em 2015 para 88,7% em 2050. No entanto, estima-se a continuidade de sua predominância.

Quanto ao transporte de passageiros pelo modo aéreo, verificou-se um crescimento médio do momento de transporte de 8% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2017 a 2050, estima-se um crescimento médio de 2%, com a sua participação na divisão modal ampliada em, aproximadamente, 12,9%, passando de 6,2% em 2015 para 7,0% em 2050.

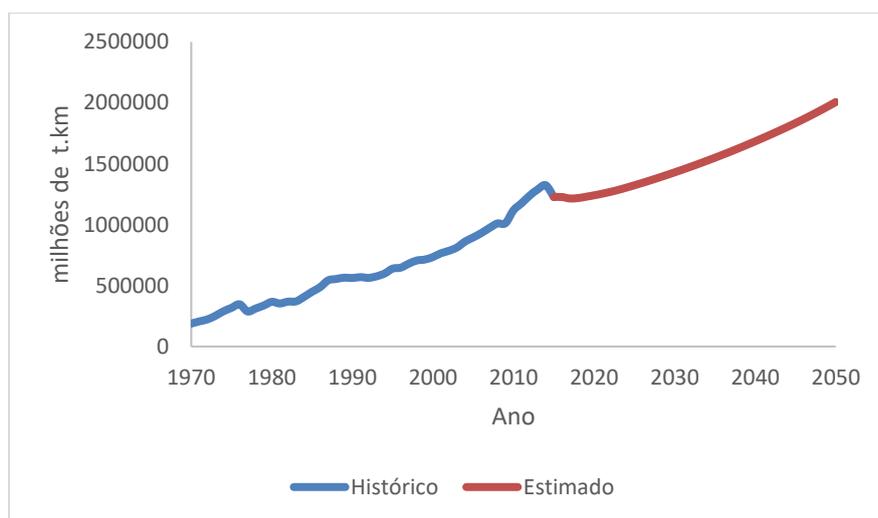
Para o modo aquaviário, verificou-se, um crescimento médio do momento de transporte de 5,8% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2016 a 2050, estima-se um crescimento médio de 3%, com a sua participação na divisão modal ampliada em, aproximadamente, 61%, passando de 0,06% em 2015 para 0,10% em 2050.

Para o modo ferroviário, verificou-se um crescimento médio do momento de transporte de 2,6% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2016 a 2050, estima-se um crescimento médio de 4%,



com a sua participação na divisão modal ampliada em, aproximadamente, 129,8%, passando de 1,8% em 2015 para 4,2% em 2050.

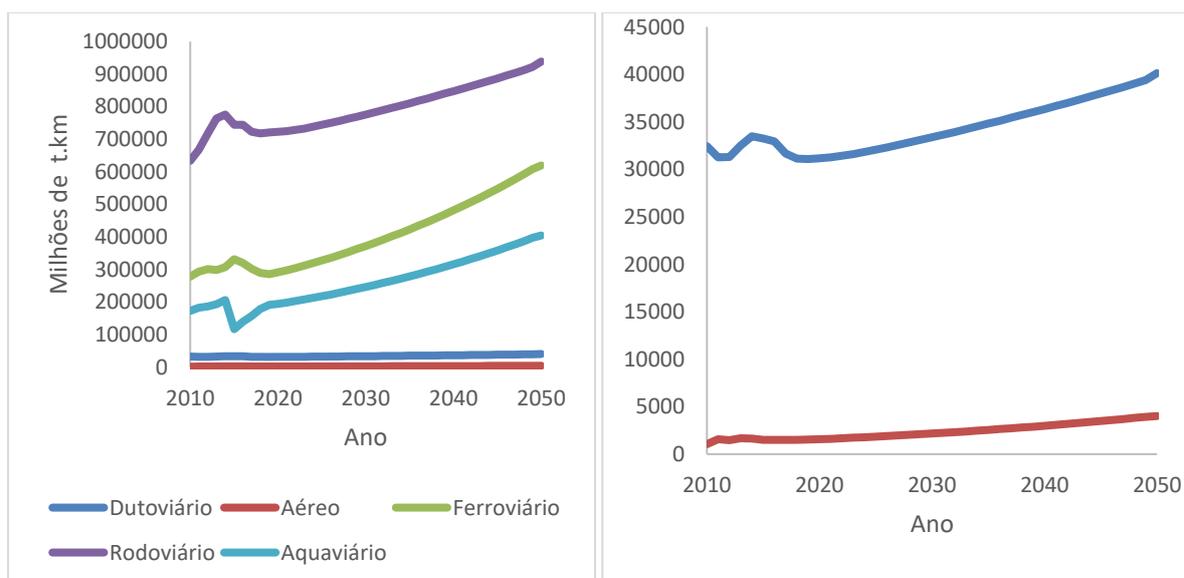
Com base no momento de transporte de carga projetado e apresentado na Figura 10, obtém-se a Figura 11, aplicando-se os percentuais de participação de cada modo (Tabela 10), na divisão modal, de acordo com as premissas descritas na Seção 3 deste estudo.



**Figura 10.** Evolução do momento de transporte de carga.

Fonte: Elaboração própria.

No caso do momento de transporte de carga, este alcançará  $2.006 \times 10^9$  t.km em 2050. Tendo um crescimento médio de 1,5% aa.



**Figura 11.** Evolução do momento de transporte de carga por modo.

Fonte: Elaboração própria.



Quanto ao transporte de carga pelo modo dutoviário, verificou-se um crescimento médio do momento de transporte de 7% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2016 a 2050, estima-se um crescimento médio de 1%. No entanto, sua participação na divisão modal será reduzida em, aproximadamente, 26%, passando de 2,71% em 2015 para 2,00% em 2050.

Para o modo aéreo, verificou-se um crescimento médio do momento de transporte de 7% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2016 a 2050, estima-se um crescimento médio anual de 3%. Sua participação na divisão modal será ampliada em 64%, passando de 0,12% em 2015 para 0,20% em 2050.

Para o transporte marítimo de cabotagem, verificou-se um crescimento médio do momento de transporte de 5,5% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2016 a 2050, estima-se um crescimento médio de 2,7%. Sua participação na divisão modal será ampliada em, aproximadamente, 65%, passando de 14,23% em 2014<sup>2</sup> para 16,88% em 2050.

Para a navegação interior, verificou-se um crescimento médio do momento de transporte de 6% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2016 a 2050, estima-se um crescimento médio de 5%. Sua participação na divisão modal será ampliada em, aproximadamente, 153%, passando de 1,3% em 2014<sup>1</sup> para 6,27% em 2050.

Tendo em vista que o transporte marítimo de cabotagem e o de navegação interior compõem o modo aquático, verificou-se que sua participação na divisão modal será ampliada em, aproximadamente, 29,83%, passando de 15,52% em 2014 para 20,15% em 2050.

Para o modo ferroviário, verificou-se um crescimento médio do momento de transporte de 5,7% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2016 a 2050, estima-se um crescimento médio de 2,2%. Sua participação na divisão modal será ampliada em, aproximadamente, 33%, passando de 23,2% em 2014<sup>1</sup> para 30,9% em 2050.

Para o modo rodoviário, verificou-se um crescimento médio do momento de transporte de 4% de 1970 a 2015. Quanto ao período de 2016 a 2050, estima-se um crescimento médio de 1%. Sua participação na divisão modal será reduzida em, aproximadamente, 23%, passando de 60,6% em 2015 para 46,8% em 2050.

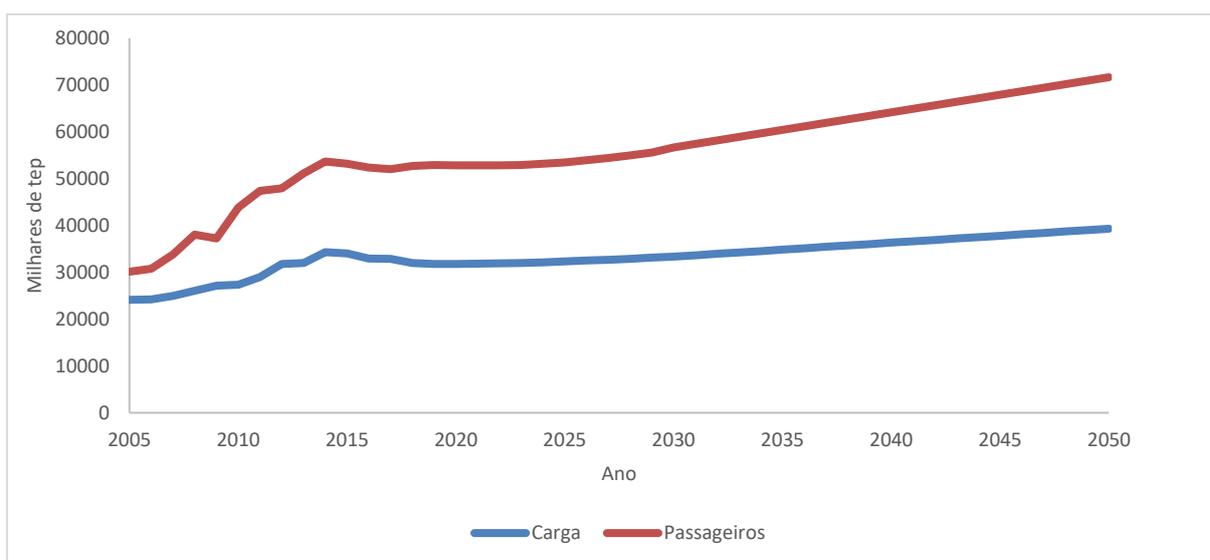
---

<sup>2</sup> 2015 foi um ano atípico para o transporte marítimo de cabotagem.



## 4.2. Demanda energética

Com base no momento de transporte total projetado e apresentado na subseção anterior, nos dados históricos levantados e nas premissas adotadas, aplicou-se a metodologia proposta neste estudo, descrita na Seção 2. Sendo assim, a Figura 12 apresenta o consumo de energia referente ao transporte de carga e ao transporte de passageiros.

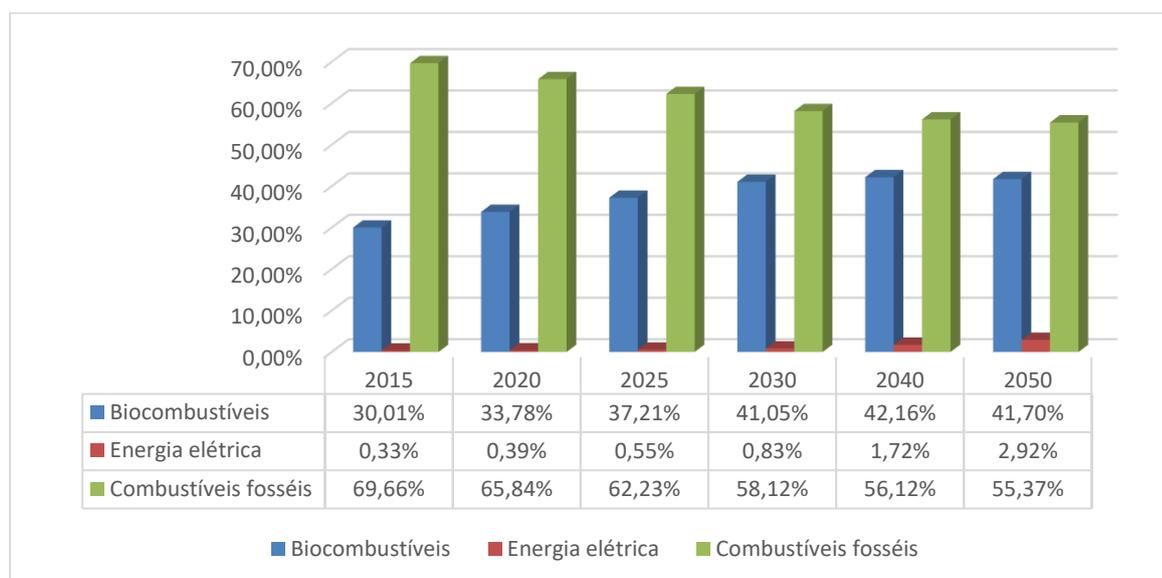


**Figura 12.** Demanda agregada de energia por atividade.

Fonte: Elaboração própria.

Analisando a Figura 12, observa-se que a demanda energética aumentará cerca 27%, sendo 35% no transporte de passageiros e 15% no de carga. Logo, o transporte de passageiros continuará demandando mais energia que o transporte de carga, representando cerca de 61% em 2050.

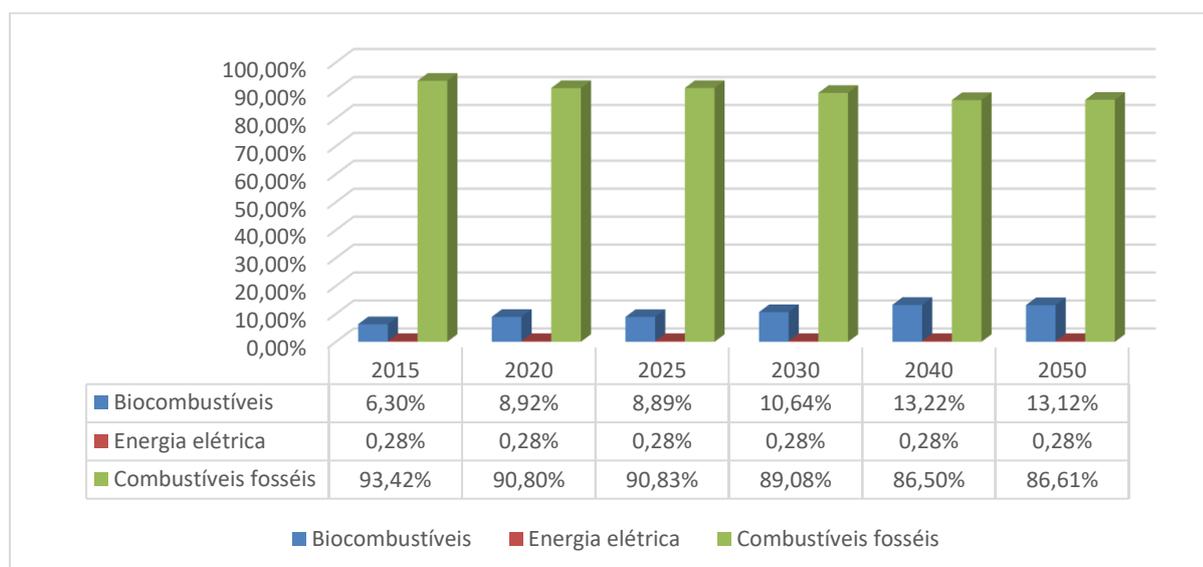
Considerando todos os modos de transporte, foi possível verificar o consumo por tipo de combustível ao longo dos anos, de 2015 a 2050, tanto para o transporte de passageiros (Figura 13), quanto para o transporte de carga (Figura 14).



**Figura 13.** Demanda de energia por fonte – Transporte de passageiros

Fonte: Elaboração própria.

No transporte de passageiros, verificou-se um aumento na participação da demanda por biocombustíveis de 39% devido à maior participação do biodiesel no diesel e o incentivo ao uso do etanol. A participação da energia elétrica cresceu cerca de 7,8 vezes devido ao crescimento tendencial do modo ferroviário e a entrada de automóveis, motocicletas e ônibus urbanos elétricos a bateria. Devido à crescente demanda por biocombustíveis e energia elétrica, a participação dos combustíveis fósseis caiu cerca de 21%.



**Figura 14.** Demanda de energia por fonte – Transporte de carga.

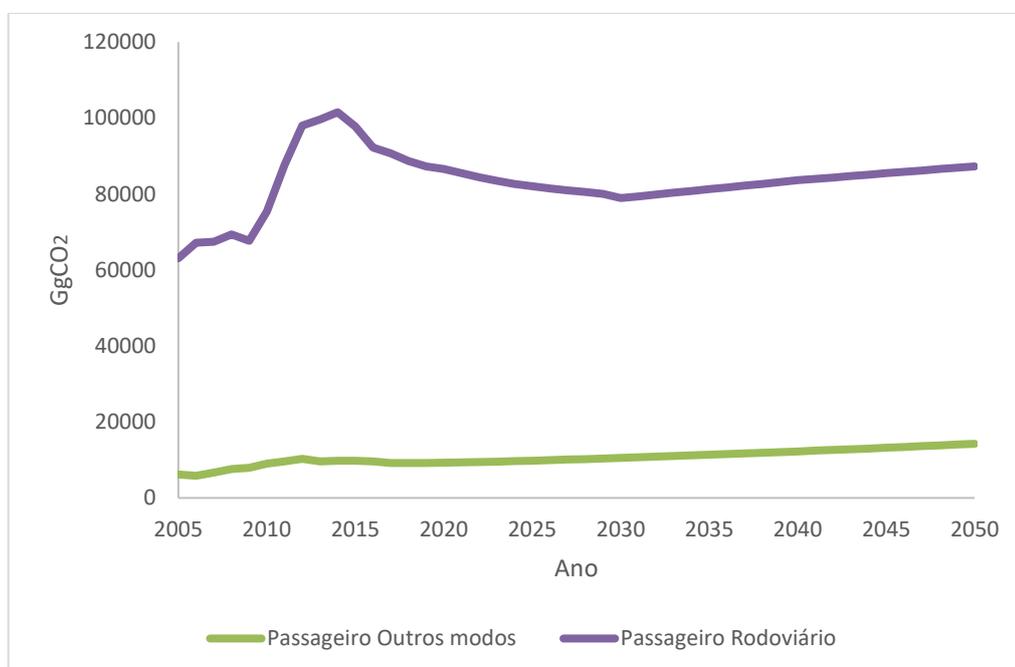
Fonte: Elaboração própria.



No transporte de carga, verificou-se um aumento na participação da demanda por biocombustíveis de 108% devido à maior participação do biodiesel no diesel e à introdução do biodiesel na mistura do diesel demandado pela navegação interior. A participação da energia elétrica permaneceu a mesma devido ao crescimento tendencial do modo dutoviário. Devido à crescente demanda por biocombustíveis, a participação dos combustíveis fósseis caiu cerca de 7%.

### 4.3. Emissões de CO<sub>2</sub>

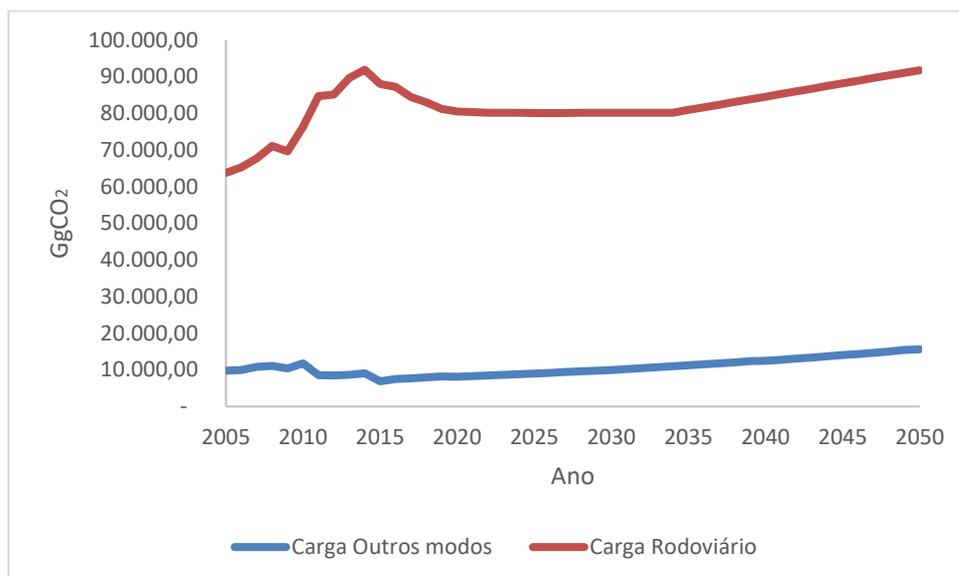
Com base no consumo de energia estimado e nos fatores de emissão referentes a cada combustível, apresentados na Tabela 1, calculou-se a emissão de CO<sub>2</sub>, por modo de transporte, para o transporte de passageiros (Figura 15) e para o transporte de carga (Figura 16).



**Figura 15.** Emissão de CO<sub>2</sub> – transporte de passageiros.

**Legenda:** Gg - Gigagrama.

**Fonte:** Elaboração própria.



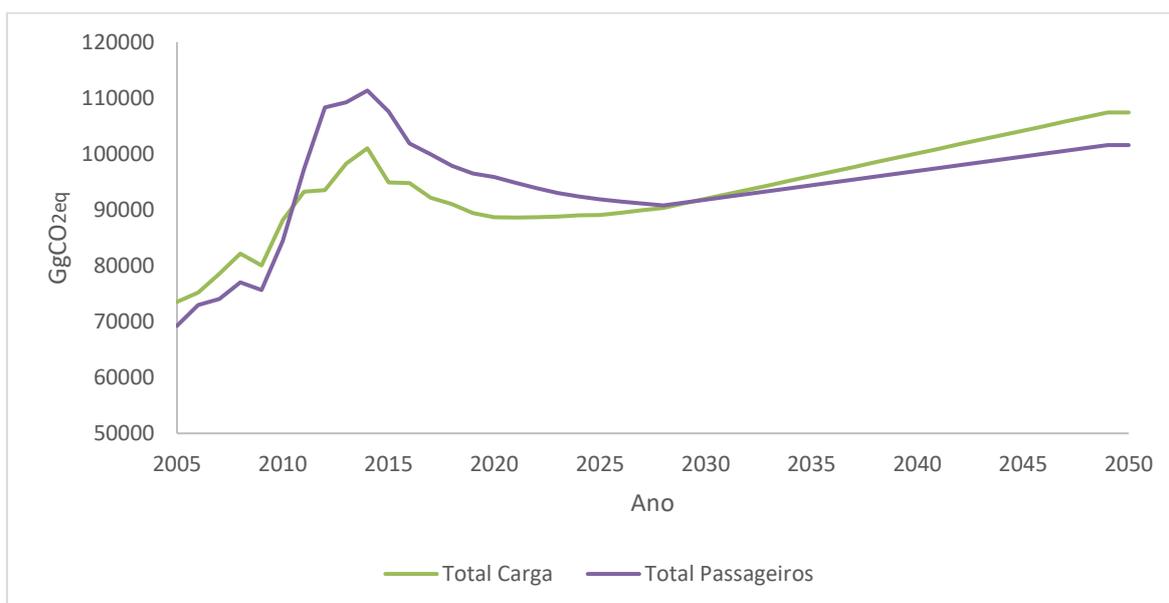
**Figura 16.** Emissão de CO<sub>2</sub> – transporte de carga.

**Legenda:** Gg - Gigagrama.

**Fonte:** Elaboração própria.

Verificou-se que, tanto para o transporte de passageiros quanto para o transporte de carga, há total predominância do modo rodoviário (2005 a 2050) em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, se comparado aos outros modos.

Analisando-se a Figura 17, nota-se que, mesmo demandando menos energia que o transporte de passageiros, o transporte de carga será o maior responsável pela emissão de CO<sub>2</sub> do setor, ultrapassando o transporte de passageiros no ano de 2029. Isso ocorre, pois, a entrada de veículos híbridos e elétricos só foi considerada no transporte de passageiros, além de possuir mais uma opção, a de biocombustíveis, o etanol anidro presente na gasolina C, e a opção do etanol hidratado.

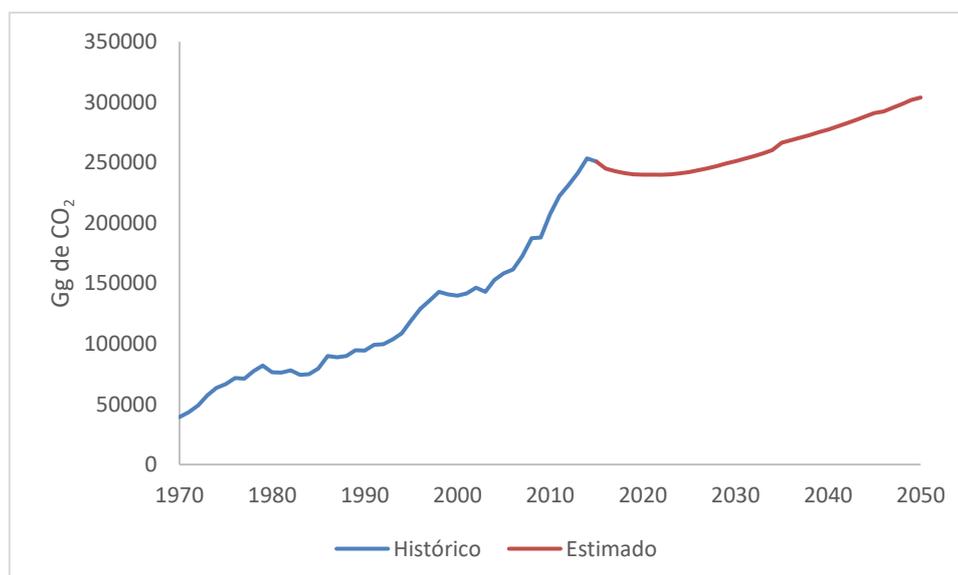


**Figura 17.** Evolução da emissão de CO<sub>2</sub> por tipo de transporte.

**Legenda:** Gg - Gigagrama.

**Fonte:** Elaboração própria.

A Figura 18 apresenta a evolução das emissões de CO<sub>2</sub> do setor de transportes, considerando o transporte de passageiros e o de carga.



**Figura 18.** Evolução da emissão de CO<sub>2</sub> – Setor de transportes.

**Legenda:** Gg - Gigagrama.

**Fonte:** Elaboração própria.



Analisando-se a Figura 18, nota-se que, considerando o comportamento tendencial, as emissões de CO<sub>2</sub> aumentarão cerca de 21% até 2050, se comparado ao ano base (2015). Logo, o Cenário BAU não atenderá à NDC, uma vez que a mesma tem como meta uma redução de 37% das emissões de carbono em 2025 e 43% em 2030. O que se estima no Cenário BAU é um aumento das emissões de CO<sub>2</sub> em 53% para 2025 e em 59% para 2030. Vale ressaltar que a meta da NDC considera para a redução das emissões nacionais de carbono o somatório de todos os setores. Porém, entende-se que o setor de transportes é um setor chave para atingir tais metas, pois além de possuir diversas opções de mitigação, este ainda pode proporcionar diversos co-benefícios para a população e o país.



## 5. Considerações finais, limitações e proposições para trabalhos futuros

Atendendo aos objetivos propostos neste estudo, foi apresentado o cenário tendencial, o Cenário BAU, da atividade de transportes no Brasil, em intervalos anuais até o ano de 2050, considerando a evolução da matriz energética e as emissões de CO<sub>2</sub>.

Este estudo buscou explorar e explicar o setor. Para isso, utilizou-se da abordagem qualitativa e quantitativa para estabelecimento do modelo e adotou como procedimentos para coleta de dados a pesquisa bibliográfica, a pesquisa documental e a pesquisa realizada junto a especialistas da área de transporte e energia com o propósito de ratificar as premissas adotadas.

O diferencial da utilização combinada da metodologia qualitativa ASIF com as metodologias quantitativas *top-down* e *bottom-up*, bem como a sua forma de análise de consistência de dados, validação, consolidação e ajuste de *inputs*, de maneira desagregada, possibilitou uma maior sensibilidade para as análises e os ajustes necessários.

Com base nos dados históricos levantados, referentes ao consumo de energia e ao momento de transporte (de passageiro e de carga), nos valores considerados para o PIB, nas taxas de variação do PIB e da população, foi possível identificar a tendência de evolução do uso de energia e da emissão de CO<sub>2</sub> para o setor de transportes por meio das projeções realizadas até 2050, tendo 2015 como ano base.

A partir da aplicação de tal metodologia, verificou-se que o momento de transporte de carga alcançará o valor de  $2.006 \times 10^9$  t.km e o momento de transporte de passageiros alcançará  $3.286 \times 10^9$  pass.km, ambos até 2050.

Para o Cenário BAU, estima-se que o modo rodoviário permanecerá sendo predominante, tanto para o transporte de passageiros, quanto para o transporte de carga, embora sua participação na divisão modal tenha sido reduzida em ambos os casos. A divisão modal do transporte rodoviário de passageiros seria reduzida em 3,5% e a do transporte rodoviário de carga em 23%, considerando o período de 2015 a 2050.

Em relação ao consumo de energia, verificou-se que o modo rodoviário é predominante e continuará sendo responsável pela maior parcela do consumo de energia no Brasil em 2050, tanto para o transporte de passageiros, quanto para o transporte de carga, alcançando 90% de participação do uso de todos os tipos de energia demandadas para o setor de transportes. Além disso, estima-se grande dependência do setor de transportes em relação às fontes de energia derivadas de petróleo (67%), sobretudo no que diz respeito ao diesel de petróleo (42%).



Quanto à emissão de CO<sub>2</sub> em 2050, estima-se que o transporte de carga será responsável pela emissão de 51% e o transporte de passageiros de 49%.

Analisando-se os resultados, nota-se que, considerando o comportamento tendencial, as emissões de CO<sub>2</sub> aumentarão cerca de 21% até 2050, se comparado ao ano base (2015). Logo, o Cenário BAU não contribuirá com a meta estabelecida na NDC brasileira, uma vez que a mesma tem como meta uma redução de 37% das emissões de carbono em 2025 e 43% em 2030. O que se estima no Cenário BAU é um aumento das emissões de CO<sub>2</sub> em 53% para 2025 e em 59% para 2030. Vale ressaltar que a meta da NDC considera a redução agregada das emissões nacionais de carbono para todos os setores. Porém, entende-se que o setor de transportes é um setor chave para atingir tais metas, pois além de possuir diversas opções de mitigação, ainda pode proporcionar diversos co-benefícios para a população e o país.

Adicionalmente, constatou-se que algumas premissas consideradas neste estudo foram capazes de proporcionar melhores resultados na utilização de energia e na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Dentre elas, pode-se destacar as seguintes: (1) a transferência modal, tanto para o transporte de carga quanto de passageiros, especificamente do modo rodoviário para o ferroviário; (2) a otimização da capacidade dos veículos, tanto de uso individual quanto coletivo, influenciando diretamente no carregamento médio dos veículos; (3) a redução da intensidade de uso, ou seja, percorrendo-se menores distâncias; (4) a utilização de biocombustíveis, principalmente do etanol, nos automóveis *flexible fuel* e biodiesel, em ônibus e em caminhões; e (5) a maior participação de veículos elétricos e híbridos na frota rodoviária de transporte de carga e de passageiros.

Em relação à matriz energética do transporte brasileiro, considerou-se o predomínio dos combustíveis de origem fóssil (79%), uma participação em torno de 20,7% dos biocombustíveis e 0,3% de energia elétrica em 2015. No ano de 2050, a participação destas fontes de energia se altera para 66% de combustíveis de origem fóssil, 32% de biocombustíveis e 2% de energia elétrica.

Como limitações para a realização deste estudo, pode-se citar: (1) a existência de maior incerteza em relação aos dados históricos do transporte aquático de carga; (2) a série histórica do consumo de energia ter início a partir de 1970, uma vez que nos anos anteriores o Balanço Energético Nacional (BEN), fornecido pelo Ministério de Minas e Energia, ainda não era realizado; (3) a divergência de dados históricos de transporte entre os diversos relatórios brasileiros para o momento de transporte de carga e de passageiros; e (4) a dispersão dos dados das agências reguladoras do setor de transportes (ANTT, ANTQ e ANAC), que dificulta a consolidação e coerência das informações.

Além disso, pode-se citar o fato das premissas adotadas no estudo basearem-se, principalmente, em documentos de instituições públicas e privadas, cujas políticas podem ser modificadas com o



passar do tempo, influenciando nos resultados. Houve também premissas que se basearam no nível de conhecimento atual a respeito do tema em questão e que pode ser modificado com a evolução tecnológica e científica.

Outra limitação desse estudo refere-se aos prazos longos considerados para as projeções do momento de transporte, tanto de carga quanto de passageiro, cerca de 33 anos, o que potencializa a possibilidade de erro nas estimativas.

Como recomendações para trabalhos futuros, pode-se apontar a realização de estudos com foco na melhoria do transporte rodoviário, pois este demonstrou ser o que mais demanda energia. Além disso, recomendam-se estudos que permitam viabilizar a transferência modal para modos de maior capacidade que o rodoviário ou ainda modos não motorizados, no caso do transporte de passageiros.

Numa próxima edição deste trabalho, além da atualização do Cenário BAU, pretende-se apresentar um cenário alternativo.

Adicionalmente, recomenda-se a constante atualização dos resultados alcançados, possibilitando a formação de uma base de dados referentes à atividade de transporte e consumo de energia, que permitirá melhoria e refinamento das informações utilizadas neste estudo.



## 6. Referências bibliográficas

- ABRACICLO, Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas. ABRACICLO, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares. Disponível em: <<http://www.abraciclo.com.br/dados-do-setor>>. Acesso em 10 de junho de 2017.
- ANFAVEA, 2017. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em 10 junho. 2017.
- 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.
- Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbanos – NTU (2016) Acompanhamento dos investimentos em transporte público por ônibus no Brasil. Disponível em: <http://www.ntu.org.br/novo/NoticiaCompleta.aspx?idArea=10&idSegundoNivel=106&idNoticia=702>
- Britton E. (2000). A short history of early car sharing innovations. *Journal of World Transport Policy and Practice: Carsharing* 2000:9–15. [www.ecoplan.org/library/wt5-3.pdf](http://www.ecoplan.org/library/wt5-3.pdf)
- BYD, 2017. Installation Manual and User Manual for BYD Double Glass Photovoltaic Modules.
- C40 e IDB, 2013. Low Carbon Technologies can transform Latin America’s Bus Fleets. C40 Cities Climate Leader Group (C40) e *Inter-American Development Bank* (IDB).
- Cancian, M. R. S. (2016) Análise da percepção dos usuários quanto ao serviço da empresa UBER. Monografia (Bacharelado em Administração). Universidade de Brasília.
- D’Agosto, M. A. *et al.* Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro. COPPETEC, 2011.
- D’Agosto, M. A., Gonçalves, D. N. S. e Oliveira, L. B.. Capítulo de transportes - Relatório Técnico. Projeto IES-Brasil - Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima/COPPE/UFRJ), 2016.
- 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, 2017. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional – 2017. Ano Base 2016, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil, 2017.
- 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.
- Global Opportunities for European SMEs – GO4SEM (2015) Electric Vehicle Supply Chain – Global Opportunities for Electric Mobility: Brazil. Disponível em: <http://www.go4sem.eu/public/global-opportunities/brazil-1>
- Gonçalves, D. N. S. e D’Agosto, M. A. Consolidação de bases de dados do setor de transportes: 1970-2015. 1ª ed. Editora IBTS, 2017.
- Gota, S., Huizenga, C., Peet, K. e Kaar, G. Intended Nationally-Determined Contributions (INDCs) offer opportunities for ambitious Actions on Transport and Climate Change. Partnership on Sustainable Low Carbon Transport – PPMC, 2015.
- 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.
- IEA. Key World Energy Statistics. International Energy Agency, Paris, France, 2013.
- Kirk, Jerome and Miller, Marc L. Reability and validity in qualitative research. Beverly Hills; Sage, 1986.
- La Rovere *et al.* Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima/COPPE/UFRJ), 2016.
- LPAA – Lima-Paris Action Agenda, 2015. Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action, Paris.
- MCTI -. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 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.
- MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 3ª Comunicação Nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre Mudança do Clima – Volume III, Brasília 2016. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706739/Volume+3.pdf/355d4a1e-9f3c-474a-982e-b4a63312813b>



- 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, 2017. Leaf – Owner Manual.
- NYC Taxi and Limousine Commisio. Research and Statistics, 2016. Disponível em: <http://www.nyc.gov/html/tlc/html/about/statistics.shtml>.
- Oliveira, C. M. e D’Agosto, M. A. PLVB – Programa de Logística Verde Brasil. Guia de referências em sustentabilidade. 1ª ed. Editora IBTS, 2017.
- PBMC (2013). Sumário executivo do volume 1–base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.
- 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.
- Shaheen, S. e A. Cohen (2015). “Innovative Mobility Carsharing Outlook.” Transportation Sustainability Research Center. Summer 2015.
- Shell, A better life with a healthy planet, Shell International BV, 2016.
- 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.
- 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.



## Anexo I – Setores e sua participação nas emissões totais de CO<sub>2eq</sub> de 2010 (1.271.399 Gg CO<sub>2eq</sub>)

Setor	Fonte	Subsetor/atividade	%
Energia	Queima de combustíveis	Transporte	13,8
		Energético	4,8
		Industrial	5,6
		Residencial	1,9
		Agricultura	1,4
		Comercial	0,1
		Público	0,1
	Emissões fugitivas	Mineração de carvão	0,2
		Extração e transporte de petróleo e gás natural	1,3
Processos industriais		Produção de cimento	1,7
		Produção de ferro-gusa e aço	3,1
		Outras indústrias	2,2
Agropecuária	Fermentação entérica	Gado bovino	17,8
		Outros animais	0,6
	Solos agrícolas (emissões diretas)	Animais em pastagem	4,2
		Fertilizantes sintéticos	0,9
		Aplicação de adubo	0,5
		Resíduos agrícolas	1
		Solos orgânicos	0,4
	Solos agrícolas (emissões indiretas)	Disposição atmosférica	0,9
		Lixiviação	3,3
	Cultura de arroz		0,8
	Queima de resíduos agrícolas		0,4
Manejo de dejetos animais		1,3	
Uso da terra, mudança do uso da terra e florestas	Biomassa	Amazônia	14,1
		Mata Atlântica	6,3
		Cerrado	5,4
		Outros biomas	1
	Calagem	-	0,8
Tratamento de resíduos	Resíduos sólidos		2,2
	Efluentes		2,1

Fonte: adaptado de MCTI (2016).



## Anexo II – Workshops realizados e instituições presentes

<i>Workshop</i>	Ano	Local	Cidade	Estado
Revolução energética (1°)	2015	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	RJ
Revolução energética (2°)	2016			
Tecnologias de Mitigação de emissões de GEE no Brasil até 2050	2016	Hotel Windsor Atlântica		
Cenários de Mitigação de emissões de GEE no Brasil até 2050	2017	Hotel Windsor Florida		

Instituições	Sigla
Agência Nacional de Aviação Civil	ANAC
Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	ANP
Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa em Engenharia	COPPE
Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil	APROBIO
Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes	ANPET
Banco Nacional do Desenvolvimento	BNDES
Empresa de Pesquisa Energética	EPE
Financiadora de Estudos e Projetos	FINEP
<i>Greenpeace</i>	
Instituto Clima e Sociedade	ICS
Instituto de Energia e Meio Ambiente	IEMA
Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento	ITDP
Instituto de Transporte e Logística da Confederação Nacional de Transportes	ITL/CNT
Ministério das Cidades	
Universidade Estadual de Campinas	UNICAMP
Universidade Federal de Itajubá	UNIFEI
<i>World Resources Institute</i>	WRI
<i>World Wide Fund for Nature</i>	WWF



### Anexo III - Evolução da demanda energética (10<sup>3</sup>tep)

	GÁS NATURAL	TOTAL PRIMÁRIA	ÓLEO DIESEL	BIODIESEL	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GASOLINA	QUEROSENE	ELETRICIDADE	ÁLCOOL ETÍL.	TOTAL SECUND.	TOTAL
<b>2015</b>											
TRANSPORTES - TOTAL	1.553	1.553	39.244	-	724	23.306	3.609	273	15.424	82.484	84.037
DUTOVIÁRIO								96			
RODOVIÁRIO	1.553	1.553	38.033			23.257			15.424	76.714	78.267
FERROVIÁRIO	-	-	971					177		1.148	1.148
AÉREO	-	-				49	3.609			3.658	3.658
AQUÁTICO	-	-	240		724					965	965
<b>2020</b>											
TRANSPORTES - TOTAL	1.560	1.560	37.894	3.897	1.041	19.808	3.455	296	16.739	83.038	84.598
DUTOVIÁRIO								92			
RODOVIÁRIO	1.560	1.560	36.651	3.803		19.763		3	16.739	76.960	78.520
FERROVIÁRIO	-	-	900	93				201		1.194	1.194
AÉREO	-	-				45	3.455			3.500	3.500
AQUÁTICO	-	-	343		1.041					1.384	1.384



<b>2025</b>											
TRANSPORTES - TOTAL	1.662	1.662	38.814	3.992	1.113	17.395	3.693	393	18.719	84.021	85.683
DUTOVIÁRIO								98			
RODOVIÁRIO	1.662	1.662	37.480	3.889	-	17.346	-	47	18.719	77.482	79.144
FERROVIÁRIO	-	-	990	103	-	-	-	248	-	1.341	1.341
AÉREO	-	-	-		-	49	3.693	-	-	3.742	3.742
AQUÁTICO	-	-	344		1.113	-	-	-	-	1.457	1.457
<b>2030</b>											
TRANSPORTES - TOTAL	1.905	1.905	39.693	5.059	1.210	15.943	3.998	572	21.749	88.124	90.029
DUTOVIÁRIO								100			
RODOVIÁRIO	1.905	1.905	38.207	4.866	-	15.892	-	167	21.749	80.881	82.786
FERROVIÁRIO	-	-	1.000	127	-	-	-	305	-	1.432	1.432
AÉREO	-	-	-		-	51	3.998	-	-	4.049	4.049
AQUÁTICO	-	-	486	66	1.210	-	-	-	-	1.762	1.762
<b>2035</b>											
TRANSPORTES - TOTAL	2.103	2.103	41.532	5.287	1.322	16.570	4.349	849	23.833	93.641	95.744
DUTOVIÁRIO								101			
RODOVIÁRIO	2.103	2.103	39.910	5.083	-	16.515	-	378	23.833	85.719	87.822
FERROVIÁRIO	-	-	1.024	130	-	-	-	370	-	1.524	1.524
AÉREO	-	-	-		-	55	4.349	-	-	4.404	4.404
AQUÁTICO	-	-	598	74	1.322	-	-	-	-	1.994	1.994



<b>2040</b>											
TRANSPORTES - TOTAL	2.223	2.223	42.403	6.976	1.447	16.929	4.724	1.227	25.147	98.748	100.971
DUTOVIÁRIO								104			
RODOVIÁRIO	2.223	2.223	40.595	6.691	-	16.870	-	679	25.147	89.981	92.204
FERROVIÁRIO	-	-	1.106	182	-	-	-	444	-	1.732	1.732
AÉREO	-	-	-	-	-	59	4.724	-	-	4.783	4.783
AQUÁTICO	-	-	702	103	1.447	-	-	-	-	2.252	2.252
<b>2045</b>											
TRANSPORTES - TOTAL	2.240	2.240	44.491	7.309	1.585	17.412	5.128	1.680	26.379	103.875	106.115
DUTOVIÁRIO								109			
RODOVIÁRIO	2.240	2.240	42.418	6.991	-	17.348	-	1.042	26.379	94.178	96.418
FERROVIÁRIO	-	-	1.232	203	-	-	-	529	-	1.964	1.964
AÉREO	-	-	-	-	-	64	5.128	-	-	5.192	5.192
AQUÁTICO	-	-	841	115	1.585	-	-	-	-	2.541	2.541
<b>2050</b>											
TRANSPORTES - TOTAL	2.156	2.156	46.561	7.632	1.733	17.872	5.551	2.209	27.403	108.848	111.004
DUTOVIÁRIO								113			
RODOVIÁRIO	2.156	2.156	44.214	7.287	-	17.803	-	1.480	27.403	98.187	100.343
FERROVIÁRIO	-	-	1.365	225	-	-	-	616	-	2.206	2.206
AÉREO	-	-	-	-	-	69	5.551	-	-	5.620	5.620
AQUÁTICO	-	-	982	120	1.733	-	-	-	-	2.835	2.835



## Anexo IV – Evolução do momento de transporte de passageiros (10<sup>6</sup> pass.km) e de carga (10<sup>6</sup> t.km)

Ano	Transporte de Passageiros				Transporte de Carga				
	Aéreo	Aquático	Ferroviário	Rodoviário	Dutoviário	Aéreo	Aquático	Ferroviário	Rodoviário
<b>2014</b>	122474	1294	35493	1901099	33469	1646	205445	307304	775741
<b>2015</b>	127533	1279	37603	1891234	33261	1496	116472	331721	743904
<b>2030</b>	151782	1827	66584	2096444	33374	2174	246129	371983	775767
<b>2040</b>	186764	2476	98283	2463980	36356	2986	315990	481259	847655
<b>2050</b>	230073	3287	138044	2915348	40131	4013	404322	619425	938669

