

Laboratório Urbano da Cidade Universitária da UFRJ



RELATÓRIO 3

Diagnóstico dos transportes e indicadores de
emissão de CO₂ da Cidade Universitária da UFRJ

Projeto 18997 – Shell Brasil Petróleo Ltda.

Projeto 18997

Shell Brasil Petróleo Ltda.



RELATÓRIO FINAL

Projeto 18.997 – Shell Brasil Petróleo Ltda.



EQUIPE

Coordenação: Suzana Kahn Ribeiro – PET/COPPE/UFRJ

Coordenação técnica da área de tecnologias de mobilidade sustentável: Márcio de Almeida D'Agosto – PET/COPPE/UFRJ

Coordenação técnica da área de indicadores e monitoramento: Elizabeth Lima – PET/COPPE/UFRJ

Pesquisadores:

Cíntia Machado de Oliveira – PET/COPPE/UFRJ

Daniel Neves Schmitz Gonçalves – PET/COPPE/UFRJ

Ruan Carlos Ramos da Silva – PEE/UFRJ

1.1	Objetivos	9
1.2	Conteúdo do Relatório Final	10
2	VEÍCULO ELÉTRICO	10
2.1	Teste comparativo entre os veículos convencional e elétrico	10
2.1.1	Descrição dos testes	10
2.1.2	Teste de consumo contínuo	11
2.1.3	Teste de autonomia	12
2.1.4	Teste de carregamento do veículo elétrico e de abastecimento do veículo convencional	12
2.1.5	Resultados encontrados	12
2.1.6	Análise dos resultados	23
2.2	Introdução do uso dos veículos elétricos no Brasil	24
2.2.1	Cenário de evolução do uso dos automóveis, consumo de energia e emissão de CO ₂	24
2.2.2	Metodologia	26
2.2.3	Premissas adotadas	26
2.2.4	Resultados encontrados	36
2.2.5	Análise dos resultados	50
2.3	Inventário de Ciclo de Vida (ICV) dos veículos convencional e elétrico	56
2.3.1	Objetivo e escopo	57
2.3.2	Requisitos de qualidade	58
2.3.3	Análise do Inventário de Ciclo de vida (ICV) do veículo convencional e elétrico	67
2.3.4	Análise dos resultados	84
2.4	Custos comparativos entre os veículos convencional e elétrico	85
2.5	Conclusão	88
3	SISTEMA DE COMPARTILHAMENTO DAS BICICLETAS	90
4	SISTEMA DE COMPARTILHAMENTOS DE VEÍCULOS	95
5	PROGRAMA DE APOIO À MOBILIDADE INTRACAMPUS	103
5.1	Benefícios e Impactos de <i>Carsharing</i>	107
5.2	Regulamentação do <i>Carsharing</i> no Brasil	109
5.3	Possibilidades de <i>Carsharing</i> na UFRJ	109
5.3.1	Compartilhamento da frota cativa da UFRJ	109
5.3.2	Sistema de Carona Solidária na Cidade Universitária da UFRJ - Caronaê.	112
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
	REFERÊNCIAS	119
	APÊNDICE A	124
	1. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO <i>BOTTOM-UP</i>	124
	2. PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DA FROTA CIRCULANTE	128

3. PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DA INTENSIDADE DE USO.....	130
4. PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	132
5. PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DA EMISSÃO DE CO₂.....	134
6. PROCEDIMENTO PARA ESTIMATIVA DO MOMENTO DE TRANSPORTE	135
REFERÊNCIAS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Demonstrativo do potencial de redução das emissões de CO ₂ da Cidade Universitária da UFRJ.	9
Figura 2: Indicação de autonomia do veículo.....	11
Figura 3: Trajeto percorrido para realização do teste com veículo elétrico na Cidade Universitária da UFRJ.	13
Figura 4: Velocidade média e erro padrão dos veículos utilizados no teste.	14
Figura 5: Comparação do consumo de energia Nissan Leaf (D e Eco) x Nissan Sentra, todos sem aparelho de ar condicionado ligado.	15
Figura 6: Comparação do consumo de energia Nissan Leaf (D e Eco) x Nissan Sentra, todos com aparelho de ar condicionado ligado.	16
Figura 7: Emissão total de CO ₂ .km para o Nissan Sentra com e sem aparelho de ar condicionado ligado.	17
Figura 8: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf Eco com aparelho de ar condicionado ligado x Nissan Leaf Eco sem aparelho de ar condicionado ligado.	18
Figura 9: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf D com aparelho de ar condicionado ligado x Nissan Leaf D sem aparelho de ar condicionado ligado.	19
Figura 10: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf Eco x Nissan Leaf D, ambos sem aparelho de ar condicionado ligado.	19
Figura 11: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf Eco x Nissan Leaf D, ambos com aparelho de ar condicionado ligado.	20
Figura 12: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf Eco com aparelho de ar condicionado ligado x Nissan Leaf Eco sem aparelho de ar condicionado ligado. ...	21
Figura 13: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf D com aparelho de ar condicionado ligado x Nissan Leaf D sem aparelho de ar condicionado ligado.	22
Figura 14: Evolução da frota total de automóveis - Cenários 1, 2, 3 e 4	34
Figura 15: Evolução da frota total de comerciais leves - Cenário 1	35
Figura 16: Evolução da frota de automóveis - Cenário 1	36
Figura 17: Evolução da frota de comerciais leves - Cenário 1	37
Figura 18: Projeção consumo de energia (gasolina e etanol) - Cenário 1	37
Figura 19: Projeção consumo de energia (elétrica) - Cenário 1	38
Figura 20: Evolução da frota de automóveis - Cenário 2	39
Figura 21: Evolução da frota de comerciais leves - Cenário 2	40
Figura 22: Projeção consumo de energia (gasolina e etanol) - Cenário 2	40
Figura 23: Projeção consumo de energia (elétrica) - Cenário 2	41
Figura 24: Evolução da frota de automóveis - Cenário 3	42
Figura 25: Evolução da frota de comerciais leves - Cenário 3	43
Figura 26: Projeção consumo de energia (gasolina e etanol) - Cenário 3	43
Figura 27: Projeção consumo de energia (elétrica) - Cenário 3	44
Figura 28: Evolução da frota de automóveis - Cenário 4	45
Figura 29: Evolução da frota de comerciais leves - Cenário 4	46
Figura 30: Projeção consumo de energia (gasolina e etanol) - Cenário 4	46
Figura 31: Projeção consumo de energia (elétrica) - Cenário 4	47
Figura 32: Estimativa de participação dos automóveis por tipo de energia	48
Figura 33: Estimativa de participação dos comerciais leves por tipo de energia	49
Figura 34: Comparação demanda de combustível e energia elétrica (Cenários 1, 2, 3 e 4).	49

Figura 35: Demanda de energia em Peta Joule	50
Figura 36: Emissão de CO ₂	51
Figura 37: Participação de energia renovável	52
Figura 38: Estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço	53
Figura 39: Fases da Análise de Ciclo de Vida (ICV)	54
Figura 40: Fases do Inventário de Ciclo de Vida (ICV).	56
Figura 41: Fronteira do sistema do automóvel.	57
Figura 42: Fronteira do sistema da gasolina.	59
Figura 43: Fronteira do sistema do etanol.	61
Figura 44: Fronteira do sistema do veículo elétrico.	62
Figura 45: Fronteira do sistema da eletricidade.	63
Figura 46: Fronteira do sistema da bateria.	64
Figura 47: Emissão de CO ₂ eq./pass.km do veículo a gasolina e elétrico.	80
Figura 48: Tempo de retorno com relação ao custo do combustível.	82
Figura 54: Rede cicloviária e pontos de estacionamento de bicicletas da Cidade Universitária da UFRJ.	85
Figura 55: Distribuição dos pontos de estacionamento para bicicletas na Cidade Universitária da UFRJ.	86
Figura 56: Distribuição percentual da opinião declarada do entrevistado sobre a utilização de um sistema de empréstimo para circulação interna na Ilha do Fundão 87	87
Figura 57: Comparação dos indicadores	88
Figura 58: Comparação dos indicadores das pesquisas realizadas	88
Figura 59: Mensalidade do Serviço	89
Figura 60: Integração do <i>carsharing</i> aos modos de transporte	91
Figura 61: Crescimento de <i>Carsharing</i> no mundo	93
Figura 62: Membros de <i>Carsharing</i> no mundo	93
Figura 63: Veículos de <i>Carsharing</i> no mundo	94
Figura 64: Tendências para <i>Carsharing</i> na América do Sul	94
Figura 65: Modos de Transporte com o incremento de <i>Carsharing</i> /Ridesourcing/ Ridesourcing	97
Figura 49: Veículos de apoio ao “Programa de Mobilidade Fundo Verde – UFRJ” – à esquerda a Jardineira e à direita à Van.	98
Figura 50: Principais pontos de parada da Van	99
Figura 51: Embarque/Desembarque observados – Período da manhã	100
Figura 52: Embarque/Desembarque observados – horário do almoço	101
Figura 53: Embarque/Desembarque observados – Período da tarde	101
Figura 66: Tendências para a mobilidade urbana	103
Figura 67: Quantidade de veículos abastecidos por mês	105
Figura 68: Consumo mensal de combustíveis em litros	106
Figura 69: Perfil das emissões de CO ₂ da frota cativa (kg)	106
Figura 70: Caronas efetivadas por região (Ida e Volta)	109
Figura 71: Distribuição das Caronas por Região no Caronaê	110
Figura 1: Procedimento adotado para estimar o consumo de energia e emissões de CO ₂ por meio da metodologia <i>bottom-up</i>	119
ÍNDICE DE TABELAS	
Tabela 1: Dados dos veículos utilizados no teste.	10

Tabela 2: Descrição do teste de carregamento da bateria do veículo elétrico.	12
Tabela 3: Testes Realizados.	12
Tabela 4: Fatores de emissão de CO ₂	16
Tabela 5: Cenários de introdução de veículos híbridos e elétricos.	25
Tabela 6: Tipos e percentuais de automóveis, ano base 2014.	28
Tabela 7: Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de passageiro.	28
Tabela 8: Rendimento e melhoria de eficiência energética dos automóveis e comerciais leves (ciclo Otto).	29
Tabela 9: Rendimento energético dos automóveis e comerciais leves (híbrido diesel- elétrico).	30
Tabela 10: Materiais para a produção dos componentes automotivos	65
Tabela 11: Insumos utilizados na produção de 1 automóvel	66
Tabela 12: Dados para transporte do veículo no trecho da unidade industrial ao centro revendedor	67
Tabela 13: Taxa de reciclagem média e por veículo	67
Tabela 14: Inventário do ciclo de vida de 1kg de petróleo extraído em alto mar	68
Tabela 15: Inventário do transporte marítimo 1t.km	69
Tabela 16: Distância do transporte do Terminal a Refinaria	70
Tabela 17: Inventário da unidade de processo de refino de petróleo	70
Tabela 18: Produção dos derivados para 1 kg petróleo	71
Tabela 19: Distâncias entre os centros de produção ao centro de distribuição	71
Tabela 20: Consumo de energia para bombeio por oleodutos e operações nos terminais	72
Tabela 21: Dados do consumo do Automóvel Tipo	72
Tabela 22: Insumos da etapa agrícola	72
Tabela 23: Transporte de insumos	73
Tabela 24: Consumo de diesel nos tratos culturais	73
Tabela 25: Poluentes emitidos pelo maquinário agrícola	73
Tabela 26: Efluentes provenientes do cultivo da cana.....	74
Tabela 27: Características do caminhão para o transporte da cana-de-açúcar	74
Tabela 28: Poluentes atmosféricos emitidos pelo transporte da cana-de-açúcar	74
Tabela 29: Dados da etapa de produção do etanol	75
Tabela 30: Insumos da etapa industrial de produção de etanol	75
Tabela 31: Distribuição do etanol	75
Tabela 32: Oferta de potência de energia elétrica – Brasil	76
Tabela 33: Características do veículo elétrico	76
Tabela 34: Componentes para a produção de 1kg de bateria de íon de lítio	77
Tabela 35: Componentes do processo de montagem da bateria ion de lítio	77
Tabela 36: Fase do transporte da reciclagem	78
Tabela 37: Inventário da reciclagem da bateria de íon de lítio	78
Tabela 38: Custo do combustível / energia elétrica.	81
Tabela 39: Valor de aquisição dos veículos testados (ano base 2015).	81
Tabela 40: Termos utilizados na mobilidade compartilhada	95
Tabela 41: Impacto do Sistema de <i>Carsharing</i> na Europa e na América do Norte	102
Tabela 42: Frota Oficial da UFRJ	105
Tabela 43: Usuários cadastrados no Caronaê até 07/07/2016	108
Tabela 44: Número de pessoas que utilizaram o Caronaê até 07/07/2016	108

Tabela 45: Número de caronas efetivadas no Caronaê até 07/07/2016 por região	108
Tabela 46: Número de caronas efetivadas no Caronaê até 07/07/2016 por Centro Acadêmico da UFRJ	108
Tabela 47: Quantidade de pessoas que deixaram o carro em casa por conta do Caronaê	109
Tabela 48: Emissões de CO ₂ evitadas com <i>carpooling</i> no deslocamento de ida e volta à UFRJ.	111

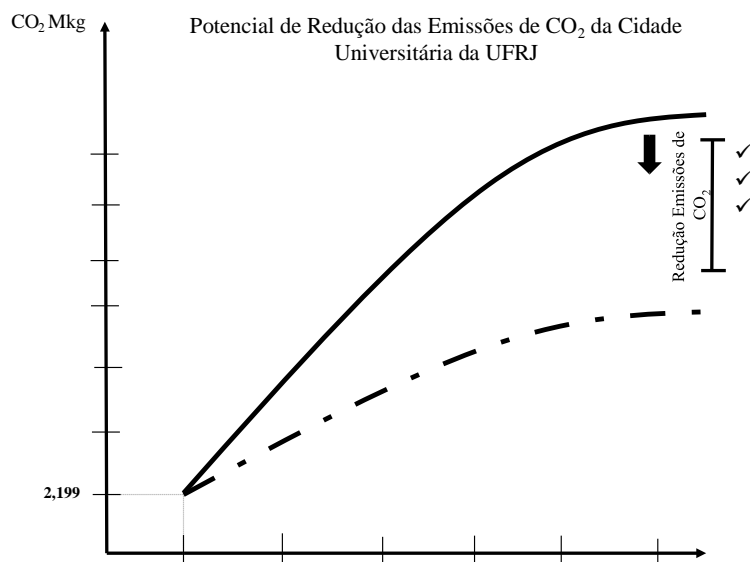
1 INTRODUÇÃO

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) vem adotando medidas no sentido de reduzir suas emissões de GEE relacionadas à atividade de transporte e já conta com diversas iniciativas para o desenvolvimento de novas alternativas para uma mobilidade sustentável no campus, dentre elas pode-se destacar a utilização de veículos elétricos e híbridos, o uso de biocombustíveis, o deslocamento por meio de levitação magnética, o compartilhamento de veículos, o programa de apoio à mobilidade intracampus e a criação de um sistema de compartilhamento de bicicletas (Kahn Ribeiro *et al.*, 2015).

Estudos preliminares relacionados à Fase 1, do Projeto “Laboratório Urbano da Cidade Universitária da UFRJ” e apresentados nos últimos dois Relatórios (Parcial 1 e 2), identificaram o consumo de energia e a emissão mensal de Dióxido de Carbono (CO₂), referentes à atividade de transporte e as boas práticas de mobilidade de baixo carbono que são adotadas na Cidade Universitária da UFRJ. Mediante tal levantamento, optou-se por avaliar o desempenho dos veículos elétricos e apurar a viabilidade de um sistema de compartilhamento de veículos, do programa de apoio à mobilidade intracampus e do sistema de compartilhamento das bicicletas.

1.1 Objetivos

O Relatório final tem por objetivo apresentar os resultados finais relacionados a utilização de veículos elétricos, tais como a comparação das tecnologias convencional (veículo a gasolina) e alternativa (veículo elétrico a bateria), o estudo sobre a potencial evolução da introdução dos veículos elétricos no Brasil, o estudo de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) comparativo entre um veículo elétrico e um convencional e o levantamento dos custos de aquisição e utilização de um veículo elétrico, se comparado ao veículo convencional. Além disso, pretende-se também apresentar os resultados finais relacionados ao programa de apoio à mobilidade intracampus, do sistema de compartilhamento das bicicletas e do sistema de compartilhamento de veículos.



O potencial de ganho por redução das emissões de CO₂ da Cidade Universitária da UFRJ, considerando a adoção de práticas de baixo carbono, está representado na Figura 1.

Utilização de veículos elétricos;
— — Compartilhamento de veículos;
Incentivo ao uso do transporte coletivo (*bike share*, programa de apoio a mobilidade)

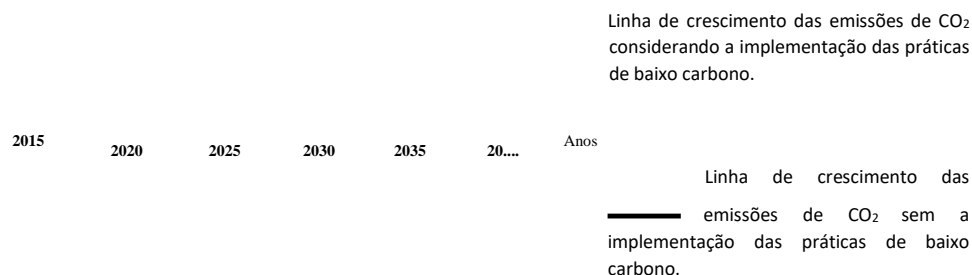


Figura 1: Demonstrativo do potencial de redução das emissões de CO₂ da Cidade Universitária da UFRJ.

1.2 Conteúdo do Relatório Final

A partir desta introdução este Relatório Final se divide em seis seções. Na seção dois apresentam-se todos os estudos e resultados relacionados à utilização de veículos elétricos. Na seção três apresentam-se as análises da implantação do programa de apoio à mobilidade intracampus. Na seção quatro, tem-se a avaliação de uma possível implementação do sistema de compartilhamento de bicicletas no campus da UFRJ. Na seção cinco tem-se a avaliação do sistema de compartilhamento de veículos e por fim, na seção seis, têm-se as considerações finais e os próximos passos do projeto “Laboratório Urbano da Cidade Universitária da UFRJ”.

2 VEÍCULO ELÉTRICO

Nesta seção serão apresentados os resultados de todos os estudos referentes à utilização de veículos elétricos como alternativa sustentável para o transporte na Cidade Universitária da UFRJ. Os estudos realizados foram: (1) teste comparativo entre os veículos convencional e elétrico (subseção 2.1); (2) potencial de introdução do uso dos veículos elétricos no Brasil (subseção 2.2); (3) Inventário de Ciclo de Vida (ICV) comparativo entre os veículos convencional e elétrico (subseção 2.3) e (4) custos comparativos entre os veículos convencional e elétrico (subseção 2.4).

2.1 Teste comparativo entre os veículos convencional e elétrico

Nesta seção serão apresentados a descrição e os resultados dos testes realizados para comparação entre os veículos convencional e elétrico e os resultados dos testes realizados apenas com o veículo elétrico, a fim de avaliar as suas duas formas de condução (modos D e Eco).

2.1.1 Descrição dos testes

Os testes realizados foram de ordem comparativa entre o veículo equipado com o sistema de propulsão elétrico e o veículo equipado com o sistema de propulsão convencional (motor de combustão interna (MCI) + sistema de transmissão mecânica (STM)) e de ordem comparativa entre as possíveis formas de condução do veículo equipado com o sistema de propulsão elétrico (modo D e modo Eco).

Os veículos considerados no estudo foram: (1) um automóvel elétrico da marca Nissan, modelo Leaf, ano 2011 e (2) um automóvel convencional também da marca Nissan, modelo Sentra, ano 2010 (Tabela 1).

Tabela 1: Dados dos veículos utilizados no teste.

	Nissan Leaf – 2011	Nissan Sentra - 2010
Placa	LQV9109	LLL3245
Fonte de energia	Energia elétrica armazenada em 48 módulos de baterias de íons de lítio somando 24 kWh	Gasolina armazenada em um tanque de 55 l ⁽¹⁾ Equivalente a 491,75 kWh
Tipo do Motor	AC Síncrono	Motor alternativo de combustão interna do ciclo Otto
Potência do Motor	80 kW/ 102 cv	142 cv – 2.0 cc
Caixa de Câmbio	Redutor de caixa de 1 velocidade	5 marchas a frente e 1 a ré
Transmissão	Automática	Manual
Peso	1.545 kg	1.348 kg
Suspensão	Independente McPherson	Independente McPherson
Tração	Dianteira	Dianteira
Poluente	Não Possui	CO, HC, NO _x e MP

Elaboração própria.

Para comparação do consumo de energia e emissão de CO₂ das duas tecnologias disponíveis (convencional e elétrica) realizaram-se os seguintes testes: de consumo contínuo, de carregamento de bateria do veículo elétrico e de abastecimento do veículo convencional.

Para comparação do consumo de energia e autonomia do veículo elétrico, considerando suas possíveis formas de condução, realizaram-se os seguintes testes: de consumo contínuo, de autonomia e de carregamento de bateria.

2.1.2 Teste de consumo contínuo

Para realização deste teste arbitrou-se uma rota de 50 a 80 km, em perímetro da Cidade Universitária da UFRJ. Ambos os carros circularam ao mesmo tempo e no mesmo percurso, seguindo o mesmo padrão de aceleração, na forma líder e seguidor, com alternância de posição a cada cinco voltas e com meta de realizar, pelo menos, 20 voltas por teste.

Tendo em vista que para o veículo elétrico existem duas formas de condução, a saber: (1) modo Eco, que segundo o fabricante, possibilita menor consumo de energia e (2) modo D, que permite o consumo de energia normal, optou-se por realizar os testes com o veículo elétrico nos modos D e Eco, juntamente com o veículo convencional. Sendo assim, foram realizados seis acompanhamentos para cada condição listada abaixo:

- Com o condicionador de ar ligado (mesma intensidade em ambos os veículos);
- Sem o condicionador de ar ligado;

Os dados obtidos por meio da realização dos testes foram:

- Distância percorrida (km);
- Consumo dos dois automóveis pela distância (l/km e kWh/km);
- Velocidade média por volta;

2.1.3 Teste de autonomia

A autonomia estimada (distância estimada) do Nissan Leaf foi obtida por meio do painel do veículo (Figura 2) e autonomia percorrida foi obtida por meio da distância total percorrida (km)



Figura 2: Indicação de autonomia do veículo.

2.1.4 Teste de carregamento do veículo elétrico e de abastecimento do veículo convencional

Para o veículo de tecnologia alternativa o teste de carregamento foi executado conforme procedimento descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição do teste de carregamento da bateria do veículo elétrico.

Tempo de carregamento e potência transferida	
Objetivo	Verificação do tempo de carregamento e da potência transferida para bateria.
Equipamentos necessários	Medidor de energia
Medidas obtidas	Valor RMS da potência e tempo durante o carregamento.

Elaboração própria.

Para o veículo de tecnologia convencional o abastecimento foi realizado de forma a completar o tanque de combustível em seu nível máximo até o disparo da bomba de combustível, antes e após a realização dos testes. Fez-se o registro do hodômetro e a contabilização da distância do local de abastecimento até o local da realização dos testes. Quanto ao combustível, utilizou-se sempre o mesmo tipo para todos os testes (gasolina C – 27% Etanol Anidro + 73% Gasolina A).

2.1.5 Resultados encontrados

Os testes foram realizados ao longo de 12 dias, sendo que, durante seis dias realizaram-se os testes com o Nissan Leaf simultaneamente com o Nissan Sentra e nos outros seis dias utilizouse apenas o Nissan Leaf. Os modos de condução do Nissan Leaf (modos D e Eco) foram alternados com as condições de condicionador de ar ligado e desligado (Tabela 3).

Tabela 3: Testes Realizados.

Data	Leaf	Sentra	Condicionador de ar
02/12/2015	Modo D	Sim	Desligado
04/02/2016	Modo D	Sim	Ligado
11/03/2016	Modo D	Sim	Desligado
18/03/2016	Modo D	Sim	Ligado
23/03/2016	Modo Eco	Sim	Desligado
24/03/2016	Modo Eco	Sim	Ligado
14/01/2016	Modo Eco	Não	Desligado
09/03/2016	Modo Eco	Não	Ligado
16/03/2016	Modo Eco	Não	Desligado
30/03/2016	Modo Eco	Não	Ligado
29/03/2016	Modo D	Não	Desligado
28/03/2016	Modo D	Não	Ligado

Legenda: Modo D (possibilita consumo de energia normal) – Modo Eco - (possibilita menor consumo de energia)

Fonte: Elaboração própria.

Os dois veículos tiveram, respectivamente, bateria e tanque de combustível, completamente carregados, antes e após cada dia de teste. Para levantamento de dados, utilizou-se, além do formulário elaborado especificamente para tal, dois equipamento de GPS (Gamim NUVI 2415). Em ambos os veículos, além do motorista, houve também a participação de um carona, a fim de fazer todas as anotações necessárias.

Quanto ao percurso, este se iniciou próximo ao prédio da reitoria, no cruzamento da Rua Paulo Emídio Barbosa com a Rua Hélio de Almeida, passando pela Rua Pascoal Lemme, Av. Pedro Camon e Av. Horácio de Macedo, até encontrar com a Rua Hélio de Almeida e portanto, o ponto inicial. A distância de uma volta no percurso é de 2,6 km (Figura 3).

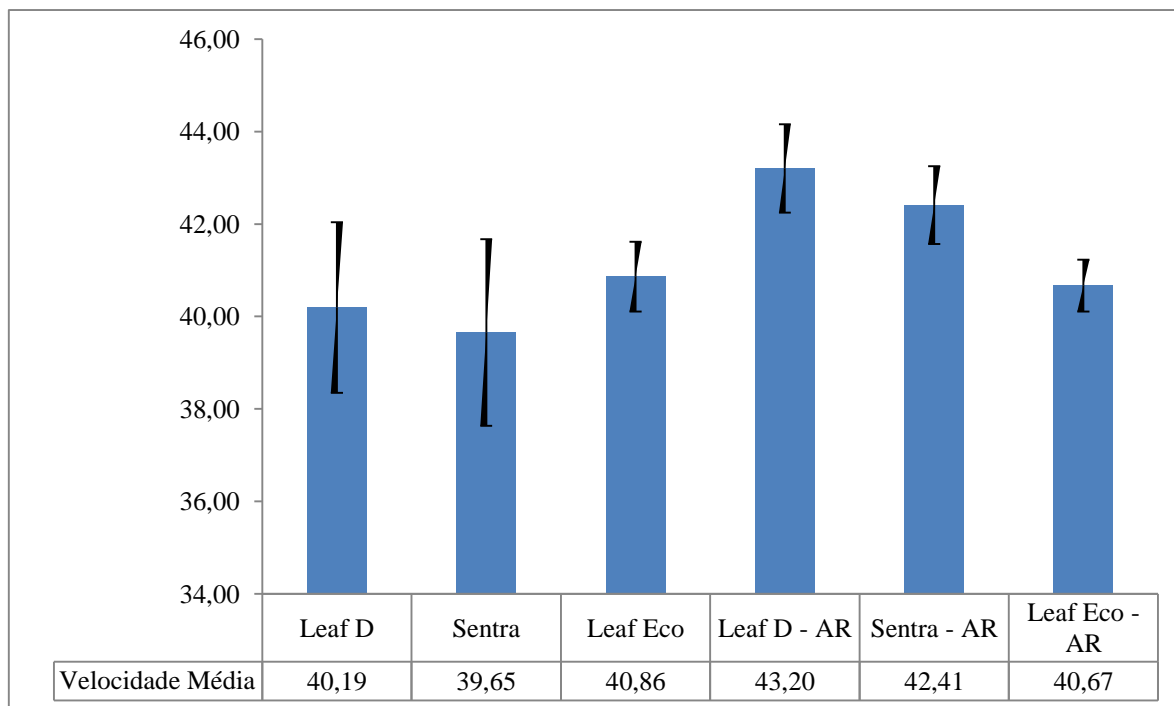


Figura 4: Velocidade média e erro padrão dos veículos utilizados no teste.

Considerando a condição de ar condicionado desligado, com nível de confiança de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf D variou entre 42,04 km/h e 38,35 km/h, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 40,19 km/h. No caso do Nissan Sentra variou entre 41,67 km/h e 37,64 km/h, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 39,65 km/h e no caso do Nissan Leaf Eco variou entre 41,62 km/h e 40,10 km/h, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 40,86 km/h.

Considerando a condição de ar condicionado ligado, com nível de confiança de 95% verificouse que a média da amostra extraída do Nissan Leaf D variou entre 44,16 km/h e 42,25 km/h, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 43,20 km/h. No caso do Nissan Sentra variou entre 43,25 km/h e 41,57 km/h, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 42,41 km/h e no caso do Nissan Leaf Eco variou entre 41,23 km/h e 40,10 km/h, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 40,67 km/h.

Tendo em vista que a quantidade de dados levantados por meio da realização dos testes, ao longo de 16 dias, optou-se por aplicar análise de estatística descritiva para comparação do consumo de energia, autonomia e emissão de CO₂ dos veículos, em todas as condições estabelecidas para o teste. São elas: Nissan Sentra e Nissan Leaf, com e sem ar condicionado e o Nissan Leaf nos modos D e Eco.

Para as comparações entre o Nissan Sentra e o Nissan Leaf, optou-se por converter todas as medidas para a Joule, tendo em vista que esta é uma unidade tradicionalmente usada para medir

energia mecânica. Essa opção foi adotada em função do consumo do veículo convencional ser dado em km/l (quilometro percorrido por litro de gasolina) e o consumo do veículo elétrico ser dado em km/kWh (quilometro percorrido por quilowatt-hora), impossibilitando a comparação direta entre as duas tecnologias.

Para as comparações do veículo elétrico, considerando suas possíveis formas de condução (modos D e Eco) adotou-se a medida tradicionalmente utilizada, ou seja, km/kWh (quilometro percorrido por quilowatt-hora).

2.1.5.1 Consumo de energia - Nissan Leaf e Nissan Sentra

A Figura 5 apresenta a comparação do consumo de energia, na condição de ar condicionado desligado para o Nissan Leaf (modos D e Eco) e para o Nissan Sentra.

Com nível de confiança de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf Eco variou entre 0,91 km/MJ e 1,31 km/MJ, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 1,11 km/MJ. No caso do Nissan Sentra, a média da amostra variou entre 0,14 km/MJ e 0,42 km/MJ, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 0,28 km/MJ.

No caso específico do Nissan Leaf D, por questões técnicas de funcionamento do painel do veículo, não foi possível obter o consumo de energia no primeiro dia de teste (02/12/2015), impossibilitando a obtenção de um número de amostras que levasse a determinação de um intervalo de variação. A média verificada foi de 1,07 km/MJ.

Verificou-se que o Nissan Sentra possui um rendimento entre 75% e 74% maior que o Nissan Leaf Eco e Nissan Leaf D, respectivamente. No que diz respeito apenas ao Nissan Leaf, verificou-se que o modo Eco permitiu um rendimento 4% maior do que o modo D.

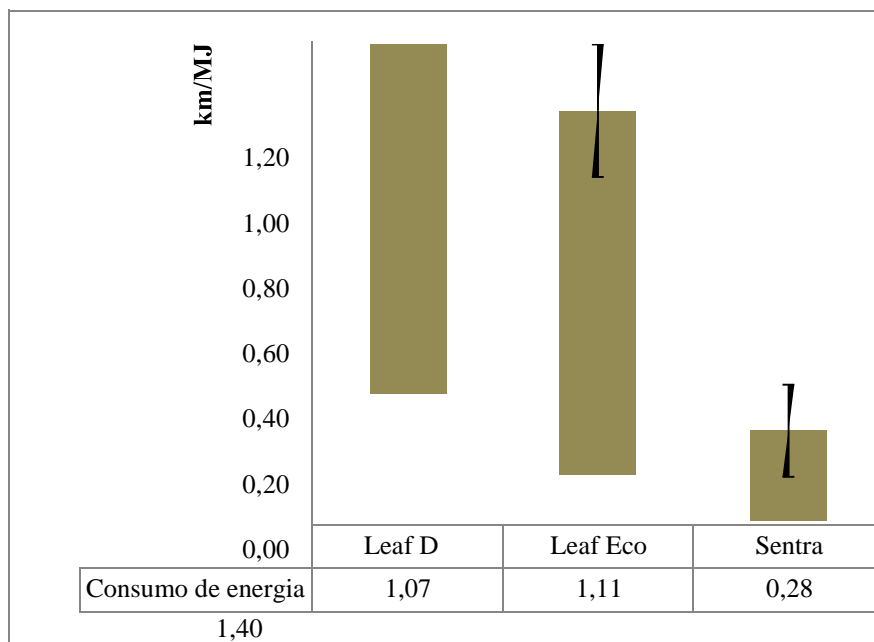


Figura 5: Comparação do consumo de energia Nissan Leaf (D e Eco) x Nissan Sentra, todos sem aparelho de ar condicionado ligado.

A Figura 6 apresenta a comparação do consumo de energia, na condição de ar condicionado ligado para o Nissan Leaf (modos D e Eco) e para o Nissan Sentra.

Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf D variou entre 0,75 km/MJ e 0,89 km/MJ, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 0,82 km/MJ. No caso do Nissan Leaf Eco a média da amostra variou entre 1,01 km/MJ e 1,13 km/MJ, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 1,07 km/MJ. No caso do Nissan Sentra a média da amostra variou entre 0,14 km/MJ e 0,34 km/MJ, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 0,24 km/MJ.

Verificou-se que Nissan Sentra possui um rendimento 77% e 70% maior que o Nissan Leaf Eco e Nissan Leaf D, respectivamente. No que diz respeito apenas ao Nissan Leaf, verificou-se que o modo Eco permitiu um rendimento 24% maior do que o modo D.

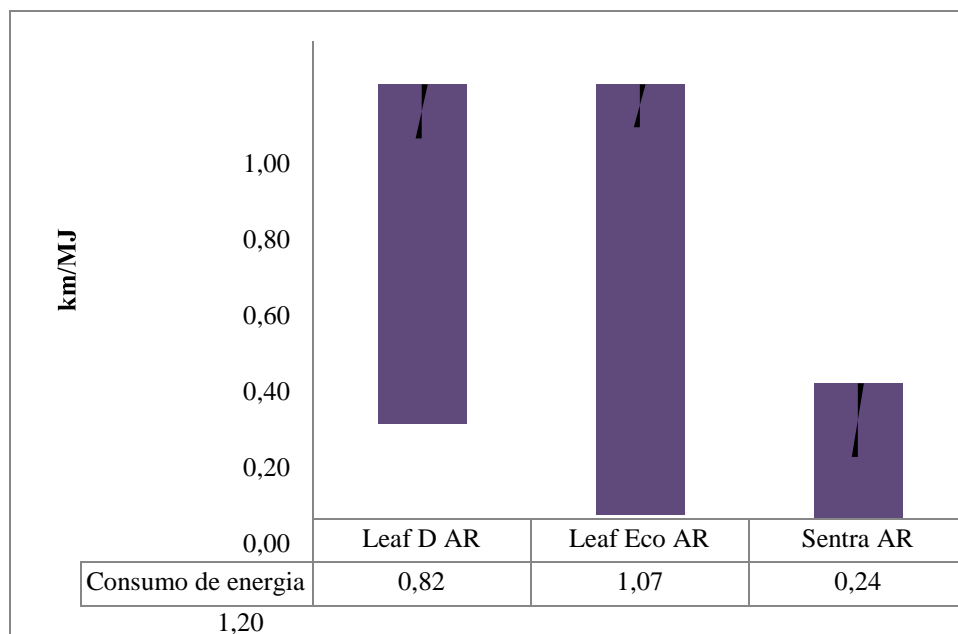


Figura 6: Comparação do consumo de energia Nissan Leaf (D e Eco) x Nissan Sentra, todos com aparelho de ar condicionado ligado.

2.1.5.2 Emissão CO₂ (Nissan Leaf e Nissan Sentra)

Tendo em vista que o veículo de tecnologia alternativa (Nissan Leaf) não emite CO₂ no uso final, a comparação é dada pelo quanto se deixaria de emitir mediante a substituição do veículo convencional (Nissan Sentra) por quilometro percorrido.

O cálculo das emissões de CO₂ levou em consideração os fatores de emissão da gasolina A e do etanol anidro (Tabela 4).

Tabela 4: Fatores de emissão de CO₂

Combustível	Fator de Emissão	Unidade
Gasolina A	2,21	kg/l
Etanol Anidro	1,46	

Fonte: Adaptado de MMA (2013).

A Figura 7 demonstra a emissão total de CO₂, para o Nissan Sentra, nas duas condições de uso do condicionador de ar, considerados para este estudo (ligados e desligados) por quilometro percorrido. Verificou-se que na condição de condicionador de ar ligado, o Nissan Sentra emitiu, pelo menos, 11% mais do que na condição do condicionador de ar desligado.

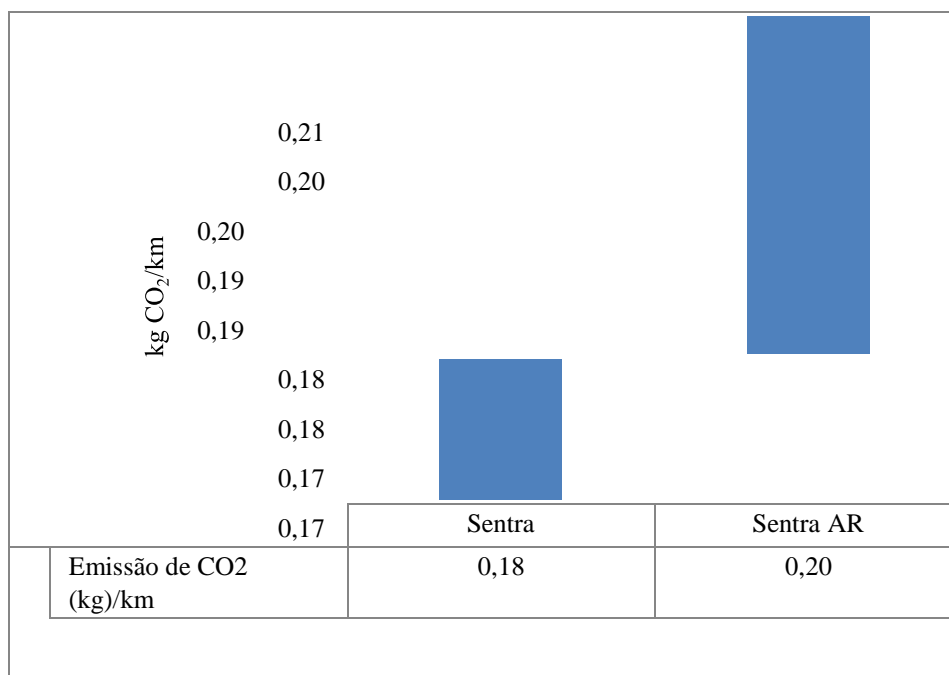


Figura 7: Emissão total de CO₂.km para o Nissan Sentra com e sem aparelho de ar condicionado ligado.

Fonte: Elaboração própria.

É oportuno ressaltar que a geração da energia elétrica, no Brasil, não é 100% renovável. Tem-se uma parcela de 11% oriunda de fontes não renováveis (IES Brasil, 2015). Sendo assim, para avaliação dos potenciais impactos ambientais do veículo elétrico ao longo de sua vida útil (extração da matéria prima, processamento da matéria prima, produção, uso final e gestão de resíduos), recomenda-se o estudo de Análise de Ciclo de Vida. Tal estudo, pode ser verificado na seção 2.3 deste relatório.

2.1.5.3 Consumo de energia (Nissan Leaf modos D e Eco)

Com base nos dados levantados por meio do teste de carregamento de bateria do veículo elétrico, verificou-se o consumo de energia do Nissan Leaf nos modos D e Eco, com e sem ar condicionado.

A Figura 8 apresenta a comparação entre o Nissan Leaf no modo Eco com ar condicionado ligado e com ar condicionado desligado. Verificou-se que na forma de condução Eco, o

consumo do veículo com ar condicionado ligado foi aproximadamente 4% maior do que o consumo do veículo com ar condicionado desligado.

Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf Eco com ar variou entre 3,66 km/kWh e 4,06 km/kWh, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 3,86 km/kWh. No caso do Nissan Leaf Eco sem ar a média da amostra variou entre 3,28 km/kWh e 4,74 km/kWh, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 4,01 km/kWh.

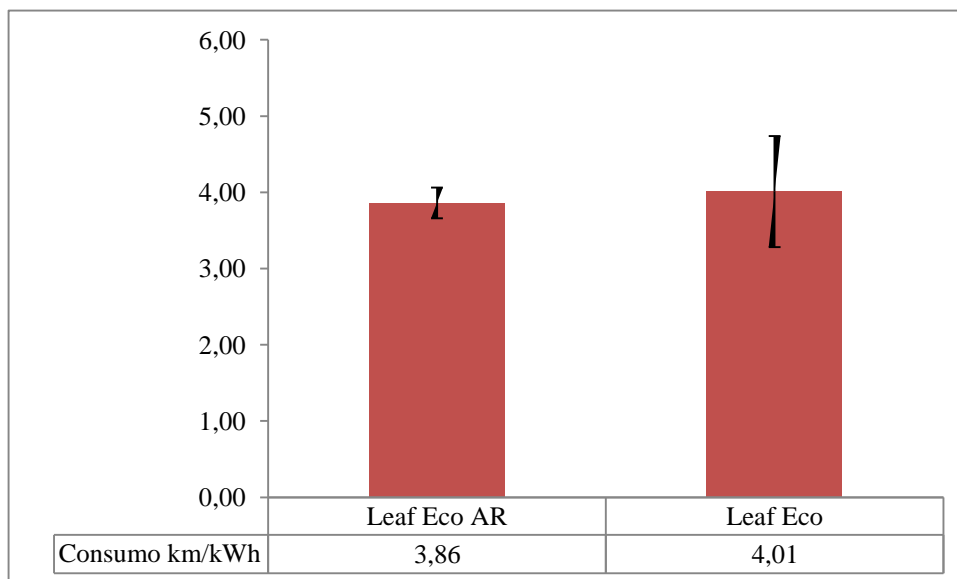


Figura 8: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf Eco com aparelho de ar condicionado ligado x Nissan Leaf Eco sem aparelho de ar condicionado ligado.

Quanto à comparação entre o Nissan Leaf no modo D com ar condicionado ligado e com ar condicionado desligado. Verificou-se que na forma de condução D, o consumo do veículo com ar condicionado ligado foi aproximadamente 31% maior do que o consumo do veículo com ar condicionado desligado. (Figura 9).

Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf D com ar condicionado ligado variou entre 2,84 km/kWh e 3,04 km/kWh, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 2,94 km/kWh. No caso do Nissan Leaf D sem ar a média da amostra variou entre 2,10 km/kWh e 5,59 km/kWh, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 3,85 km/kWh.

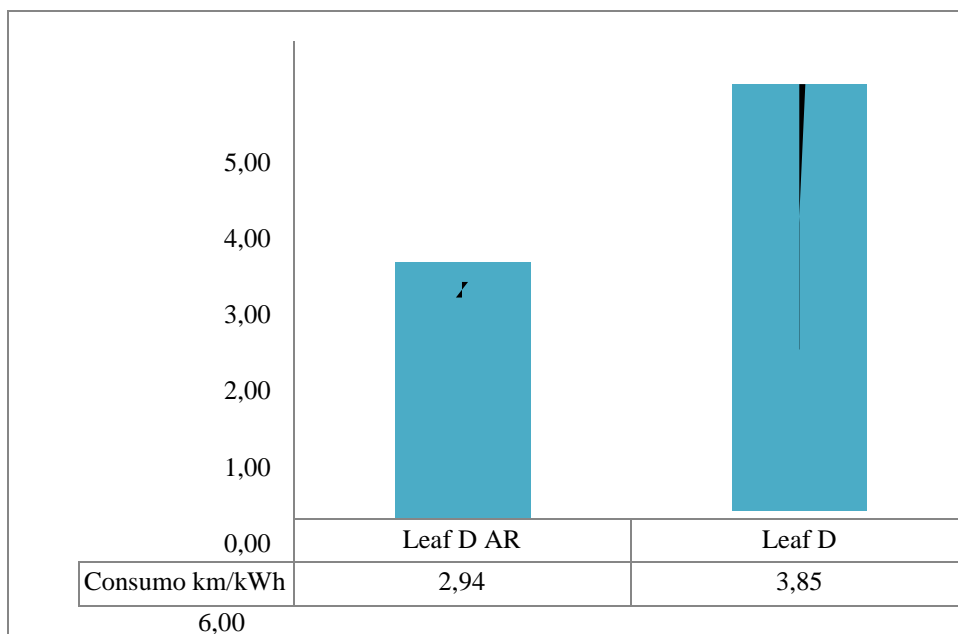


Figura 9: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf D com aparelho de ar condicionado ligado x Nissan Leaf D sem aparelho de ar condicionado ligado.

Quanto à comparação entre o Nissan Leaf no modo Eco e Nissan Leaf no modo D, ambos com ar condicionado desligado. Verificou-se que na forma de condução Eco, o consumo do veículo foi aproximadamente 4% menor do que o consumo do veículo no modo D. (Figura 10).

Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf Eco variou entre 3,28 km/kWh e 4,74 km/kWh, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 4,01 km/kWh. No caso do Nissan Leaf D a média da amostra variou entre 2,10 km/kWh e 5,59 km/kWh, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 3,85 km/kWh.

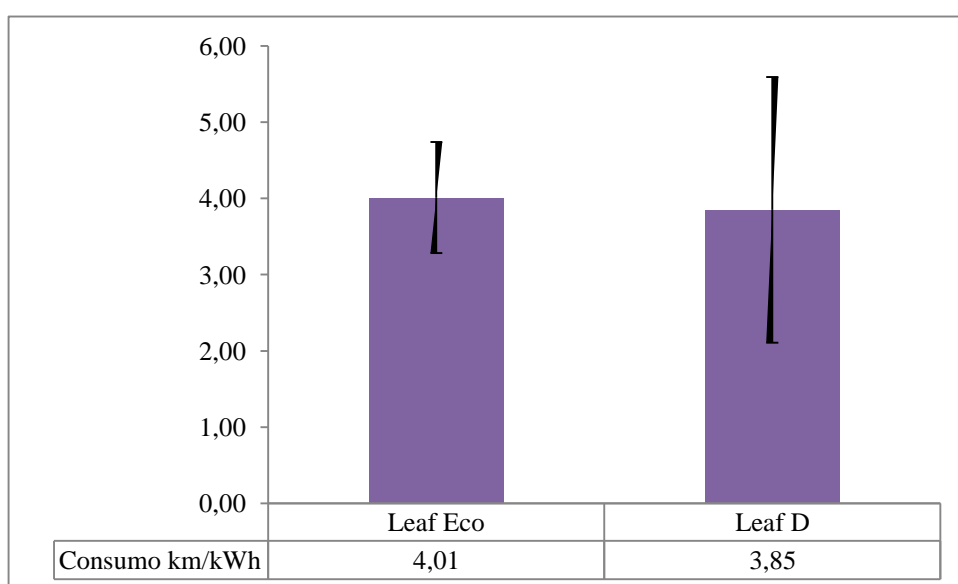


Figura 10: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf Eco x Nissan Leaf D, ambos sem aparelho de ar condicionado ligado.

Quanto à comparação entre o Nissan Leaf no modo Eco e Nissan Leaf no modo D, ambos com aparelho de ar condicionado ligado. Verificou-se que na forma de condução Eco, o consumo do veículo foi aproximadamente 24% menor do que o consumo do veículo no modo D. (Figura 11).

Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf D variou entre 2,84 km/kWh e 3,04 km/kWh, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 2,94 km/kWh. No caso do Nissan Leaf Eco a média da amostra variou entre 3,66 km/kWh e 4,06 km/kWh, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 3,86 km/kWh.

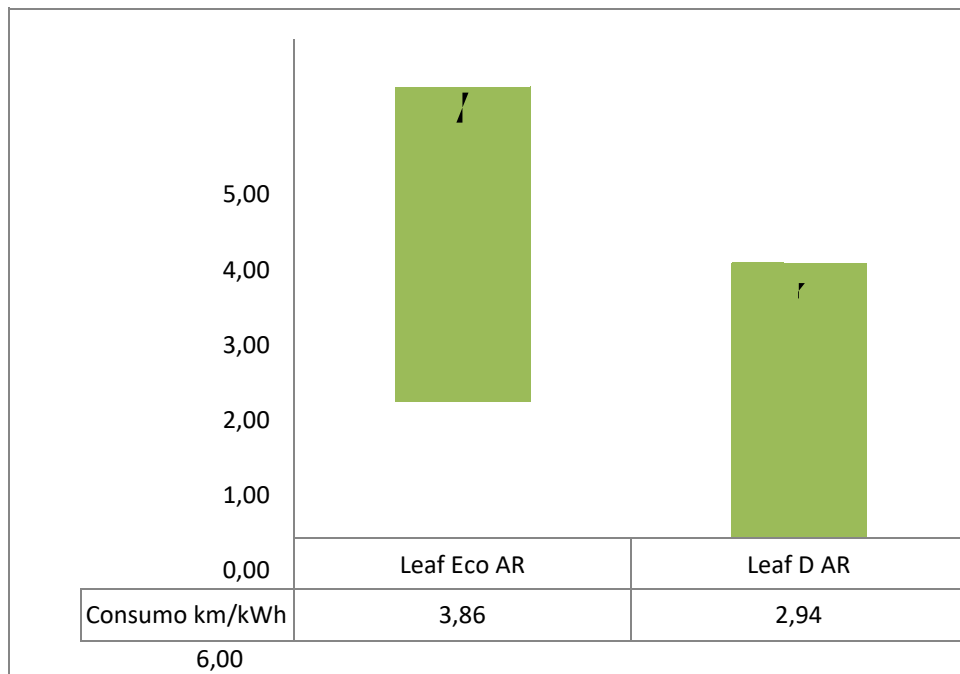


Figura 11: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf Eco x Nissan Leaf D, ambos com aparelho de ar condicionado ligado.

2.1.5.4 Autonomia (Nissan Leaf modos D e Eco)

Com base nos dados levantados por meio do teste de autonomia do veículo elétrico, verificouse a autonomia estimada por meio do painel e comparou-se a autonomia real do veículo dada pela distância efetivamente percorrida pelo Nissan Leaf nos modos D e Eco, com e sem ar condicionado ligado.

A Figura 12 apresenta a comparação entre a distância estimada e a distância percorrida pelo Nissan Leaf Eco com aparelho de ar condicionado ligado e desligado. Verificou-se que, na forma de condução Eco aparelho de ar condicionado ligado, a diferença foi de aproximadamente 30%. Na forma de condução Eco sem aparelho de ar condicionado ligado, a diferença foi de aproximadamente 42%.

Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf Eco com aparelho de ar condicionado ligado variou entre 92,36 km e 128,98 km, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 110,67 km para a distância estimada. No que diz respeito à distância percorrida, a média da amostra deste mesmo veículo, esta variou entre 73,70 km e 81,10 km, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 77,40 km.

Quanto ao Nissan Eco sem aparelho de ar condicionado ligado, Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída variou entre 136,09 km e 141,25 km, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 138,67 km para a distância estimada. No que diz respeito à distância percorrida, a média da amostra deste mesmo veículo, esta variou entre 73,53 km e 86,39 km, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 79,98 km.

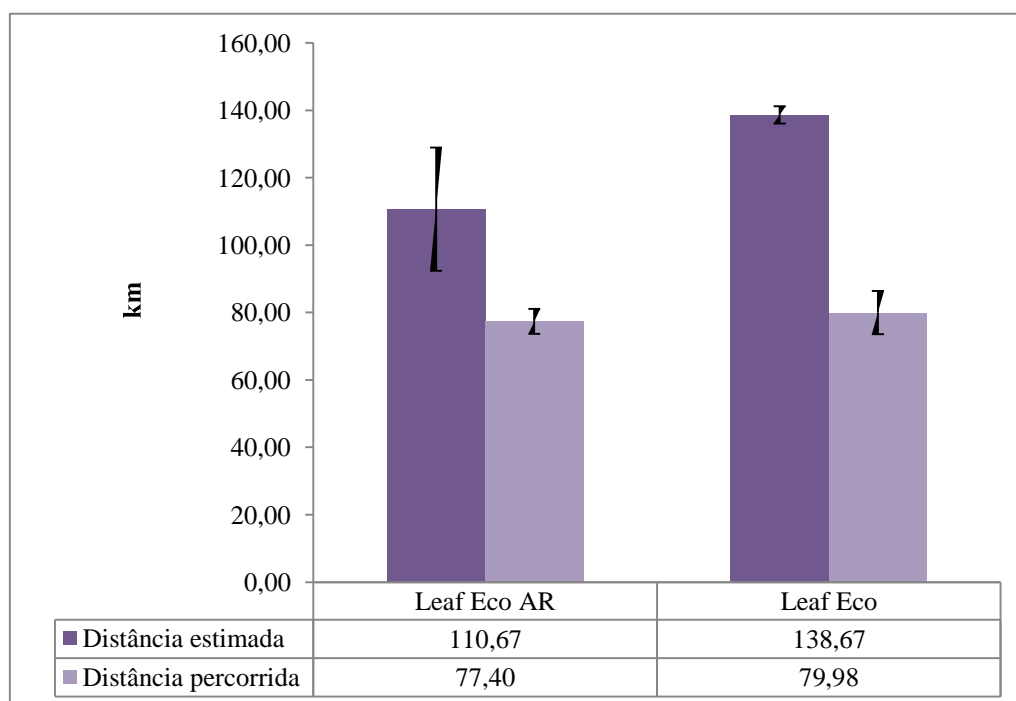


Figura 12: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf Eco com aparelho de ar condicionado ligado x Nissan Leaf Eco sem aparelho de ar condicionado ligado.

A Figura 13 apresenta a comparação entre a distância estimada e a distância percorrida para o Nissan Leaf D com aparelho de ar condicionado ligado e para Nissan Leaf D sem aparelho de ar condicionado ligado. Verificou-se que na forma de condução D com ar, a diferença foi de aproximadamente 37%. Na forma de condução D sem aparelho de ar condicionado ligado, a diferença foi de aproximadamente 33%.

Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída do Nissan Leaf D com aparelho de ar condicionado ligado variou entre 85,86 km e 114,14 km, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 99 km para a distância estimada. No que diz respeito à distância percorrida, a média da amostra deste

mesmo veículo, esta variou entre 55,51 km e 68,33 km, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 61,92 km.

Quanto ao Nissan D sem aparelho de ar condicionado ligado, Com confiança estatística de 95% verificou-se que a média da amostra extraída variou entre 110,83 km e 135,85 km, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 123,33 km para a distância estimada. No que diz respeito à distância percorrida, a média da amostra deste mesmo veículo, esta variou entre 63,33 km e 101,79 km, sendo assim é possível afirmar que em 95% dos intervalos construídos desta forma tem-se a média de 82,56 km.

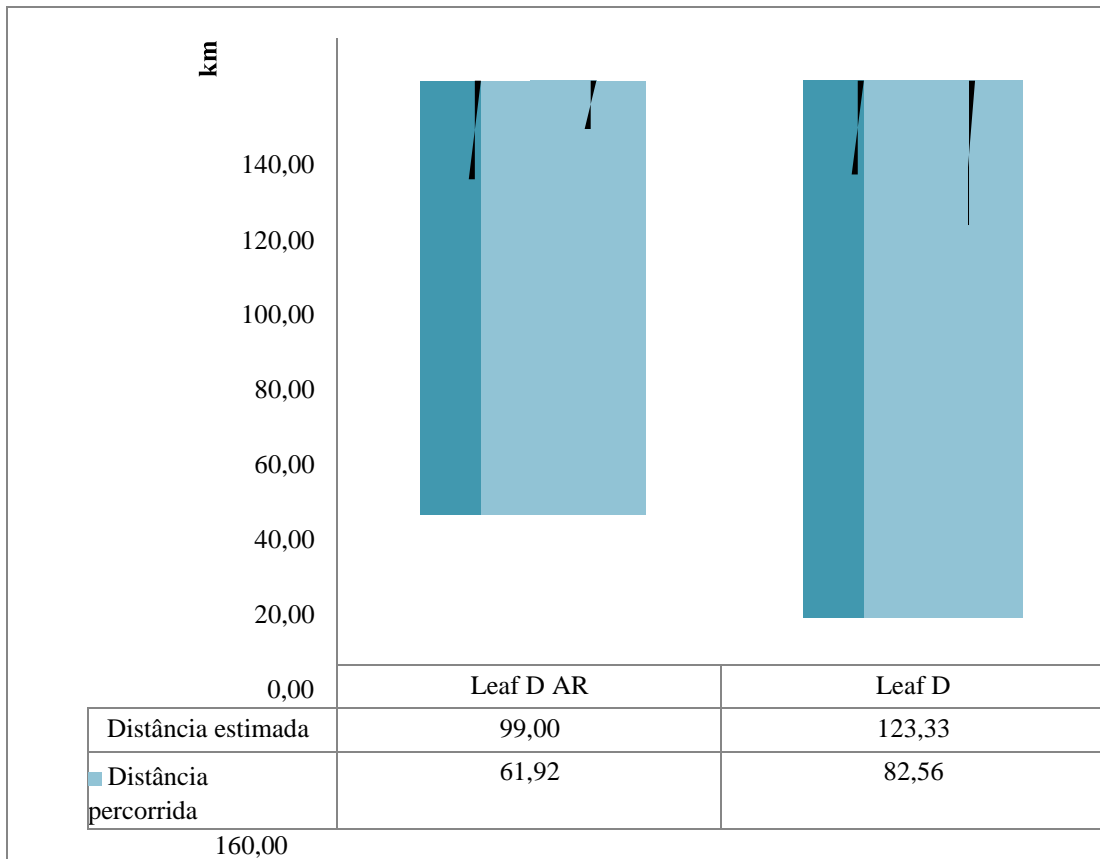


Figura 13: Comparação de consumo de energia entre Nissan Leaf D com aparelho de ar condicionado ligado x Nissan Leaf D sem aparelho de ar condicionado ligado.

2.1.6 Análise dos resultados

No que diz respeito ao teste comparativo entre o veículo equipado com o sistema de propulsão elétrico e o veículo equipado com o sistema de propulsão convencional verificou-se que, considerando os condicionadores de ar desligados, o rendimento energético do Nissan Sentra, dado em km/MJ, chega a ser 75% maior do que o rendimento do Nissan Leaf Eco e 74% do Nissan Leaf D.

Adicionalmente, considerando os condicionadores de ar ligados, verificou-se que o rendimento energético do Nissan Sentra, dado em km/MJ, chega a ser 77% maior do que o rendimento do Nissan Leaf Eco e 70% do Nissan Leaf D.

No que diz respeito às emissões de CO₂ e considerado o aspecto ambiental deste estudo, a análise dos resultados encontrados permite constatar que a substituição de veículos convencionais por veículos elétricos pode ser adequada quando se considera nula a emissão de CO₂ de uso final para o Nissan Leaf e sua maior eficiência energética, com ou sem condicionador de ar ligado. No entanto, é oportuno ressaltar que a geração de energia elétrica no Brasil, não é 100% renovável. Tem-se uma parcela de 11% oriunda de fontes não renováveis (IES Brasil, 2015)

No que diz respeito ao teste comparativo entre as possíveis formas de condução do veículo equipado com o sistema de propulsão elétrico, verificou-se que o rendimento energético, dado em km/kWh para o Nissan Leaf Eco com ar condicionado ligado é aproximadamente 4% maior que com Nissan Leaf Eco sem ar condicionado ligado. Adicionalmente, considerando o Nissan Leaf D, verificou-se que o seu rendimento energético, dado em km/kWh com ar condicionado ligado é aproximadamente 31% maior que com Nissan Leaf D sem ar condicionado ligado.

Em relação à distância estimada e a distância percorrida para o Nissan Leaf Eco com aparelho de ar condicionado ligado e para o Nissan Leaf Eco sem aparelho de ar condicionado ligado, verificou-se que, na forma de condução Eco com aparelho de ar condicionado ligado, a diferença foi de aproximadamente 30%. Na forma de condução Eco sem aparelho de ar condicionado ligado, a diferença foi de aproximadamente 42%. Considerando o Nissan Leaf D com aparelho de ar condicionado ligado e o Nissan Leaf D sem aparelho de ar condicionado ligado, verificou-se que na forma de condução D com aparelho de ar condicionado ligado, a diferença foi de aproximadamente 37%. Na forma de condução D sem aparelho de ar condicionado ligado, a diferença foi de aproximadamente 33%.

Tais resultados demonstram o grande potencial para implantação de veículos elétricos a bateria, no entanto evidencia sua limitação no que diz respeito à autonomia.

Deve-se considerar que os testes do Nissan Sentra, não foram realizados pelo mesmo motorista e isso pode ter influenciado os resultados de rendimento do veículo, em função da prática de direção adotada por cada um deles. Dessa forma, outra prática de baixo carbono, que não foi identificada em nenhum dos estudos considerados neste relatório, mas que poderia ser adotada, na Cidade Universitária da UFRJ a fim de promover a redução de consumo de combustível e emissão de CO₂, é o *eco-driving* que consiste na utilização de técnicas de direção econômica, ambiental e segura.

2.2 Introdução do uso dos veículos elétricos no Brasil

Nesta seção apresentam-se três possíveis cenários que consideram a evolução do uso dos automóveis elétricos e seus impactos em relação ao consumo de energia e emissão de CO₂ no Brasil, bem como a metodologia utilizada para tal.

2.2.1 Cenário de evolução do uso dos automóveis, consumo de energia e emissão de CO₂

O crescimento no Brasil de 334% da frota brasileira de veículos individuais de passageiros (automóveis e comerciais leves, exceto aqueles equipados com motores de combustão interna do ciclo Diesel) entre os anos de 1980 e 2015 promoveu impactos na demanda por energia e nas emissões de poluentes atmosféricos e CO₂, um dos principais gases de efeito estufa. O setor de

transportes é o segundo maior consumidor de energia (31,3%), ficando atrás apenas do setor industrial (35,1%). Apesar de ser estratégico para o desenvolvimento do país, pois engloba aspectos como a mobilidade de pessoas, o escoamento da produção agrícola e o abastecimento de insumos para indústria e para as cidades, em termos ambientais, destaca-se como um dos principais responsáveis pela emissão de CO₂, cerca de 49% (209 MtCO₂) das emissões antrópicas de CO₂ equivalente, associadas à matriz energética brasileira (EPE, 2013).

Desde 1970, a demanda de energia deste setor cresceu a uma taxa média de 4,4% ao ano, enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu cerca de 3,9% ao ano. Do total de energia consumida, o modo rodoviário tem sido predominante, alcançando uma participação de 92,6% da matriz energética brasileira (ANP, 2014; EPE, 2013).

Apesar da indústria liderar o consumo de energia no Brasil, sua principal fonte é a eletricidade (EPE, 2013) e esta é predominantemente limpa e renovável, com participação de 89,67% em 2013, enquanto o mundo alcançou aproximadamente 20,30% (IES Brasil, 2015). Tal fato se deve a geração hidráulica, muito comum no Brasil. (EPE, 2013). Diferentemente acontece com o setor de transporte, sobretudo no que diz respeito ao modo rodoviário, cuja principal fonte de energia consiste em produtos derivados de petróleo, tais como o óleo diesel, no caso dos ônibus e caminhões e a gasolina, no caso dos automóveis e motocicletas.

Tendo em vista a evolução do crescimento da frota de automóveis para os próximos anos (ANFAVEA, 2016; Vaz *et al.*, 2015) e a forte relação que existe entre a queima de combustíveis fósseis e os problemas ambientais que preocupam toda a humanidade, sobretudo no que diz respeito ao aquecimento global, os veículos elétricos ganham força neste contexto.

Sendo assim, necessita-se entender como poderia ser a evolução da frota de automóveis elétricos no Brasil e qual será o impacto que o uso destes veículos poderia acarretar na matriz energética brasileira em relação ao consumo de energia fóssil, energia elétrica e emissão de CO₂, haja vista o impacto que tal fato pode promover em alguns setores estratégicos para o desenvolvimento do Brasil. Dessa forma, optou-se por estabelecer três diferentes cenários a fim de demonstrar as estimativas futuras.

- Cenário 1: Baseado nos estudos desenvolvidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Vaz *et al.*, 2015) e *The International Energy Agency* (IEA, 2015).
- Cenário 2: Baseado nos estudos desenvolvidos pelo *The International Council on Clean Transportation* (Façanha, 2012) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016).
- Cenário 3: Baseado nos estudos realizados pela empresa de consultoria americana Frost & Sullivan, (Frost & Sullivan, 2013a) e (Frost & Sullivan, 2013b). Além disso, considerou-se também a *Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action Lima – Paris Action Agenda* (LPAA, 2015), no programa *Mobilise Your City Local Governments in Developing Countries Take High Road to Low-Carbon* desenvolvido pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC, 2015) e no estudo desenvolvido pela *Shell International BV* (Shell, 2016).
- Cenário 4: Cenário de ruptura, baseado nos estudos CCC (2008), LPAA (2015), UNFCCC (2015) e Shell (2016). Ao contrário dos demais cenários, tem uma visão mais global e menos local.

2.2.2 Metodologia

Tendo em vista que as projeções de consumo de energia e emissão de CO₂ variam em função das projeções do momento de transporte (pass.km) para o transporte de passageiro, a abordagem deste estudo baseou-se em projeções relacionadas ao PIB e a população (Façanha *et al.*, 2012; EPE, 2014a; Vanek *et al.*; 2014), considerando que os deslocamentos de passageiros não estão relacionados apenas a quantidade de pessoas, mas também possuem relação com o poder aquisitivo delas.

Sendo assim, para as projeções agregadas do trabalho de transportes de passageiro (pass.km), foi utilizado o PIB Absoluto descontado, estimado a partir de percentuais de variação fornecidos pelo Banco Central, o Banco Itaú e a nota Técnica EPE¹, no ano de 2015, que considera o período de 2016 a 2050 em composição com a população, fornecido pelo IBGE (2013), na forma do PIB per capita.

Nesse contexto, as metodologias, *top-down* e *bottom-up*, têm por característica quantificar e identificar o consumo de energia e as emissões de CO₂ de forma agregada (*top-down*) e desagregada (*bottom-up*), portanto, optou-se por utilizá-las de forma conjunta.

A estimativa de consumo de energia e emissão de CO₂ para cada um dos cenários considerados no estudo foi obtida por meio da metodologia *bottom-up*, ou seja, de forma desagregada. A metodologia *top-down*, que permite alcançar os resultados de forma agregada, foi utilizada apenas para ajustar a evolução do momento de transporte e do consumo de energia identificados.

O detalhamento da metodologia adotada neste estudo pode ser verificado no APÊNDICE A deste relatório.

2.2.3 Premissas adotadas

A abordagem qualitativa deste estudo será baseada no método ASIF, introduzido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), que considera 4 linhas de atuação para reduzir o consumo de energia fóssil nos transportes e por conseguinte a emissão de CO₂, além da emissão de poluentes atmosféricos, promovendo benefícios ambientais e sociais. As linhas de atuação consistem em: 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). Tal abordagem continua sendo utilizada pelo IPCC até a data presente e foi considerada no mais recente relatório de avaliação de impactos globais dos transportes (Sims, R *et al.*, 2014).

Quanto à abordagem quantitativa, buscou-se identificar estudos que pudessem nortear os possíveis cenários de introdução dos veículos elétricos no Brasil, para isso, realizou-se uma revisão de literatura. Foram identificados diversos estudos, de organizações do mundo todo, com abordagens voltadas para o desenvolvimento de sistemas de transportes mais eficientes e

¹ Fez-se uma avaliação entre as principais fontes de dados econômicos no Brasil, a fim combinar projeções pessimistas, moderadas e otimistas para a variação do PIB brasileiro.

sustentáveis, sobretudo no que diz respeito à utilização de automóveis híbridos e/ou elétricos. Sendo assim, identificaram-se 9 estudos, com abrangências regional e global, onde foi possível verificar as estimativas para o percentual de aumento das vendas ou a participação na frota total de automóveis, híbridos e elétricos (Tabela 5).

Tabela 5: Cenários de introdução de veículos híbridos e elétricos.

Referência	Abrangência	Previsão Vendas	Previsão Frota	Ano
EPE, 2016	Nacional	85% híbrido e 15% elétrico	-	2050
Vaz <i>et al.</i> 2015	Noruega/ Outros países	-	4%/ <1% (híbrido e elétrico)	2014
	EU	-	3% (híbrido e elétrico)	2014
Referência	Abrangência	Previsão Vendas	Previsão Frota	Ano
Greenpeace, 2013	Nacional	-	855 (híbrido e elétrico)	2015
	Nacional	-	5% (híbrido e elétrico)	2030
	Nacional	-	10% (híbrido e elétrico)	2040
	Nacional	-	12% (híbrido e elétrico)	2050
Shell, 2016	Global	-	80% elétrico	2050
Committee on Climate Change, 2008	Reino Unido	-	40% elétrico e híbrido <i>plug in</i>	2020
	Europa	-	90% elétrico	2050
	China	-	Menos de 5% elétrico	2050
World Energy Council, 2011	Global	-	26% híbrido (18% <i>plug in</i>) e 16% elétrico	2050
IEA, 2015	Global	670.000 veículos em 2014 para 20 milhões em 2020 e 80 milhões em 2025	-	2014, 2020 e 2025
Greenpeace, 2015	Global	35-40% (híbrido e elétrico)	-	2050
Façanha, 2012	Estados Unidos, Japão, Canadá, toda a Europa, China, Coreia do Sul e Austrália.	8-9% elétrico	-	2030
	Outras países	1-2% elétrico	-	2030
LPAA, 2015	Global	35% elétrico (todos os tipos de veículos de transporte rodoviário)	20% elétrico (automóvel)	2030
Frost & Sullivan, 2013a	Brasil	80.000 veículos elétricos	-	2020

Fonte: Elaboração própria.

Para elaboração do Cenário 1, baseou-se no estudo desenvolvido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, por meio do estudo apresentado por Vaz *et al.*, (2015), que considera um crescimento tendencial, com base no histórico das vendas e da frota de veículos elétricos e híbridos até o ano 2025. A partir daí, até o ano de 2050, baseou-se no estudo desenvolvido pelo *The International Energy Agency* (IEA, 2015). No entanto, considerou-se que a frota brasileira de veículos híbridos e elétricos crescerá na mesma proporção estimada para o mundo, de 2015 a 2020, até o ano de 2035 e na mesma proporção estimada para o mundo, de 2021 a 2025, até o ano de 2050. Tal premissa foi adotada com base na condição do Brasil, ser um país ainda em desenvolvimento.

Para elaboração do Cenário 2, baseou-se no estudo desenvolvido pelo *The International Council on Clean Transportation* (Façanha, 2012), que considerou uma participação de 1-2% de veículos elétricos até 2030. A partir daí, até 2050, baseou-se no estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética, por meio do Estudo de Demanda de Energia 2050 (EPE,2016), considerando todas as premissas estabelecidas para os veículos leves (automóveis e comerciais leves).

Para elaboração do Cenário 3, baseou-se nos estudos realizados pela empresa de consultoria americana Frost & Sullivan, por meio dos relatórios *Strategic Analysis of Brazil Electric Vehicle Market - Era of Electric Vehicles in Brazil, With Market Growing to More than 80,000 Units by* (Frost & Sullivan, 2013a) 2020 e *Brazilian Electric Vehicle and Supporting Infrastructure Market* (Frost & Sullivan, 2013b) que consideraram que o Brasil atingirá uma venda de 80 mil veículos elétrico por ano, a partir de 2020. Contudo, devido a recessão econômica que o Brasil vem enfrentando nos últimos 2 anos, considerou-se uma visão conservadora, adotando esta premissa para os anos após 2025.

Além disso, considerou-se também a *Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action Lima – Paris Action Agenda* (LPAA, 2015) que considerou para o ano de 2030, que pelo menos 20% de todos os veículos de transporte rodoviário (passageiro e carga) serão elétricos (média mundial) e que os veículos leves serão os que mais vão contribuir para o alcance dessa meta.

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

Adicionalmente, baseou-se no estudo desenvolvido pela *Shell International BV*, por meio de seu relatório “*A better life with, a healthy planet: Pathways to net-zero emissions*” (Shell, 2016) que considera uma participação global de 80% de veículos elétricos em 2050. Sendo assim, com base, em todos esses estudos citados, estabeleceu-se a premissa de que no Brasil, a participação dos veículos elétricos, em 2050, será de aproximadamente 20%, ou seja, 25% da estimativa global.

Ao contrário dos demais, o Cenário 4 é um cenário revolucionário (de ruptura), onde o Brasil deixa de ficar isolado com sua tecnologia local, e começa a seguir a tendência mundial, a tendência da eletromobilidade (LPAA, 2015; UNFCCC, 2015). Uma das justificativas é que o motor a combustão está no limite de eficiência de máquina térmica, logo, não teria sentido investir em tal tecnologia. Para elaboração deste Cenário, baseou-se nos estudos CCC (2008), (Frost & Sullivan, 2013a), (Frost & Sullivan, 2013b), LPAA (2015), UNFCCC (2015), Shell (2016) e Morgan Stanley (2016).

2.2.3.1 Divisão da frota

Para determinação histórica da divisão da frota de veículos rodoviários de passageiros, este estudo baseou-se em informações do histórico de vendas, fornecido por meio de relatórios da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2015), no período de 1957 a 2015 (Tabela 6). Para a projeção até o ano de 2050, baseou-se no Estudo de Demanda de Energia 2050 (EPE 2016), no Inventário Nacional de Emissões de Veículos Automotores 2013 (MMA, 2013) e nas premissas qualitativas estabelecidas para este estudo:

- (1) Quanto aos automóveis e comerciais leves (todos os tipos), adotou-se a taxa de vendas de 3,43% aa, de 2017² a 2050 com base na Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016).
- (2) Quanto aos automóveis e comerciais leves, a conversão para GNV deixará de ser feita a partir de 2030;

Tabela 6: Tipos e percentuais de automóveis, ano base 2014.

Tipo de Veículo participação	Percentual de
Automóvel a gasolina (residual convertido)	30,63%
Automóvel a etanol (dedicado)	2,61%
Automóvel <i>flexible fuel</i>	65,39%
Automóvel a GNV (residual convertido)	1,36%
Automóvel híbrido flex-elétrico	0,01%
Automóvel elétrico <i>plug-in</i>	0,0001%
Comercial leve a gasolina (dedicado)	34,85%
Comercial leve a etanol (dedicado)	1,74%
Comercial leve <i>flexible fuel</i>	61,77%
Comercial leve elétrico <i>plug-in</i>	0%

² Essa premissa foi adotada em função da crise econômica que atingiu o Brasil no ano 2015, em que se teve uma redução de 31,64% das vendas de veículos, apontada pelo setor. Sendo assim, fez-se uma previsão de uma situação similar para o ano de 2016 e de crescimento de 1,25% para o ano de 2017.

Comercial leve híbrido etanolétrico 0%

Comercial leve GNV 1,63%

Nota: (1) os veículos comerciais leves ciclo Diesel, e motocicletas não foram considerados neste estudo.

Fonte: Elaboração própria

2.2.3.2 Intensidade de uso

Para determinação da intensidade de uso de referência dos automóveis e comerciais leves (todos os tipos) que estarão em operação até o ano 2050, na forma da distância média anual percorrida pelos veículos [km/ano], baseou-se em informações fornecidos pelo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2012 (MMA, 2013) (Tabela 7). Para a projeção até o ano de 2050, baseou-se nas premissas qualitativas estabelecidas para este estudo.

Tabela 7: Intensidade de uso de referência adotada por tipo de veículos de passageiro.

Tipo de Veículo	Intensidade de uso (km/ano)	Percentual de redução da intensidade de uso até 2050
Automóvel a gasolina (residual convertido) ⁽¹⁾	20.000	40% para os demais automóveis
Tipo de Veículo	Intensidade de uso (km/ano)	Percentual de redução da intensidade de uso até 2050
Automóvel a etanol (dedicado)		
Automóvel <i>flexible fuel</i>		
Automóvel híbrido <i>flex-elétrico</i>	20.000	
Automóvel elétrico <i>plug-in</i>		
Comercial leve a gasolina (residual convertido)	20.000	33% para os demais comerciais leves
Comercial leve a etanol (dedicado)		
Comercial leve <i>flexible fuel</i>		
Comercial leve elétrica <i>plug-in</i>		
Comercial leve híbrido etanolétrico		
Comercial leve GNV (residual convertido)	30.000	

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.

2.2.3.3 Curva de sucateamento

Em relação ao período de utilização dos automóveis, este foi determinado conforme descrição da metodologia apresentada no APÊNDICE A, deste relatório.

2.2.3.4 Momento de transporte

Ajustou-se a lotação média dos automóveis de 1,1 passageiro/veículo (ano base 2012), com base nos dados fornecidos no Plano Decenal de Energia – PDE 2021 (EPE, 2012) e no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (MMA, 2013) e na calibração com base nos resultados obtidos pela metodologia *top-down*, para 1,6 passageiro/veículo em 2015, nas premissas qualitativas estabelecidas para este estudo.

2.2.3.5 Rendimento

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

Para determinação da melhoria da eficiência energética desses veículos, adotou-se os valores com base nos estudos realizados pelo *The International Council on Clean Transportation* (ICCT) (Façanha *et al.*, 2012), *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Sims, R *et al.*, 2014) e pelo *U.S. Department of Energy*, Vyas *et al.*, (2013), conforme Tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Rendimento e melhoria de eficiência energética dos automóveis e comerciais leves (ciclo Otto).

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

Notas: (1) em relação a 2012.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 9: Rendimento energético dos automóveis e comerciais leves (híbrido diesel-elétrico).

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

Fonte: Elaboração própria.

2.2.3.6 *Uso de energia*

Neste estudo serão considerados, para aos automóveis e comerciais leves, dois tipos de combustíveis (gasolina e etanol) e a energia elétrica.

Quanto à escolha do tipo de combustível para os veículos do tipo *flexible fuel*, até o ano de 2012, baseou-se em dados históricos. De 2012 a 2015 a utilização foi estimada com base no custo dos respectivos combustíveis. A partir daí a utilização foi ajustada linearmente até alcançar o percentual de 75% para cada um dos combustíveis até 2050 (EPE, 2016).

Tal demanda de etanol só poderá ser alcançada devido à existência de grandes áreas de cultivo de cana-de-açúcar, já existentes no Brasil e sua capacidade de extensão. Além disso, pode-se basear também na produção de etanol de 2ª geração. Quanto a isso, pode citar a iniciativa do grupo Shell, que planeja investir entre R\$2 e R\$2,5bilhoes neste tipo de combustível. Sua meta é colocar em funcionamento sete plantas de produção de etanol de segunda geração até o ano de 2024 e equiparar seu custo ao custo do etanol de primeira geração (Raizen, 2015).

Além disso, pode citar também a iniciativa do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) em parceria com a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) que lançaram o Plano Conjunto BNDES-Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS), ofertando financiamento a baixo custo e recursos não reembolsáveis visando fomentar iniciativas empresariais de P,D&I em temas específicos relacionados à conversão da biomassa da cana-de-açúcar em E2G e outros produtos. Tal iniciativa proporcionará a produção de etanol de segunda geração por outras empresas do Brasil.

2.2.3.7 *Premissas específicas*

Nesta seção serão apresentadas as premissas específicas para os três cenários estabelecidas neste estudo.

❖ **Cenário 1**

□

- Quanto aos automóveis dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 4% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada;
- Quanto aos automóveis dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados deste de 2013;
- Quanto aos automóveis *flexible fuel*, observou-se uma participação de 95,95% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2050, quando tal tecnologia atingirá 93,95% da participação;
- Quanto aos automóveis híbridos, observou-se uma participação de 0,05% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2050, quando tal tecnologia atingirá 3,78% da participação.
- Quanto aos automóveis elétricos, observou-se uma participação de 0,001% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2050. Tal tecnologia atingirá 2,27% da participação, em 2050.
- Quanto aos comerciais leves dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 13% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda mais linear até 2050, quando tal tecnologia atingirá 4% da participação.
- Quanto aos comerciais leves dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados deste de 2012;
- Quanto aos comerciais leves *flexible fuel*, observou-se uma participação de 87% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2050, quando tal tecnologia atingirá 94,10% da participação.
- Quanto aos comerciais leves híbridos, este começa a ser comercializado em 2020, crescendo linearmente até 2050, quando tal tecnologia atingirá 1,9% da participação.
- Quanto aos comerciais leves elétricos, estes não serão considerados neste estudo.

❖ Cenário 2

- Quanto aos automóveis dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 4% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada;
- Quanto aos automóveis dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados deste de 2013;
- Quanto aos automóveis *flexible fuel*, observou-se uma participação de 95,95% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2045, quando tal tecnologia não será mais comercializada;
- Quanto aos automóveis híbridos, observou-se uma participação de 0,05% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2045, quando tal tecnologia atingirá 90% da participação. Em 2050 essa participação será de 82%, devido a maior participação dos veículos elétricos.
- Quanto aos automóveis elétricos, observou-se uma participação de 0,001% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2045. Tal tecnologia atingirá 18% da participação, em 2050.

□

- Quanto aos comerciais leves dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 13% das vendas em 2015. Para 2050 considerou-se uma queda mais intensa até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada. Sua última venda será em 2029, com uma participação de 1,18%.
Quanto aos comerciais leves dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados deste de 2012;
- Quanto aos comerciais leves *flexible fuel*, observou-se uma participação de 87% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2040, quando alcançará 70% das vendas. Em seguida considerou-se uma queda mais intensificada até 2045, quando tal tecnologia não será mais comercializada (em nível nacional). Sua última venda será em 2044, com uma participação de 10%.
- Quanto aos comerciais leves híbridos, começa a ser comercializado em 2020, com participação de 1,99%. Considerou-se um crescimento médio de 119% das vendas até 2045, quando tal tecnologia atingirá 100% da participação.
- Quanto aos comerciais leves elétricos, estes não serão considerados neste estudo.

❖ Cenário 3

Tendo em vista que este cenário 1 foi conservador no que diz respeito as estimativas de vendas dos veículos elétricos e que o cenário 2 foi otimista para o aumento das vendas dos veículos híbridos e moderado para os veículos elétricos, buscou-se adotar uma premissa que pudesse balancear essas escolhas para o Brasil, visto que os estudos do IEA, (2013) e do Greenpeace, (2015) demonstraram uma estimativa equilibrada quanto essas duas tecnologias, no mundo. Portanto, baseou-se no incentivo ofertado pelo governo brasileiro de eliminar a cobrança de impostos para importação de veículos elétricos, que antes era de 35% de seu valor principal. No entanto, esta medida exige que o veículo tenha capacidade de autonomia de pelo menos, 80km. Sendo assim, tal autonomia também foi adota como premissa para este cenário (CAMEX, 2015).

- Quanto aos automóveis dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 4% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada;
- Quanto aos automóveis dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados deste de 2013;
- Quanto aos automóveis *flexible fuel*, observou-se uma participação de 95,95% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2050, quando tal tecnologia atingirá 16,68% da participação;
- Quanto aos automóveis híbridos, observou-se uma participação de 0,05% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2025, quando tal tecnologia atingirá 4,8% da participação. A partir de então, considerou-se um crescimento exponencial até 2050, quando tal tecnologia atingirá 50% da participação;
- Quanto aos automóveis elétricos, observou-se uma participação de 0,001% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2025, quando tal tecnologia atingirá 3,2% da participação. A partir de então, considerou-se um



crescimento exponencial até 2050, quando tal tecnologia atingirá 33,32% da participação;

- Quanto aos comerciais leves dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 13% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda mais intensa até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada. Sua última venda será em 2029.
- Quanto aos comerciais leves dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados deste de 2012;
Quanto aos comerciais leves *flexible fuel*, observou-se uma participação de 87% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2040, quando alcançará 50% das vendas. A partir de então, considerou-se uma queda mais intensificada até 2050, quando tal tecnologia atingirá 20% da participação.
- Quanto aos comerciais leves híbridos, estes começam a ser comercializados em 2020, com participação de 1,99%. Considerou-se um crescimento médio de 14,99% das vendas até 2040, quando tal tecnologia atingirá 25,4% da participação. A partir de então, considerou-se uma média de 13,07% das vendas até 2050, quando tal tecnologia atingirá 71,67% da participação.
- Quanto aos comerciais leves elétricos, estes começam a ser comercializados em 2021, com participação de 0,44%. Considerou-se um crescimento médio de 13,54% das vendas até 2040, quando tal tecnologia atingirá 4,6% da participação. A partir de então, considerou-se uma média de 6,12% das vendas até 2050, quando tal tecnologia atingirá 8,33% da participação.

❖ Cenário 4

Tendo em vista que este cenário 1 foi conservador no que diz respeito as estimativas de vendas dos veículos elétricos e híbridos, e que os cenários 2 e 3 foram moderados, um com ênfase nos veículos híbridos e outro nos elétricos, buscou-se adotar um novo cenário, de ruptura, onde o Brasil deixa de ficar isolado com sua tecnologia local, e começa a seguir a tendência mundial, ou seja, a tendência da eletromobilidade. Portanto, baseou-se na tendência mundial ao incentivo de veículos elétricos e híbridos.

- Quanto aos automóveis dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 4% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada;
- Quanto aos automóveis dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados deste de 2013;
- Quanto aos automóveis *flexible fuel*, observou-se uma participação de 95,95% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda linear até 2050, quando tal tecnologia atingirá 16,68% da participação;
- Quanto aos automóveis híbridos, observou-se uma participação de 0,05% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento exponencial até 2030, quando tal tecnologia atingirá 70% da participação. A partir de então, considerou-se uma queda exponencial, exponencial até 2050, quando tal tecnologia deixará de ser comercializada;

□

- Quanto aos automóveis elétricos, observou-se uma participação de 0,001% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se um crescimento linear até 2030, quando tal tecnologia atingirá 15% da participação nas vendas. A partir de então, considerou-se um crescimento exponencial até 2050, quando tal tecnologia atingirá 100% da participação;
- Quanto aos comerciais leves dedicados à gasolina, observou-se uma participação de 13% das vendas em 2015. Em seguida, considerou-se uma queda mais intensa até 2030, quando tal tecnologia não será mais comercializada. Sua última venda será em 2029.
- Quanto aos comerciais leves dedicados a etanol, estes já não são mais comercializados deste de 2012;

Quanto aos comerciais leves *flexible fuel*, observou-se uma participação de 87% das vendas em 2015. A partir de 2020, considerou-se uma queda linear até 2035, quando alcançará 25% das vendas. A partir de então, esta tecnologia não será mais comercializada.

- Quanto aos comerciais leves híbridos, estes começam a ser comercializados em 2020, com participação de 5%. Considerou-se um crescimento médio de 22,75% das vendas até 2035, quando tal tecnologia atingirá 75% da participação. A partir de então, como os comerciais leves de combustão interna não serão comercializados, considerou-se uma participação na venda de 91%, caindo linearmente até atingir uma participação de 40% em 2050.
- Quanto aos comerciais leves elétricos, estes começam a ser comercializados em 2035, com participação de 5%. Considerou-se um crescimento médio de 5,7% das vendas até 2050, quando tal tecnologia atingirá 60% da participação.

2.2.4 Resultados encontrados

Nesta seção serão apresentados os resultados das estimativas para cada um dos cenários considerados neste estudo.

Para os quatro cenários, estima-se que a frota de automóveis chegue a 70 milhões de veículos em 2050, o que representará um crescimento de aproximadamente 128% em relação à frota do ano de 2015 (Figura 14).

□

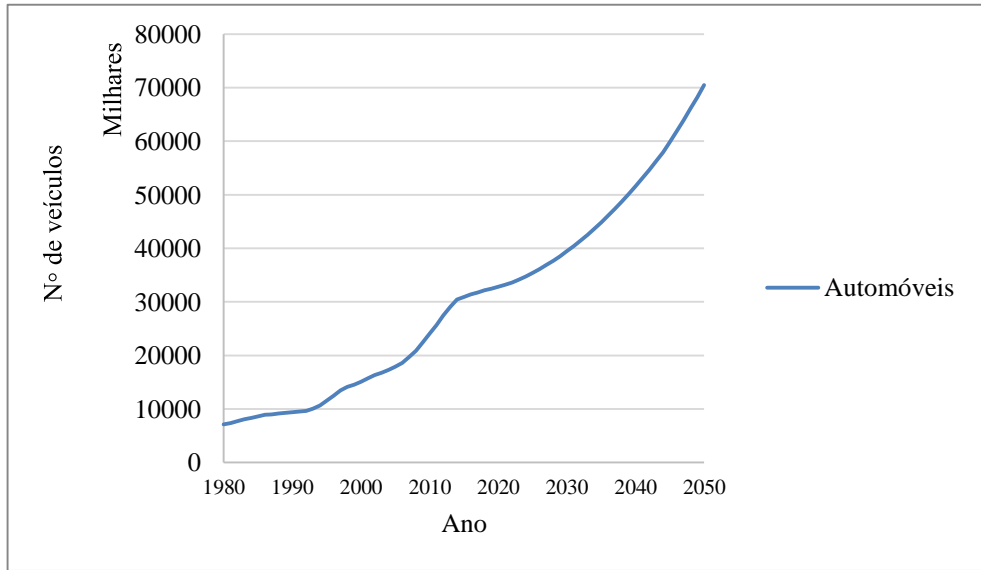


Figura 14: Evolução da frota total de automóveis - Cenários 1, 2, 3 e 4
Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito aos veículos comerciais leves, estima-se que a frota chegue a 11 milhões de veículos em 2050, o que representará um crescimento de aproximadamente 123% em relação à frota do ano de 2015 (Figura 15).

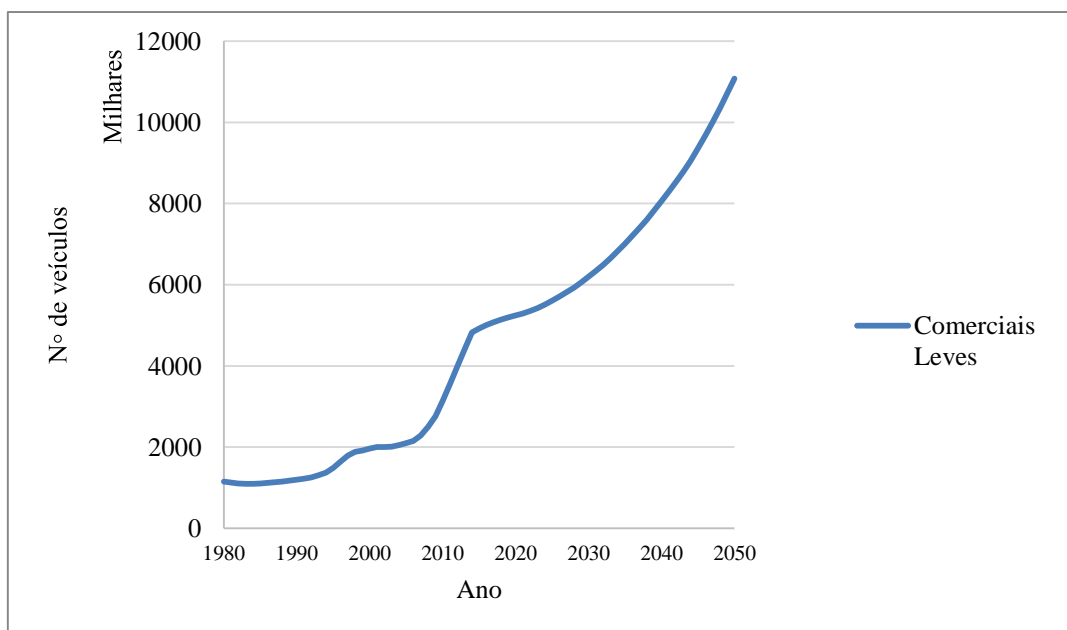


Figura 15: Evolução da frota total de comerciais leves - Cenário 1

Fonte: Elaboração própria.

2.2.4.1 Projeções Cenário 1

Com base nos resultados alcançados, estima-se que a partir de 2041 as vendas de automóveis híbridos assumam a predominância em relação às vendas dos automóveis convencionais a gasolina dedicada, alcançando uma participação na frota total de automóveis de 2,73% em 2050.

Quanto aos automóveis elétricos, estima-se que em 2043, suas vendas ultrapassem as vendas dos automóveis convencionais (gasolina e etanol dedicados), alcançando uma participação na frota de automóveis de 1,64% em 2050 (Figura 16).

É oportuno ressaltar que neste cenário, os automóveis *flexible fuel* ainda terão uma participação predominante em relação à frota de automóveis brasileira (95,28%) em 2050. Os automóveis convencionais (gasolina e etanol dedicado) terão uma participação residual de 0,34% e 0,01%, respectivamente.

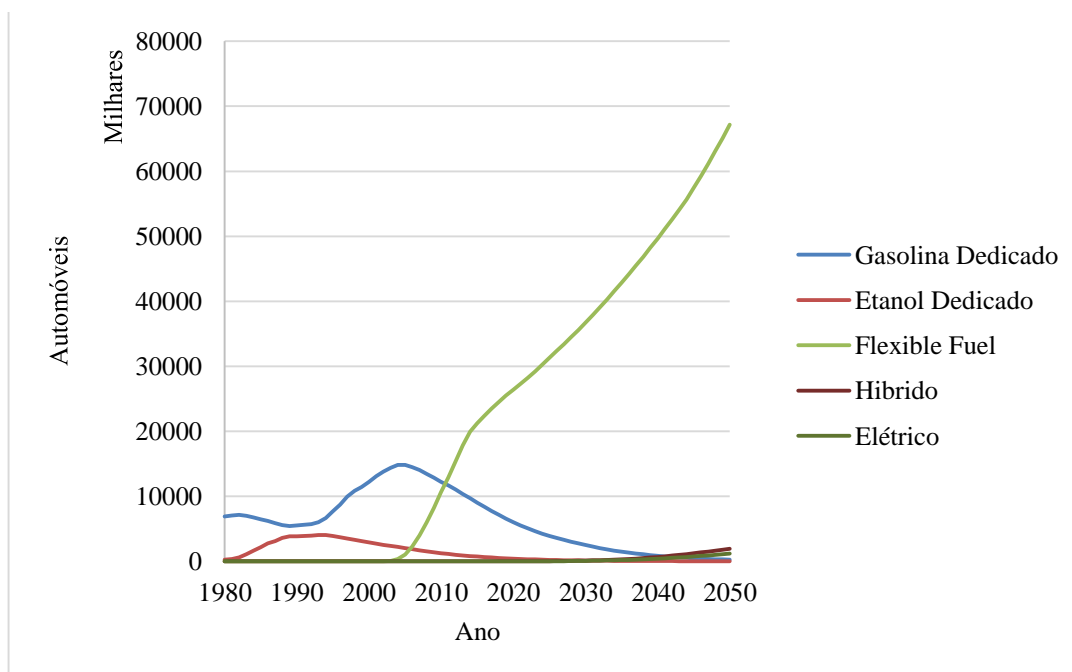


Figura 16: Evolução da frota de automóveis - Cenário 1
Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito aos veículos comerciais leves, estima-se que partir de 2028 os veículos híbridos assumam a predominância em relação às vendas dos veículos convencionais (etanol dedicado) alcançando uma participação na frota de comerciais leves 1,54%³ em 2050 (Figura 17).

É oportuno ressaltar que neste cenário, os veículos, gasolina dedicado e *flexible fuel*, conjuntamente, ainda terão uma participação predominante em relação ao total da frota de comerciais leves, no Brasil (6,28% e 92,18%, respectivamente). Os comerciais leves a etanol terão uma participação residual de 0,01%.

³ Essa participação não leva em consideração os veículos comerciais leves com motores do ciclo Diesel.

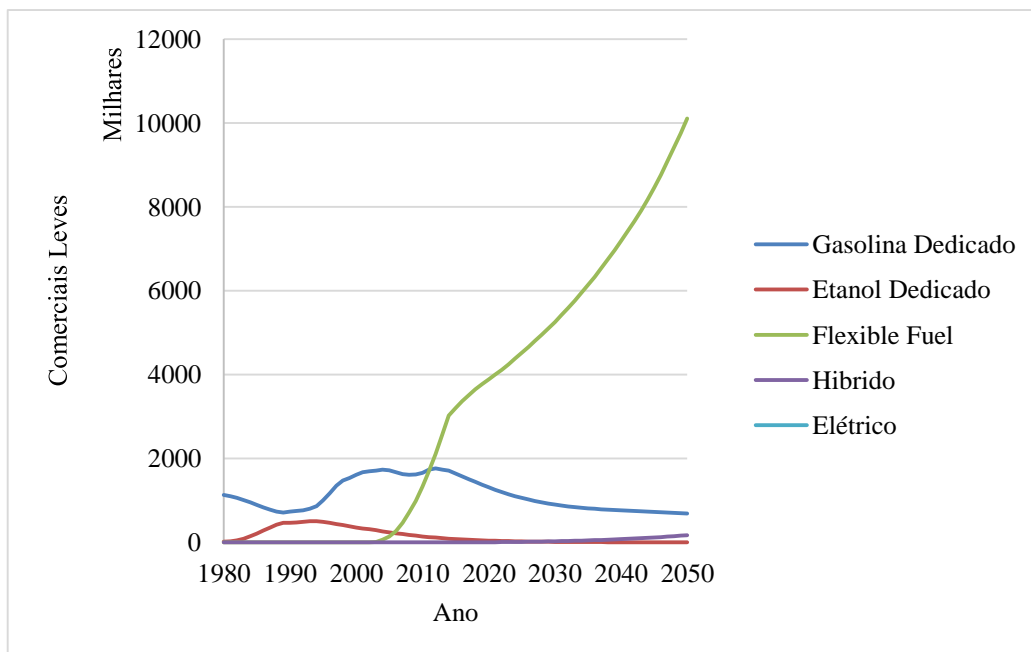


Figura 17: Evolução da frota de comercias leves - Cenário 1

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos resultados alcançados, estima-se que o consumo de etanol ultrapasse o consumo de gasolina a partir do ano 2030. Estima-se que a demanda de gasolina tenha uma queda de 66% e um aumento de 3,5 vezes de etanol em relação a 2012 (Figura 18).

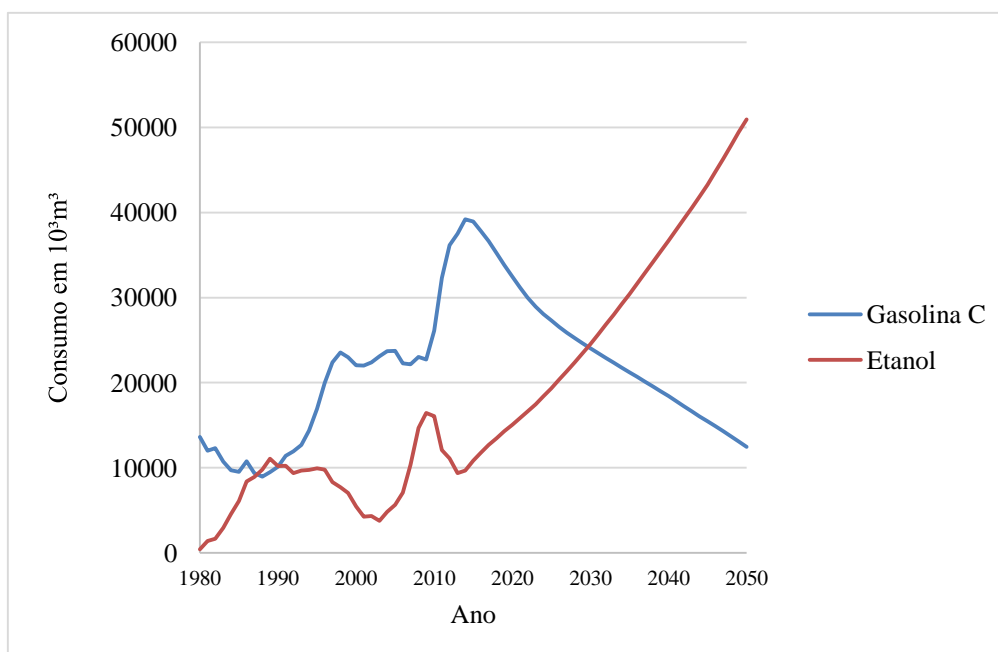


Figura 18: Projeção consumo de energia (gasolina e etanol) - Cenário 1

Fonte: Elaboração própria.

Estima-se que o consumo de eletricidade para os veículos alcance uma demanda de 2.981 TWh em 2050 (Figura 19).

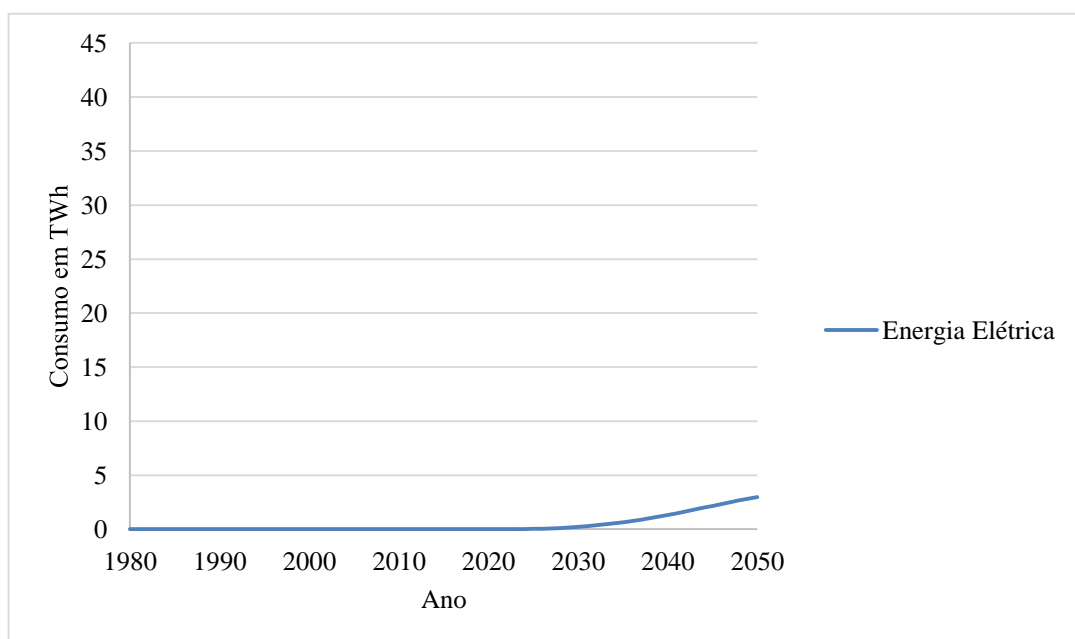


Figura 19: Projeção consumo de energia (elétrica) - Cenário 1

Fonte: Elaboração própria.

2.2.4.2 Projeções Cenário 2

Com base nos resultados alcançados, estima-se que a partir de 2032 a venda de automóveis híbridos assuma a predominância em relação às vendas dos automóveis convencionais, e que a partir de 2046 assumam a predominância em relação às vendas dos automóveis *flexible fuel*, alcançando uma participação na frota de automóveis de 62,17% em 2050.

Quanto aos automóveis elétricos, estima-se que em 2037, suas vendas ultrapassem as vendas dos automóveis convencionais (gasolina e etanol dedicados), alcançando uma participação na frota de automóveis de 9,63% em 2050 (Figura 20).

É oportuno ressaltar que neste cenário, os automóveis *flexible fuel* ainda terão uma participação significativa em relação à frota de automóveis brasileira (27,85%). Os automóveis convencionais (gasolina dedicado e etanol) terão uma participação residual de 0,34% e 0,01%, respectivamente.

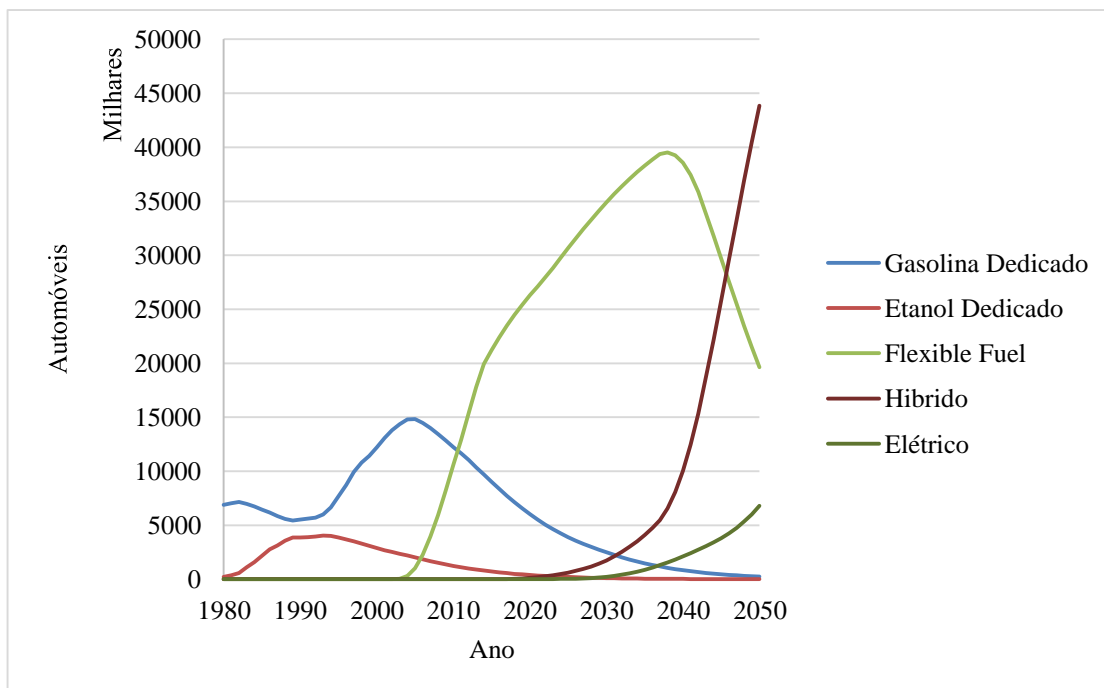


Figura 20: Evolução da frota de automóveis - Cenário 2

Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito aos veículos comerciais leves, estima-se que a partir de 2031 os veículos híbridos assumam a predominância em relação às vendas dos veículos convencionais (gasolina dedicado) e a partir de 2046, assumam a predominância em relação às vendas dos veículos *flexible fuel*, alcançando uma participação na frota de comerciais leves de 69,44% em 2050 (Figura 21).

É oportuno ressaltar que neste cenário, os veículos *flexible fuel*, ainda terão uma participação significativa em relação ao total da frota de comerciais leves no Brasil (30%). Os comerciais leves (gasolina dedicado e etanol) terão uma participação residual de 0,55% e 0,01%, respectivamente.

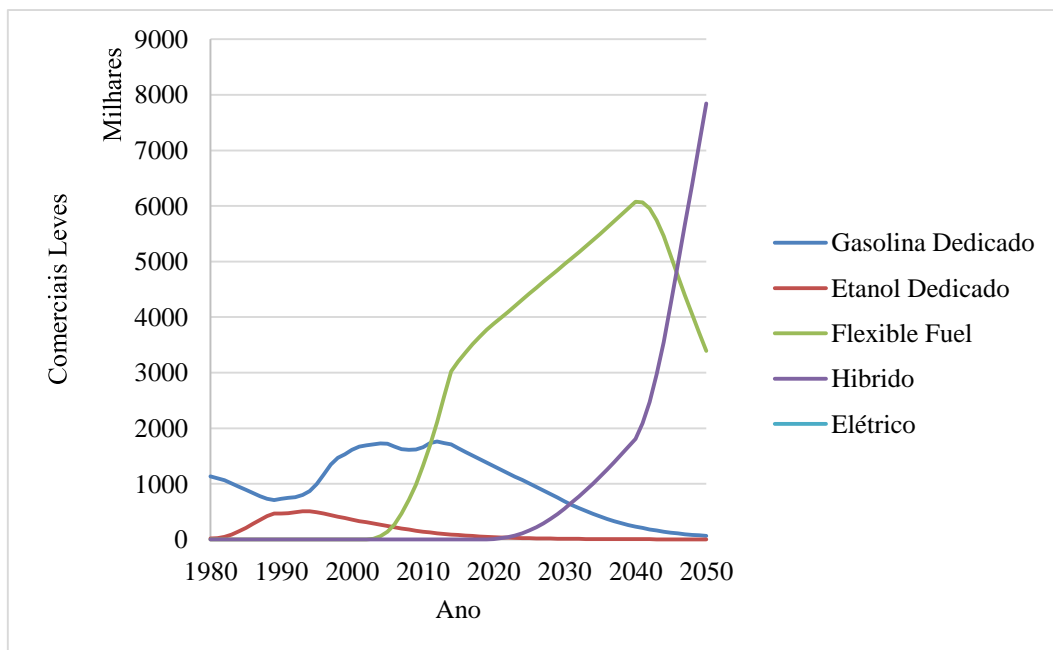


Figura 21: Evolução da frota de comercias leves - Cenário 2

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos resultados alcançados, estima-se que o consumo de etanol ultrapasse o consumo de gasolina a partir do ano 2030 e que a demanda de gasolina tenha uma queda de 75% e um aumento de 2,4 vezes em relação etanol para 2012 (Figura 22).

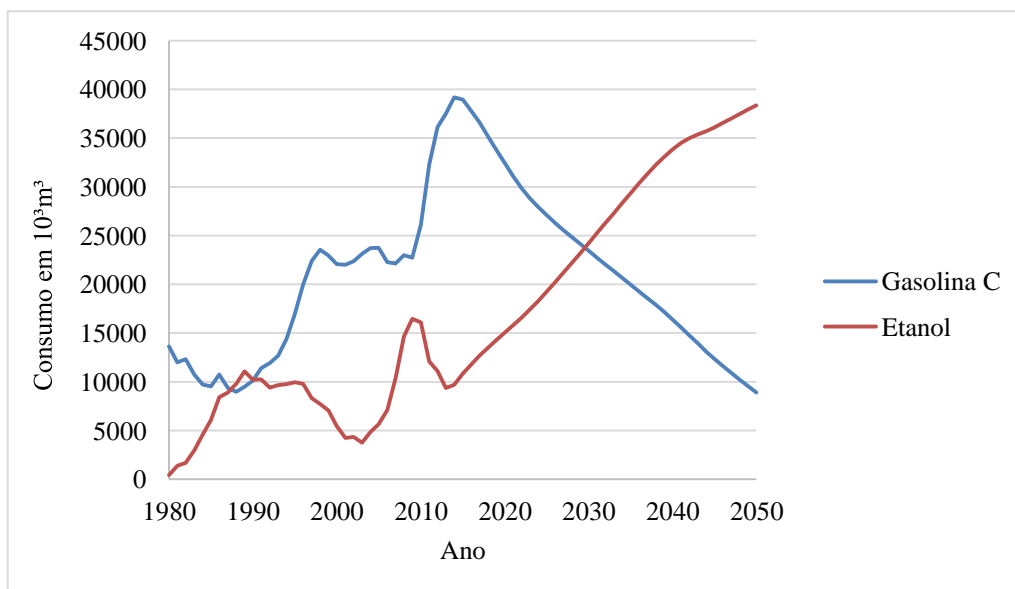


Figura 22: Projeção consumo de energia (gasolina e etanol) - Cenário 2

Fonte: Elaboração própria.

Estima-se que o consumo de eletricidade para os veículos alcance uma demanda de 17.410 TWh em 2050 (Figura 23).

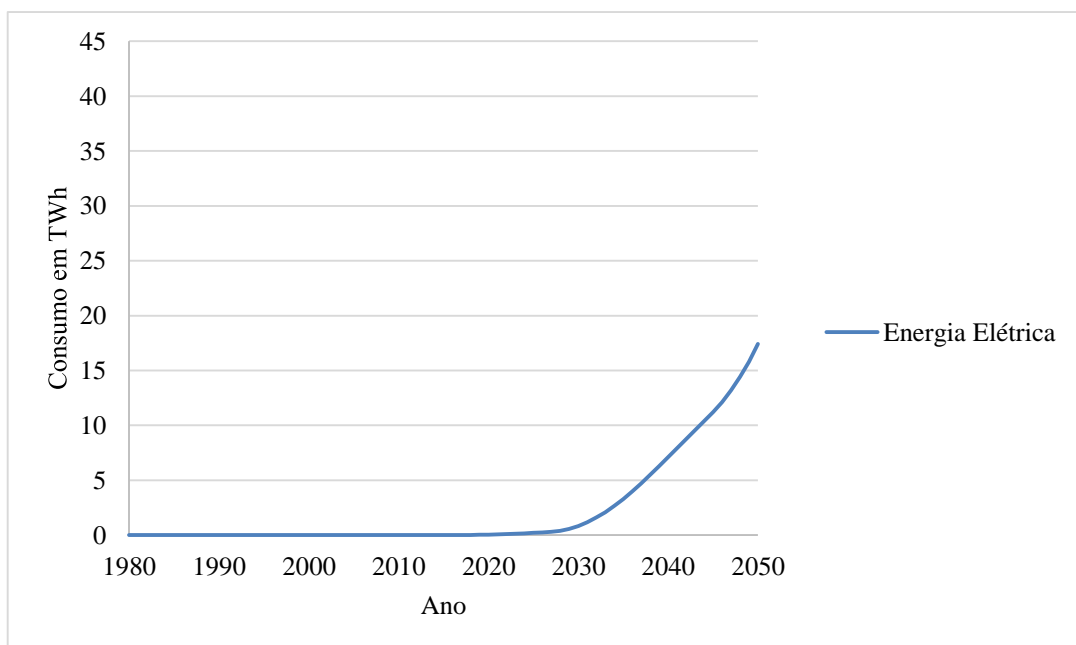


Figura 23: Projeção consumo de energia (elétrica) - Cenário 2

Fonte: Elaboração própria.

2.2.4.3 Projeções Cenário 3

Com base nos resultados alcançados, estima-se que a partir de 2033 os automóveis híbridos assumam a predominância em relação às vendas dos automóveis convencionais (gasolina dedicado), alcançando uma participação na frota de automóveis de 31,64% em 2050.

Quanto aos automóveis elétricos, estima-se que em 2035, suas vendas ultrapassem as vendas dos automóveis convencionais (gasolina dedicado), alcançando uma participação na frota de automóveis de 21,09% em 2050 (Figura 24).

É oportuno ressaltar que neste cenário, os veículos *flexible fuel* ainda terão uma participação predominante em relação ao total da frota de automóveis no Brasil (46,92%). Os automóveis convencionais (gasolina dedicado e etanol) terão uma participação residual de 0,34% e 0,01%, respectivamente.

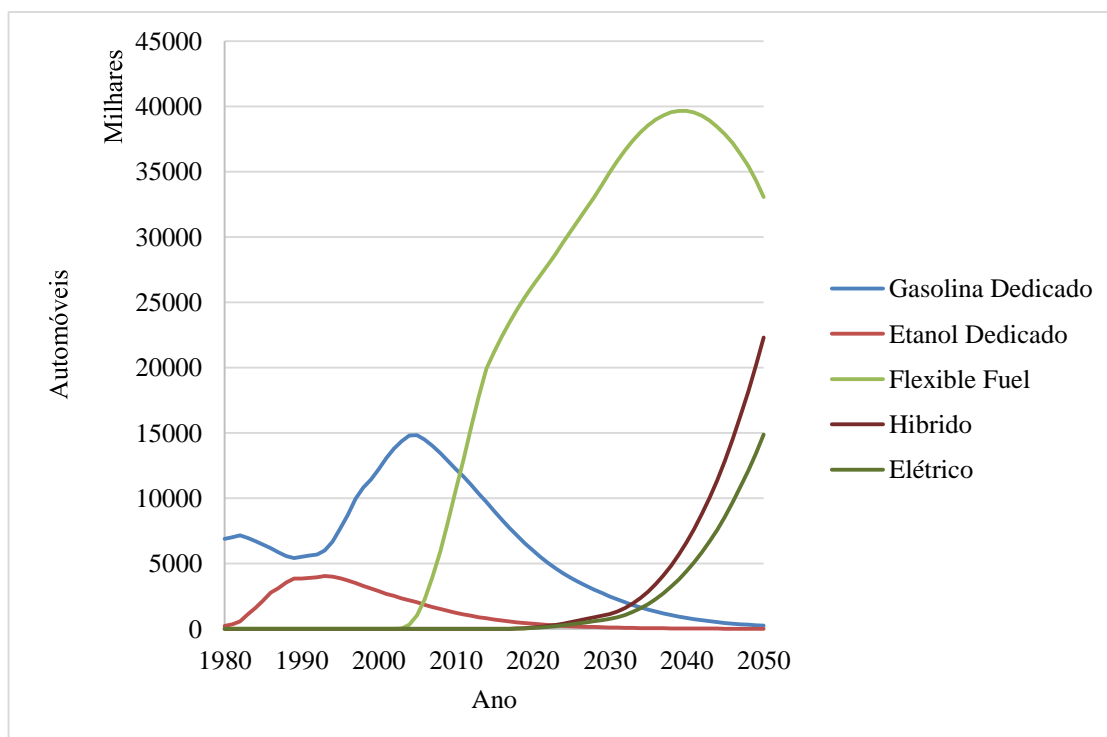


Figura 24: Evolução da frota de automóveis - Cenário 3

Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito aos veículos comerciais leves, estima-se que a partir de 2029 os veículos híbridos assumam a predominância em relação às vendas dos veículos convencionais (gasolina dedicado) e a partir de 2047, assumam a predominância em relação às vendas dos veículos comerciais leves *flexible fuel*, alcançando uma participação na frota de comerciais leves de 54,29% em 2050. Quanto aos veículos comerciais leves elétricos, estima-se que em 2041, suas vendas ultrapassem as dos automóveis convencionais (gasolina dedicado), alcançando uma participação na frota de automóveis de 5,52% em 2050 (Figura 25).

É oportuno ressaltar que neste cenário os veículos *flexible fuel*, ainda terão uma participação significativa em relação ao total da frota de comerciais leves no Brasil (39,63%). Os comerciais leves (gasolina dedicado e etanol) terão uma participação residual de 0,55% e 0,01%, respectivamente.

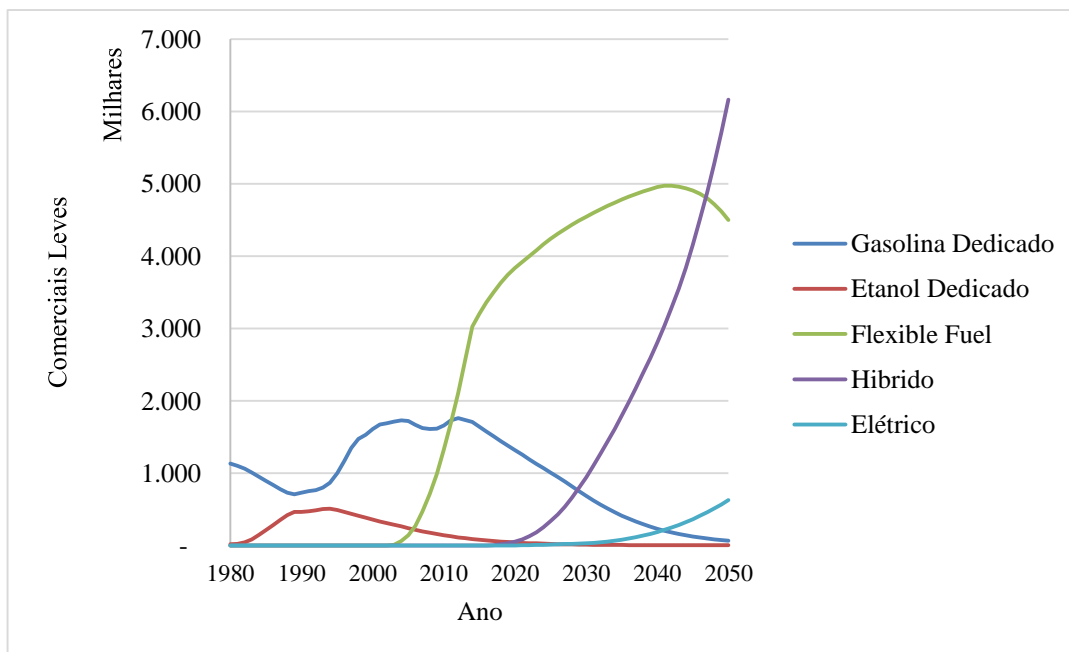


Figura 25: Evolução da frota de comercias leves - Cenário 3

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos resultados alcançados, estima-se que o consumo de etanol ultrapasse o consumo de gasolina a partir do ano 2030. Estima-se que a demanda de gasolina tenha uma queda de 76% e um aumento de 229% de etanol em relação a 2012 (Figura 26). É oportuno ressaltar que de 2015 até 2050 a utilização foi ajustada linearmente até alcançar o percentual de 75% para cada uma dos combustíveis.

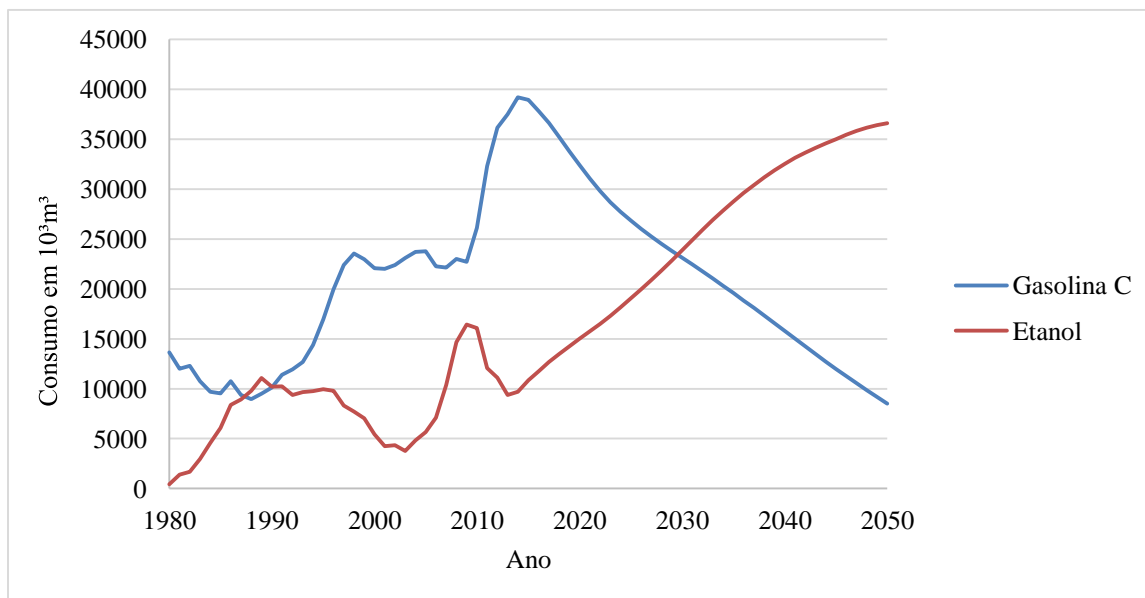


Figura 26: Projeção consumo de energia (gasolina e etanol) - Cenário 3

Fonte: Elaboração própria.

Estima-se que o consumo de eletricidade para os veículos alcance uma demanda de 41.381 TWh em 2050 (Figura 27).

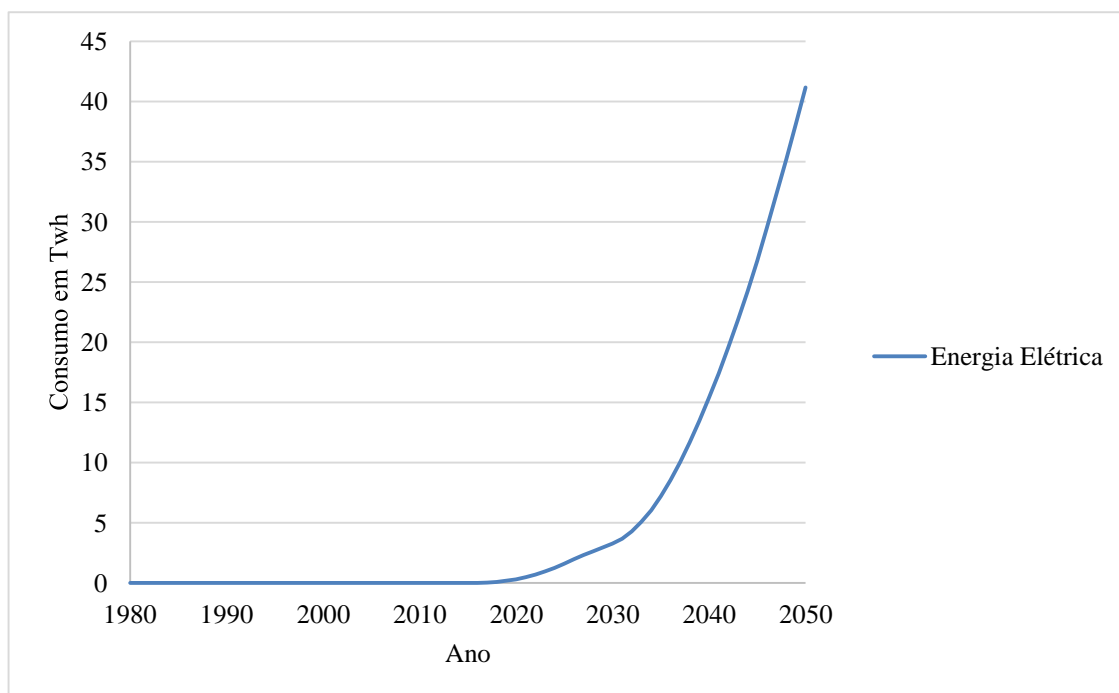


Figura 27: Projeção consumo de energia (elétrica) - Cenário 3

Fonte: Elaboração própria.

2.2.4.4 Projeções Cenário 4

Com base nos resultados alcançados, estima-se que a partir de 2035 os automóveis híbridos assumam a predominância em relação às vendas dos automóveis convencionais (gasolina dedicado), alcançando uma participação na frota de automóveis de 27% em 2050.

Quanto aos automóveis elétricos, estima-se que em 2040, sua participação ultrapasse os convencionais, e que em 2045, ultrapasse os automóveis híbridos, alcançando uma participação na frota de automóveis de 66,6% em 2050 (Figura 28).

É oportuno ressaltar que neste cenário, os veículos *flexible fuel* ainda terão uma participação de 6% da frota total. Já os automóveis convencionais (gasolina dedicado e etanol) terão uma participação residual de 0,34% e 0,01%, respectivamente.

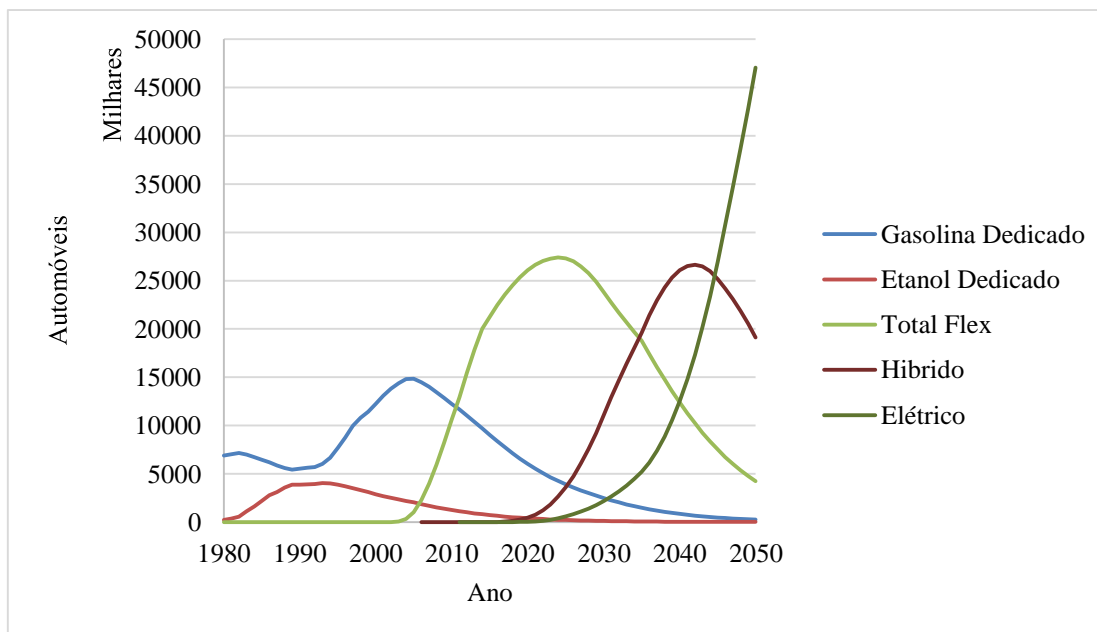


Figura 28: Evolução da frota de automóveis - Cenário 4

Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito aos veículos comerciais leves, estima-se que a partir de 2028 os veículos híbridos assumam a predominância em relação às vendas dos veículos convencionais (gasolina dedicado) e a partir de 2036, assumam a predominância em relação aos veículos comerciais leves *flexible fuel*, alcançando uma participação na frota de comerciais leves de 60,44% em 2050.

Quanto aos veículos comerciais leves elétricos, estima-se que a partir de 2039 os veículos elétricos assumam a predominância em relação às vendas dos veículos convencionais (gasolina dedicado) e a partir de 2045, assumam a predominância em relação aos veículos comerciais leves *flexible fuel*, alcançando uma participação na frota de comerciais leves de 32,13% em 2050 (Figura 29).

É oportuno ressaltar que neste cenário os veículos *flexible fuel*, ainda terão uma pequena participação em relação ao total da frota de comerciais leves no Brasil (6,9%). Os comerciais leves (gasolina dedicado e etanol) terão uma participação residual de 0,55% e 0,01%, respectivamente.

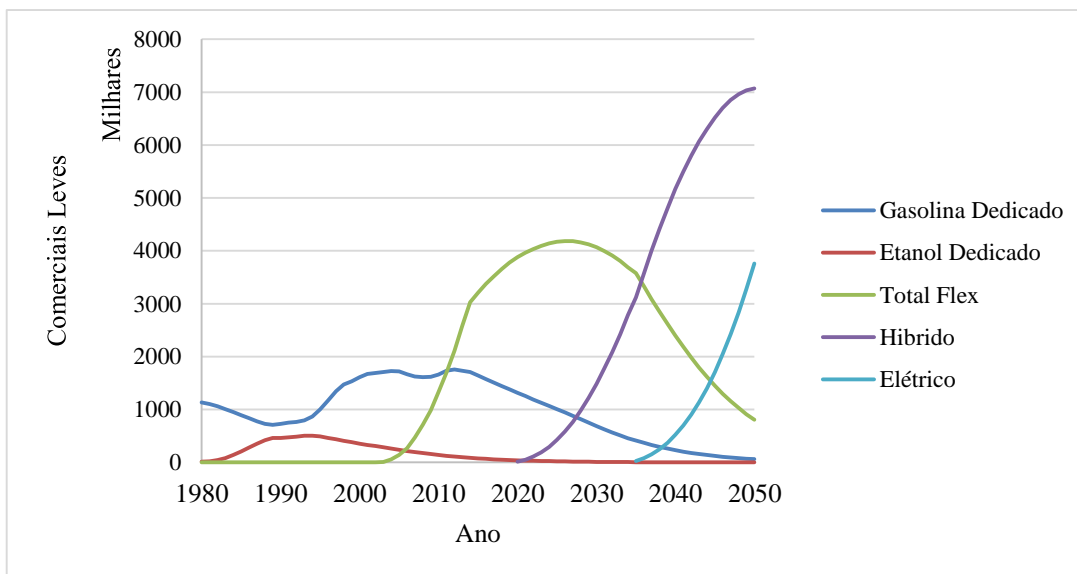


Figura 29: Evolução da frota de comerciais leves - Cenário 4

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos resultados alcançados, estima-se que o consumo de etanol ultrapasse o consumo de gasolina a partir do ano 2030. Estima-se que a demanda de gasolina tenha uma queda de 91,8% e um aumento de 14,5% de etanol em relação a 2012 (Figura 30). É oportuno ressaltar que de 2015 até 2050 a curva de escolha *flex* foi ajustada linearmente até alcançar o percentual de 75% para o etanol hidratado.

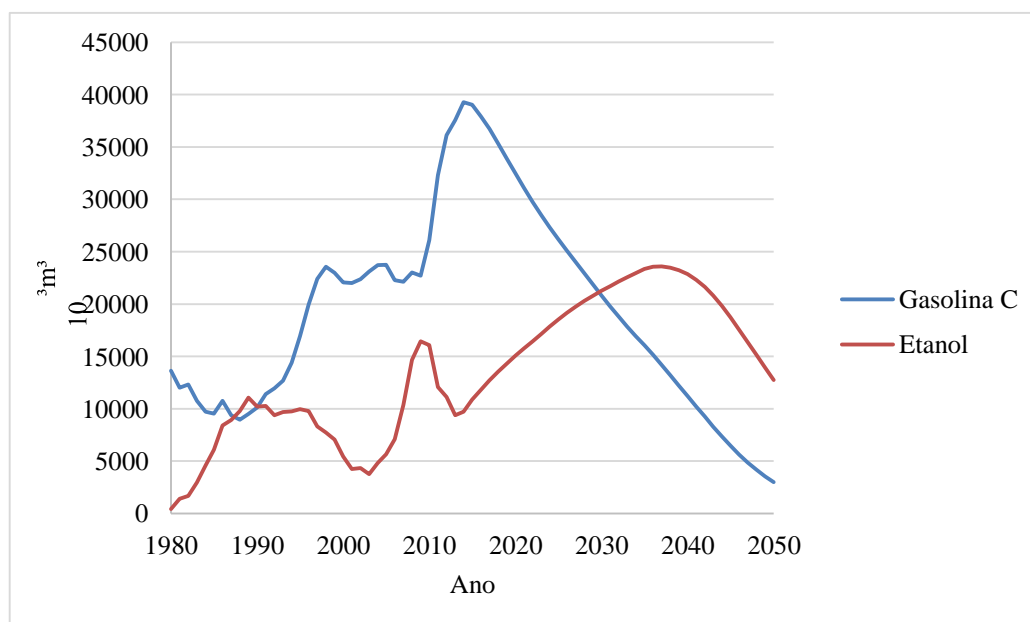


Figura 30: Projeção consumo de energia (gasolina e etanol) - Cenário 4

Fonte: Elaboração própria.

Estima-se que o consumo de eletricidade para os veículos alcance uma demanda de 41.381 TWh em 2050 (Figura 31).

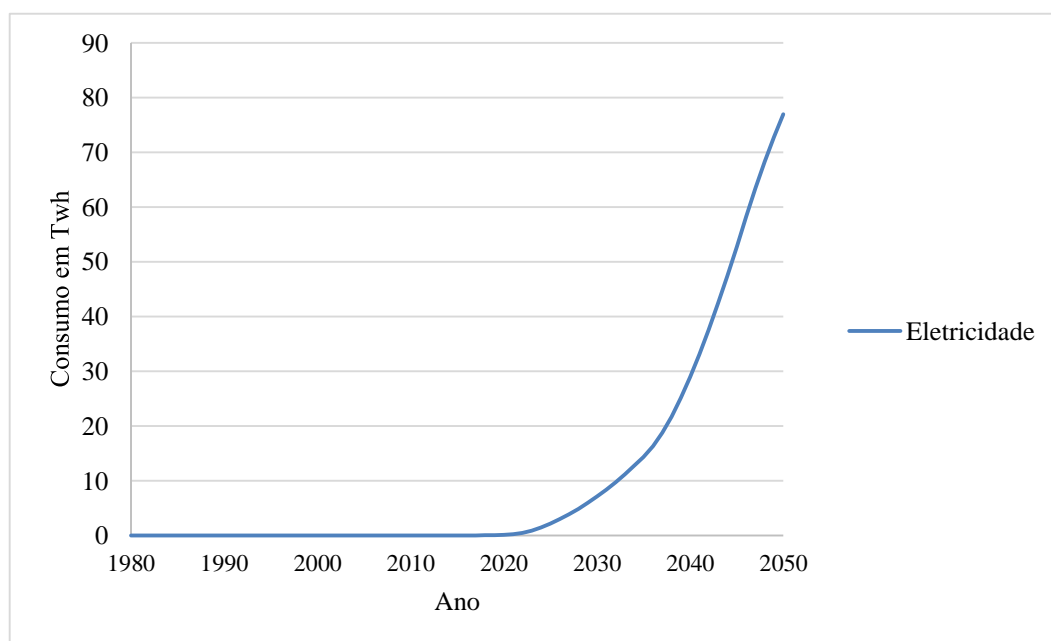


Figura 31: Projeção consumo de energia (elétrica) - Cenário 4

Fonte: Elaboração própria.

2.2.5 Análise dos resultados

No que diz respeito aos automóveis, estima-se que no Cenário 1, em 2050, os veículos *flexible fuel* tenham total predominância em relação a frota (95,28%), com pouca participação dos híbridos (2,73%) e elétricos (2,64%). Estima-se uma participação residual dos automóveis convencionais a gasolina e etanol (0,34% e 0,01%, respectivamente). No Cenário 2, estima-se que os veículos híbridos tenham predominância em relação a frota (62,17%), com pouca participação dos elétricos (9,63%) e participação intermediária dos veículos *flexible fuel* (27,85%). Estima-se ainda uma participação residual dos veículos convencionais a gasolina e etanol (0,34% e 0,01%, respectivamente). No Cenário 3, estima-se que os veículos *flexible fuel* tenham alguma predominância em relação a frota (46,92%), com participação significativa dos veículos híbridos (31,64%) e elétricos (21,09%). Continuará a haver uma participação residual dos veículos convencionais a gasolina e etanol (0,34% e 0,01%, respectivamente). Por fim, no Cenário 4, estima-se que os veículos elétricos tenham predominância em relação a frota (66,59%), com participação significativa dos veículos híbridos (27,06%) e *flexible fuel* (6%). Continuará a haver uma participação residual dos veículos convencionais a gasolina e etanol (0,34% e 0,01%, respectivamente). A estimativa de evolução da frota de automóveis, ao longo dos anos, até 2050, pode ser verificada na Figura 32.

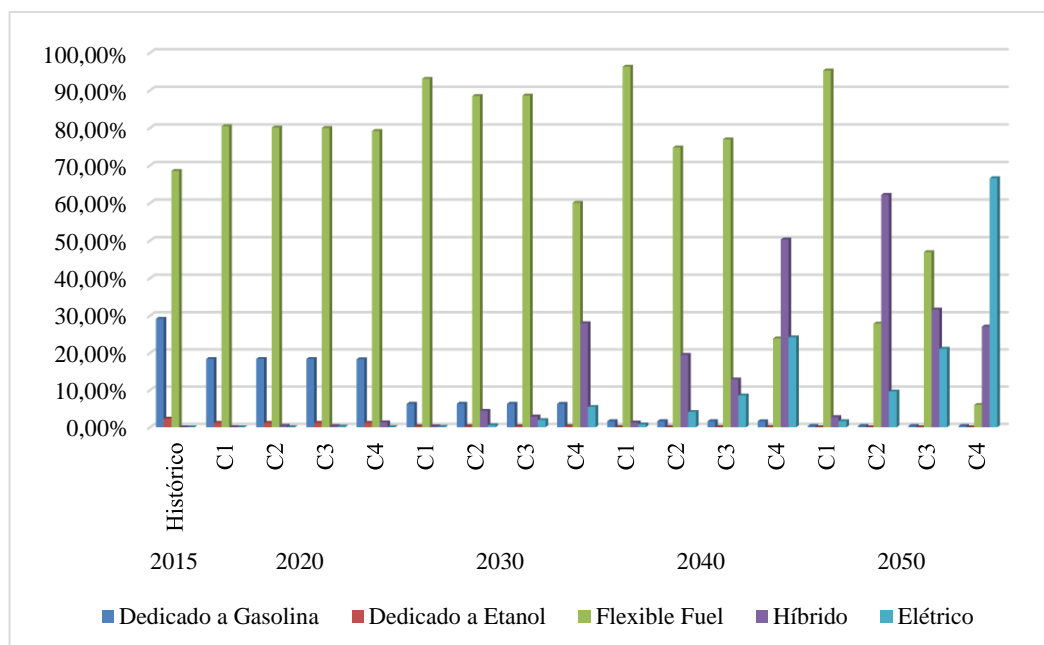


Figura 32: Estimativa de participação dos automóveis por tipo de energia

Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito aos veículos comerciais leves, estima-se que o Cenário 1 os veículos *flexible fuel* tenham total predominância em relação a frota (92,18%), com pouca participação dos híbridos (1,54%) e nenhuma participação dos elétricos. Estima-se ainda uma participação residual dos veículos convencionais a gasolina (6,28%) e etanol (0,01%). No Cenário 2, estimase que os veículos híbridos tenham predominância em relação a frota (69,44%), com nenhuma participação dos veículos elétricos. Estima-se uma participação moderada dos *flexible fuel* de (30%) e uma participação residual dos veículos convencionais a gasolina e a etanol (0,55% e 0,01% respectivamente). Por fim, no Cenário 4, estima-se que os híbridos elétricos tenham predominância em relação a frota (60,44%), com participação significativa dos veículos híbridos (32,13%) e *flexible fuel* (6,9%). Continuará a haver uma participação residual dos veículos convencionais a gasolina e etanol (0,54% e 0,01%, respectivamente). A estimativa de evolução da frota de veículos, ao longo dos anos, até 2050, pode ser verificada na Figura 33.

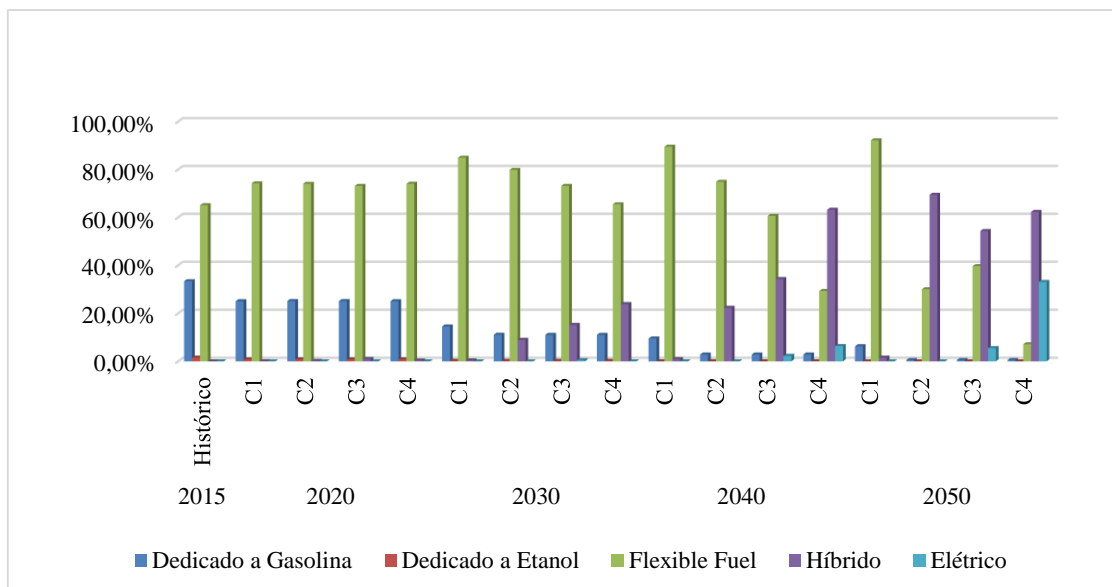


Figura 33: Estimativa de participação dos comerciais leves por tipo de energia

Fonte: Elaboração própria.

Com relação à demanda de gasolina, verifica-se que o Cenário 1 será o mais dependente deste combustível, necessitando cerca de 28% mais energia que o Cenário 2 e 32% mais que o cenário 3. O Cenário 2 demandará cerca de 5% mais que o Cenário 3. No que diz respeito à demanda de etanol, verifica-se que o Cenário 1 será o mais dependente deste combustível, necessitando cerca de 25% mais que o Cenário 2 e 28% mais que o Cenário 3. O Cenário 2 demandará cerca de 5% menos que o Cenário 3. No que diz respeito à demanda de energia elétrica verifica-se que o Cenário 3 será o mais dependente desta energia, necessitando cerca 1,3 vezes a demanda do Cenário 2 e cerca de 12 vezes a demanda do Cenário 1. O Cenário 2 demandará cerca 4,8 vezes mais energia que o Cenário 1 (Figura 34).

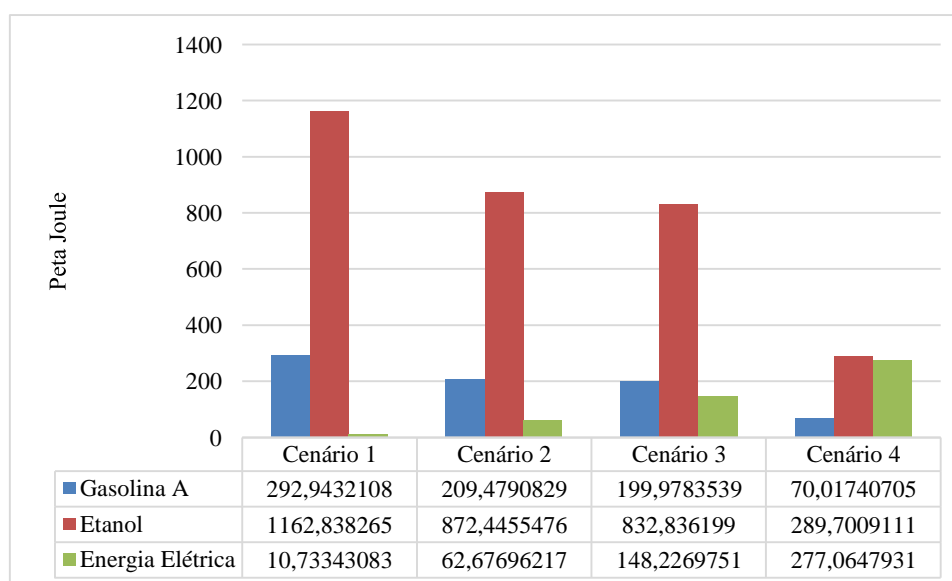


Figura 34: Comparação demanda de combustível e energia elétrica (Cenários 1, 2, 3 e 4).

Fonte: Elaboração própria.

Convertendo toda a demanda de energia estimada em unidades de energia (Joules), estima-se que o Cenário 1 demande, pelo menos, 130% mais energia que o Cenário 4, 24% mais energia que o Cenário 3 e cerca de 28% mais energia, do que o Cenário 2. Estima-se que o Cenário 2 seja o mais eficiente, demandando cerca de 3% menos energia que o Cenário 3 (Figura 35). É oportuno ressaltar o cenário 2 é o mais otimista no que diz respeito à implementação dos veículos híbridos (automóveis e comerciais leves) e possui uma maior fração de veículos alternativos. Já o Cenário 4, é o mais eficiente, demandando 56,6% menos de energia se comparado com o Cenário 1, 44,37% que o Cenário 2 e 46,1% que o Cenário 3. Portanto, tais resultados demonstram o potencial de melhoria de eficiência energética que pode ser oportunizado pela implementação dos veículos híbridos, restrito as premissas estabelecidas para este cenário.

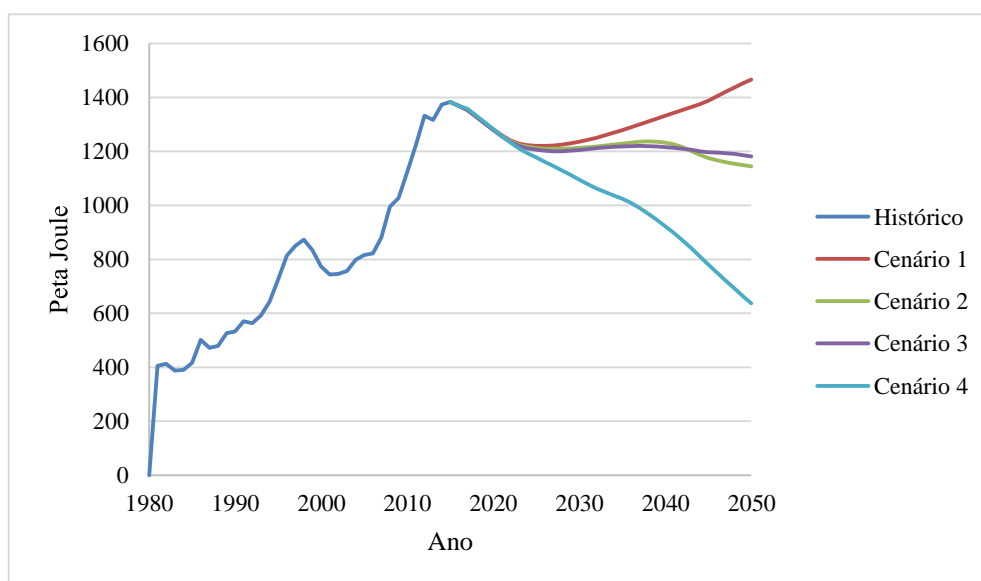


Figura 35: Demanda de energia em Peta Joule
Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito à emissão de CO₂, considerou-se apenas o uso final da energia, estima-se que o Cenário 1 seja o maior emissor, alcançando um resultado 305% maior que o Cenário 4, 41% maior que o Cenário 3 e 34% maior que o Cenário 2 (Figura 36). Espera-se que a matriz energética brasileira seja composta por 80% de fontes renováveis, em 2050 (IES Brasil, 2015, EPE, 2016).

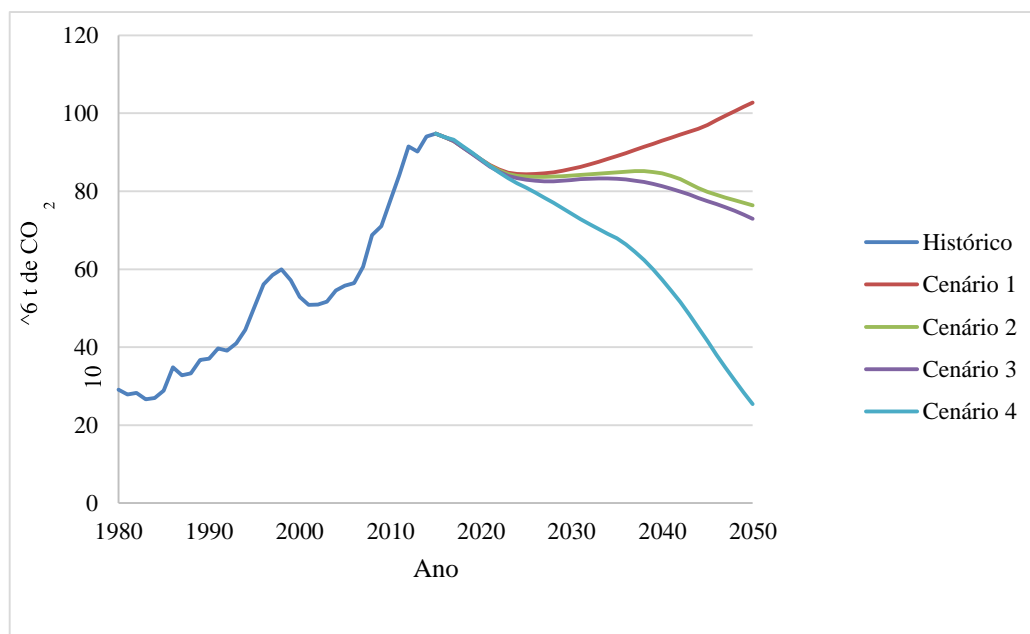


Figura 36: Emissão de CO₂.
Fonte: Elaboração própria.

As estimativas demonstram que, mesmo o Cenário 2 demandando aproximadamente, 3% menos energia que o Cenário 3, este será capaz de emitir cerca de 5% mais CO₂. Tal resultado demonstra a capacidade de redução da emissão de CO₂ por meio da utilização de energia elétrica (no Brasil), tendo em vista que este Cenário é o maior demandante de energia elétrica.

Os resultados históricos demonstram que a participação de energia renovável na atividade de transporte de passageiro (automóveis e comerciais leves) no Brasil já se mostra bastante significativa, com cerca de 33,39% no ano de 2015. Isso demonstra que o Brasil não enfrenta os mesmos dilemas que a política energética mundial, sobretudo por causa do uso de etanol (hidratado) e também de etanol (anidro), por conta da participação atual de 27% na gasolina. Estima-se que, em 2050, o Cenário 1 tenha uma participação de energia renovável na atividade de transporte de passageiro (automóveis), de 79,87%. Para o Cenário 2, estima-se uma participação de 80,6% e para o Cenário 3, estima-se uma participação de 80,55% (Figura 37).

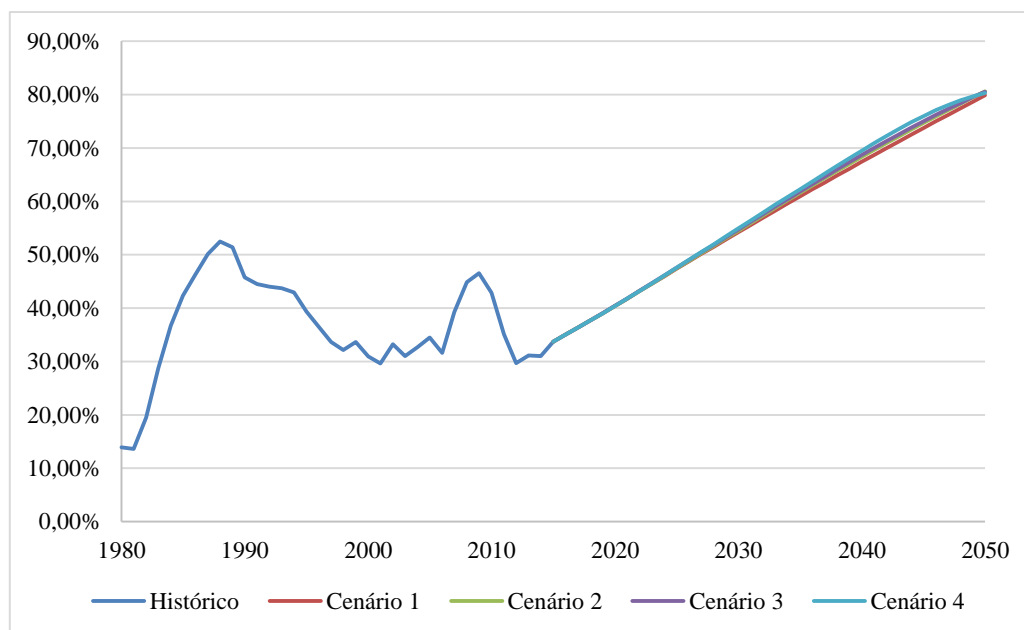


Figura 37: Participação de energia renovável
Fonte: Elaboração própria.

As estimativas demonstram que os 4 cenários apresentam grande potencial quanto à utilização de energia renovável, no entanto, serão dependentes de fontes de energia diferentes.

No caso do Cenário 1, estima-se que este seja dependente do etanol, que apesar de ser uma alternativa limpa e renovável, sua produção necessita de grandes extensões de terras para o plantio de matéria-prima, que poderiam ser destinadas à produção de alimento para consumo nacional ou exportação.

Para os Cenários 3 e 4, estima-se uma dependência maior da energia elétrica, que no caso específico do Brasil, trata-se de fonte majoritariamente renovável e não poluente. No entanto, as instalações das hidrelétricas causam grande impacto ambiental e social, tendo em vista a necessidade de construção de barragens, que refreiam o curso dos rios e causam o alagamento de grandes áreas, que acabam por acarretar problemas à fauna e flora local. É oportuno ressaltar que a oferta de infraestrutura para carregamento das baterias nas cidades e residências e a comercialização da energia elétrica necessária para abastecimento dos veículos podem representar uma barreira para implementação dessa tecnologia de forma imediata no Brasil.

Estima-se que o Cenário 2 seja o mais equilibrado no que diz respeito a dependência da energia elétrica e dos combustíveis explorados neste estudo (etanol e gasolina). Diante das vantagens e desvantagens do uso intensivo do etanol e da energia elétrica, este parece ser o cenário mais apropriado para sustentabilidade socioambiental nas atividades de transporte de passageiros (individual) no Brasil.

É oportuno ressaltar que caso a produção de etanol continue a crescer no Brasil e que não exista conflito em relação ao uso da terra, quanto ao cultivo de alimentos, o excedente de etanol⁴ poderia ser destinado para o transporte de carga, por meio da sua aplicação em caminhões leves e semileves e para o transporte coletivo de passageiro, por meio da aplicação em ônibus e microônibus urbanos.

2.3 Inventário de Ciclo de Vida (ICV) dos veículos convencional e elétrico

O conceito de ACV pode ser entendido como a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais do sistema de um produto ao longo do seu ciclo de vida (Guinée *et al.*, 2001). A ACV pode ser vista como forma de aprimorar econômica e ambientalmente o projeto de um produto (OTA, 1992). Segundo a norma brasileira, entende-se por ciclo de vida de um produto ou serviço os estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto/serviço, desde a aquisição da matéria-prima ou geração de recursos naturais até a disposição final (ABNT, 2001).

Usualmente, a ACV é realizada por meio de uma abordagem denominada do berço ao túmulo que considera todos os estágios do ciclo de vida do produto, que vai da extração da matéria-prima, até a gestão de resíduos e esta pode considerar o reuso, a re-manufatura ou a reciclagem do material (Figura 38). É oportuno ressaltar que, quando se trata de um estudo de combustíveis e eletricidade, essa abordagem recebe uma denominação específica de *well-to-wheel*, que pode ser entendido como do poço à roda.

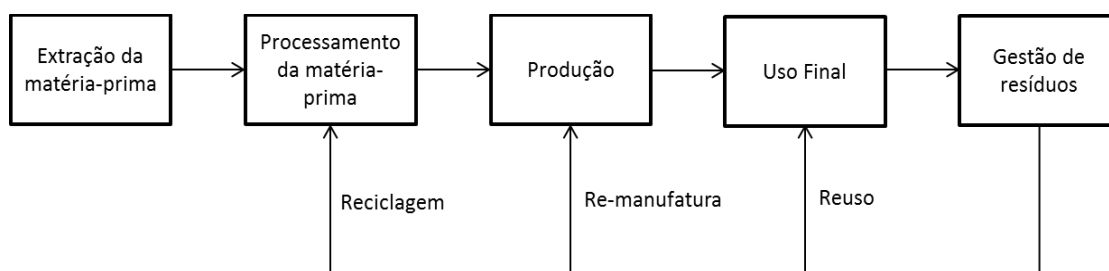


Figura 38: Estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço
Fonte: Baseado em D’Agosto (2004).

O processo para ACV está normatizado internacionalmente pela ISO14044 em que são determinadas quatro fases de estudo, bem como os procedimentos gerais para sua execução (Finkbeiner *et al.*, 2006) (Figura 39).



⁴ Proveniente da diferença entre a estimativa de demanda dos cenários 2 e 3 para o cenário 1.

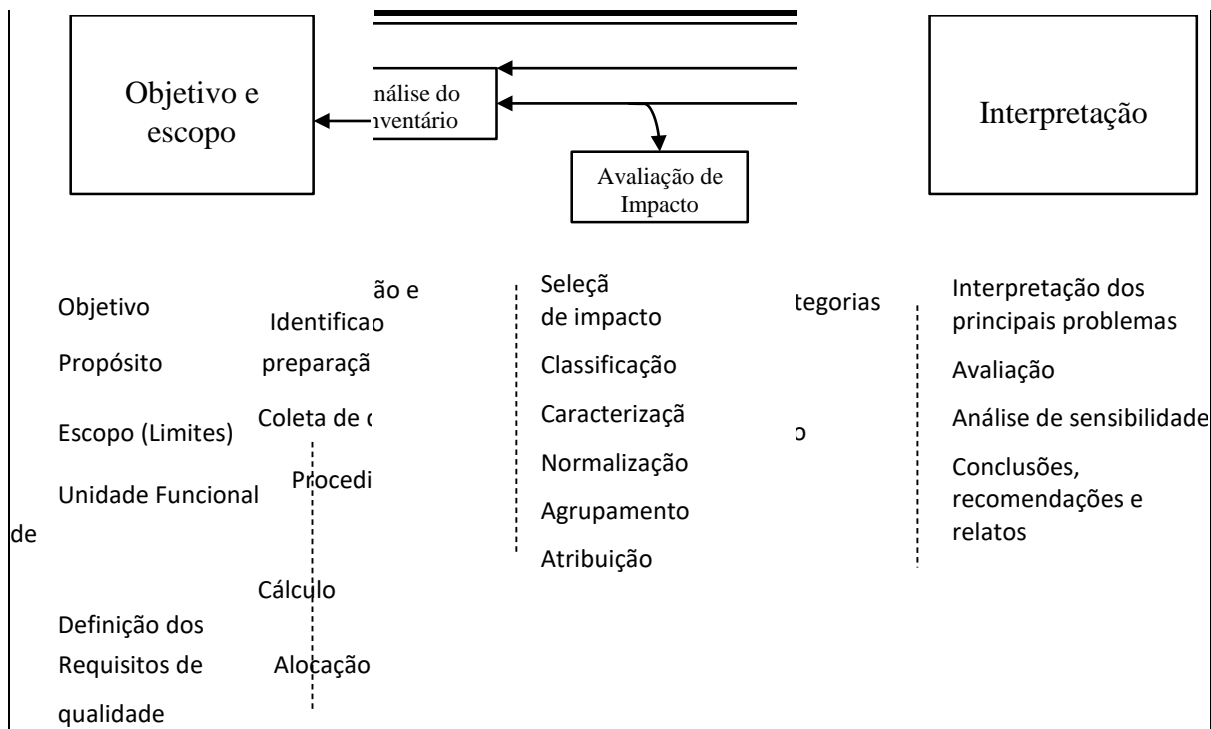


Figura 39: Fases da Análise de Ciclo de Vida (ICV)
Fonte: Elaboração própria com em D’Agosto, (2004).

Tendo em vista que não foi possível obter dados reais para os veículos utilizados no teste comparativo, ambos da marca Nissan, cujos resultados foram descritos na subseção 2.1 deste relatório, optou-se por apresentar duas das quatro fases da ACV, obtendo-se as informações e dados por meio de uma revisão bibliográfica. São elas, Objetivo e Escopo e Análise do Inventário, que consistem no que se denomina de Inventário de Ciclo de Vida (ICV).

2.3.1 Objetivo e escopo

O objetivo e o escopo são as primeiras fases para a realização da ACV. Estas etapas devem ser coerentes com a aplicação pretendida e claramente definidas (Ometto, 2005). De acordo com a ISO14040 (2006) *apud* Souza (2015), o objetivo deve declarar de maneira inequívoca a aplicação pretendida e o processo de revisão crítica que se pretende adotar.

Objetiva-se com este estudo obter uma comparação entre as emissões de CO₂ referentes ao ciclo de vida dos sistemas veículos/combustíveis, por meio de um ICV. Quanto ao escopo deste estudo, ou seja, a identificação dos limites dos sistemas consideram-se duas fontes de energia (gasolina/etanol e energia elétrica) e dois diferentes sistemas de propulsão (convencional e elétrico). Tais escolhas foram adotadas a partir dos veículos utilizados na realização de teste comparativo, apresentado na subseção 2.1, deste relatório. Como não foi possível obter até a presente data, os dados reais do ciclo de vida dos veículos produzidos pela Nissan e tendo em vista a necessidade de elaborar este relatório, foram utilizados os dados de Souza (2015) para fundamentar o ICV dos veículos convencional a gasolina e elétrico. Para que pudesse haver uma comparação equitativa entre o ICV destes veículos, adota-se um mesmo veículo-tipo que pode receber um sistema de propulsão convencional ou um sistema de propulsão elétrico.

Quanto à função do sistema, baseou-se na utilização de tecnologia para o transporte de passageiro que produza movimento.

Quanto à unidade funcional considerada, baseou-se na distância de um passageiro por quilometro rodado (pass.km). Tal escolha foi adotada a fim de facilitar a comparação entre diferentes estudos, independente da vida útil do veículo.

Quanto ao fluxo de referência adotado, baseou-se na vida útil média, dada em quilometro (km) percorrido, de 260.000 km para os automóveis no Brasil (FENABRAVE, 2011). A determinação desta unidade se deu a partir de dados disponíveis referentes ao tempo de vida médio, fornecido pela Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE) e a quilometragem média anual da frota de automóveis no país, fornecida pelo Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças).

2.3.2 Requisitos de qualidade

Quanto à abrangência geográfica e temporal, baseou-se no estudo realizado por Souza (2015) e considerou-se a Região Metropolitana de São Paulo (Cubatão), tendo em vista a falta de dados reais para os veículos Nissan Sentra e Nissan Leaf e o momento relativo ao ano de 2013. A abrangência da tecnologia considera veículos equipados com o sistema de propulsão elétrico e veículos equipados com o sistema de propulsão convencional (motor de combustão interna (MCI) + sistema de transmissão mecânico (STM)).

Quanto à abrangência tecnológica, considerou-se: o sistema do veículo convencional a gasolina, cuja fronteira foi identificada com base em Souza (2015) que contempla: (1) a extração, transporte, refino, distribuição e uso da gasolina; (2) a etapa agrícola, transporte, etapa industrial, distribuição e uso do etanol e (3) etapa industrial, distribuição, uso e reciclagem do automóvel e o sistema do veículo elétrico, cuja fronteira também foi identificada com base em Souza (2015) que contempla: (1) as etapas de produção de energia elétrica, transmissão e uso da energia; (2) a etapa industrial, distribuição, uso e reciclagem do automóvel e (3) extração de matéria prima da bateria, produção da bateria, uso e reciclagem da bateria.

Para facilitar o entendimento das fronteiras adotadas, assim como os níveis de profundidade estabelecidos para cada sistema, optou-se por fragmentar os fluxogramas de cada subproduto específico após se estabelecer as fronteiras gerais dos sistemas.

2.3.2.1 Fronteira do sistema do veículo convencional a gasolina

Na configuração da fronteira do sistema do veículo convencional a gasolina, consideraram-se as fronteiras do automóvel tipo, da gasolina e do etanol. Tendo em vista as especificações e proporções definidas pela legislação em vigor para o ano de 2013 no que diz respeito aos combustíveis, definiu-se que a gasolina distribuída ao usuário final, constava de uma mistura de gasolina A, com a proporção de 25% de álcool anidro. É importante ressaltar que no mês de março de 2015, a mistura passou a ser de 27%, no entanto, não foi possível considerar este percentual, tendo em vista que este estudo trata-se de uma revisão bibliográfica baseada em Souza (2015) (Figura 40).

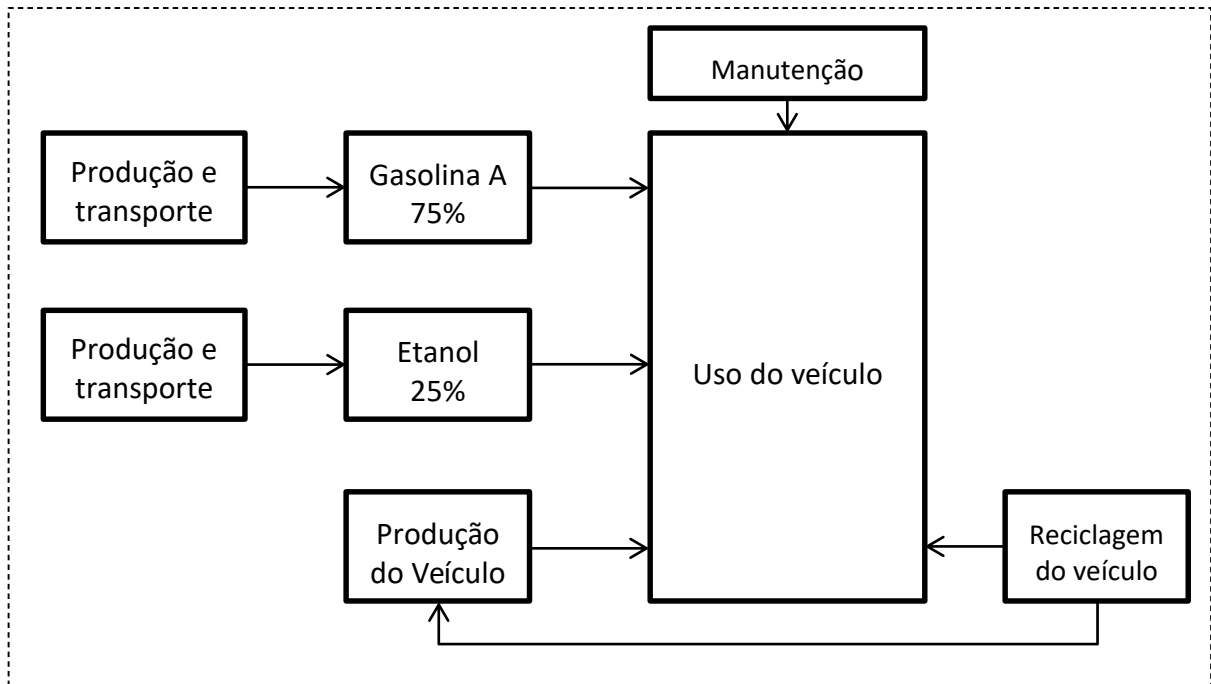


Figura 40: Fases do Inventário de Ciclo de Vida (ICV).

Fonte: Baseado em Souza, (2015).

□ Fronteira do automóvel

O estudo inicia-se na etapa de produção industrial, ou seja, na planta de produção do automóvel. A etapa de extração de matéria prima não foi incluída, assim como a utilização dos insumos para essa etapa, devido à falta de dados disponíveis.

As etapas de processamento do material, industriais 1 e 2, transporte, uso e reciclagem do automóvel foram considerados e obtidos por meio do estudo realizado por Souza, (2015) (Figura 41).

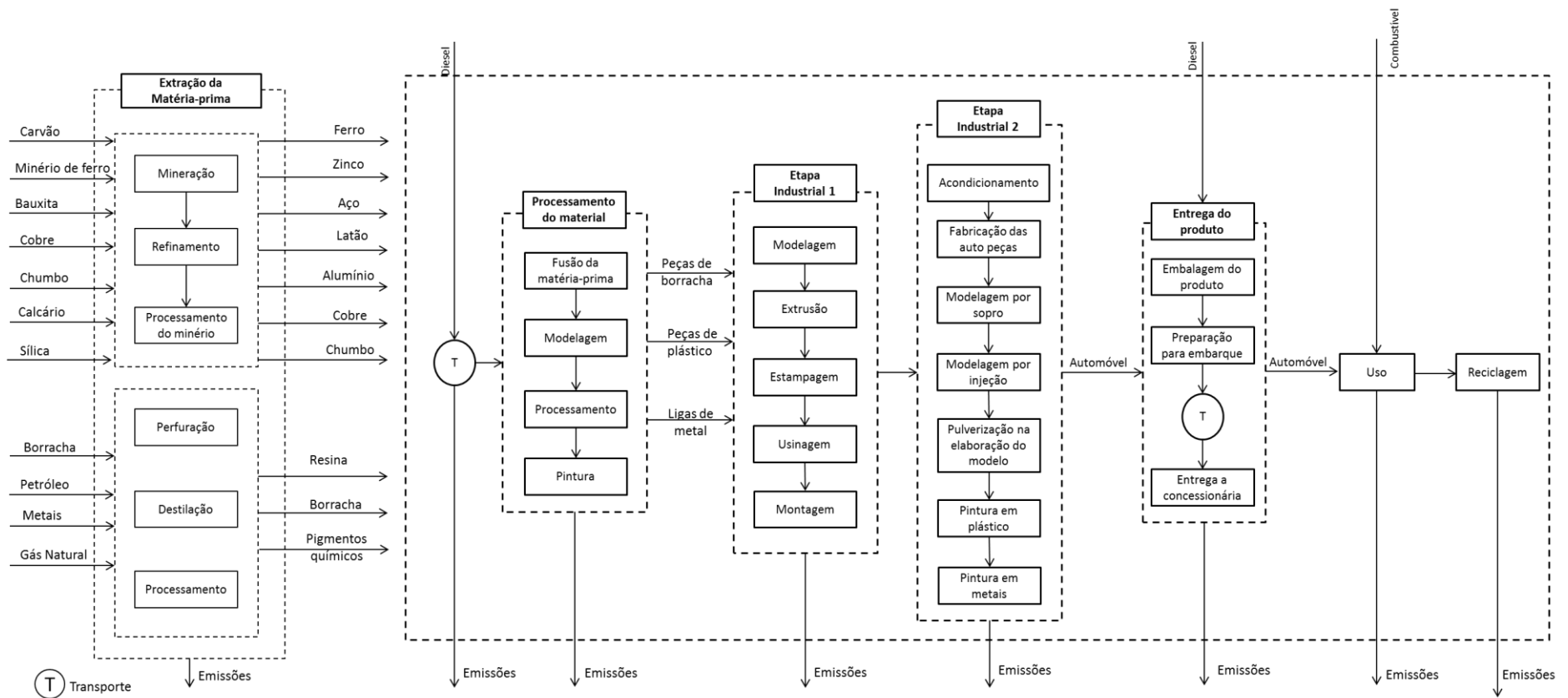


Figura 41: Fronteira do sistema do automóvel.
Fonte: Elaboração própria com base em Souza, (2015).

□ Fronteira da gasolina

O ciclo de vida da gasolina, representado na Figura 42, baseou-se em dados obtidos por meio do estudo realizado por Souza, (2015), inicia-se com a extração do petróleo no Brasil, em terra (*on shore*) ou no mar (*off shore*) ou com a exploração de petróleo internacional, considerando-se os diferentes insumos e energia para cada tipo de extração.

A segunda fase é de transporte da matéria prima e dependendo da origem do petróleo, pode ocorrer por dutos, navios ou caminhões. Para esta etapa são considerados os insumos energéticos.

Geralmente o petróleo é estocado em terminais, seguindo então para a fase industrial, que, a partir do estoque, consistem no refino, processamento e armazenagem dos derivados. Foram considerados os insumos e os consumos energéticos nesta fase. Após a etapa industrial, têm-se como produto todos os seus derivados, dentre eles a gasolina, que é transportada até os pontos de distribuição.

No Brasil, usualmente a gasolina é transportada por dutos até os estoques das empresas distribuidoras, localizados próximos às refinarias (base primária). Daí o combustível pode ser transportado para outros locais de estocagem (base secundária) ou para os revendedores e por fim, o uso final (D'Agosto, 2004 e Souza, 2015).

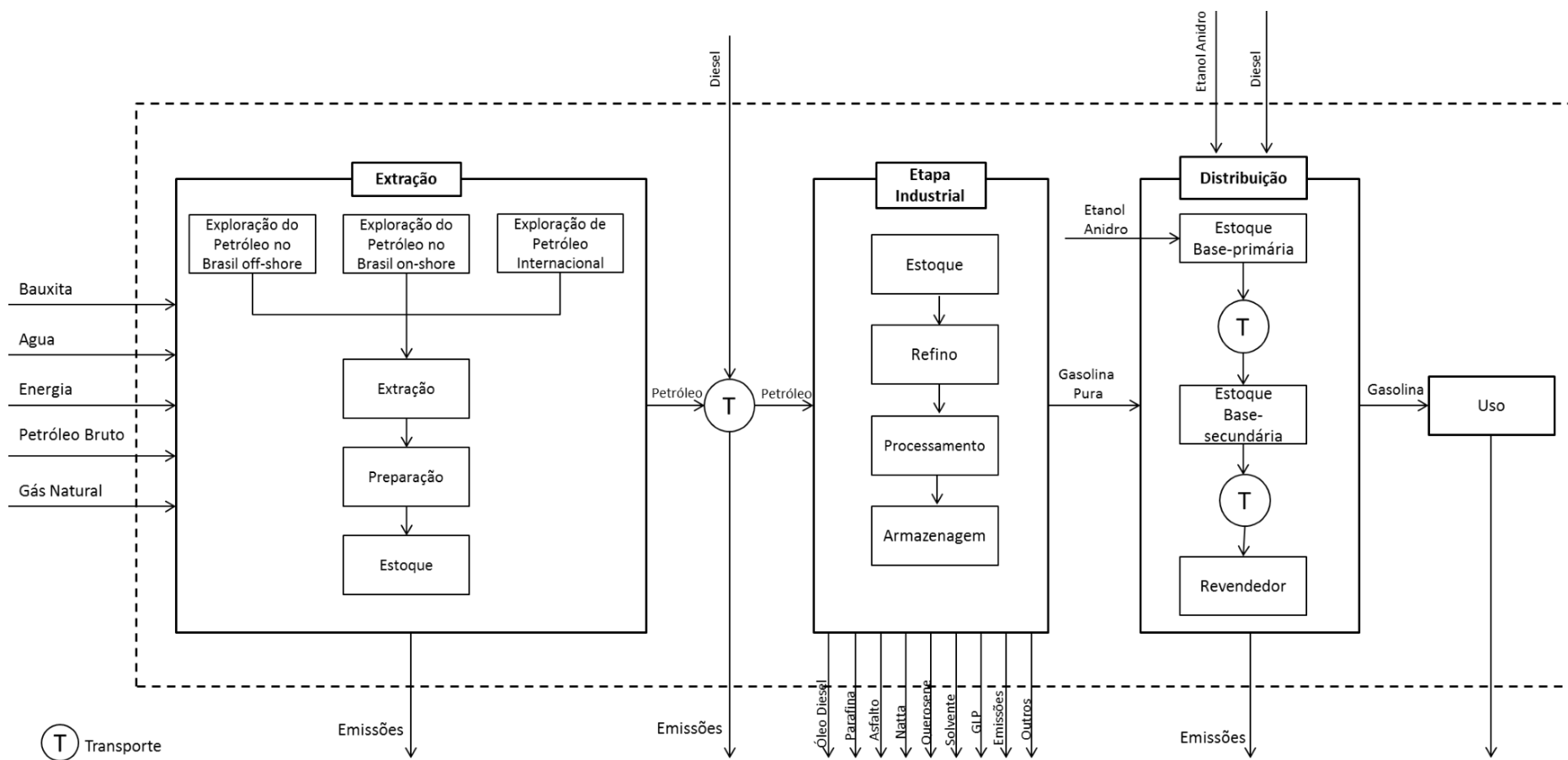


Figura 42: Fronteira do sistema da gasolina.
Fonte: Elaboração própria com base em Souza, (2015).

□ **Fronteira do etanol**

O ciclo de vida do etanol, representado na Figura 43, baseou-se em dados obtidos por meio do estudo realizado por Souza, (2015), inicia-se na etapa agrícola, considerando o uso de sementes, insumos tais como fertilizantes e agrotóxicos e energia utilizada neste processo.

As distâncias adotadas para o transporte do insumo até o local da plantação foram obtidas na literatura. A cana-de-açúcar é o produto desta etapa, que após sua colheita é transportada até a usina produtora por meio de caminhões, que utilizam diesel como combustível. A etapa industrial envolve todas as etapas de processamento da cana-de-açúcar até a conversão em etanol. Os insumos industriais foram considerados neste estudo para a produção do etanol, assim como a energia produzida através da co-geração. O diesel consumido na etapa de distribuição por meio do uso de caminhões também é considerado.

O etanol é transportado até uma base primária, local onde ocorre à mistura do etanol à gasolina A. Em seguida o etanol pode ser transportado para outros locais de estocagem (base secundária) ou para revendedores, e por fim o uso final (Souza, 2015).

A cidade de Colina (região nordeste do Estado de São Paulo) foi adotada como fronteira geográfica da produção do etanol, em função de possuir a maior parte da produção de cana-de-açúcar do Brasil.

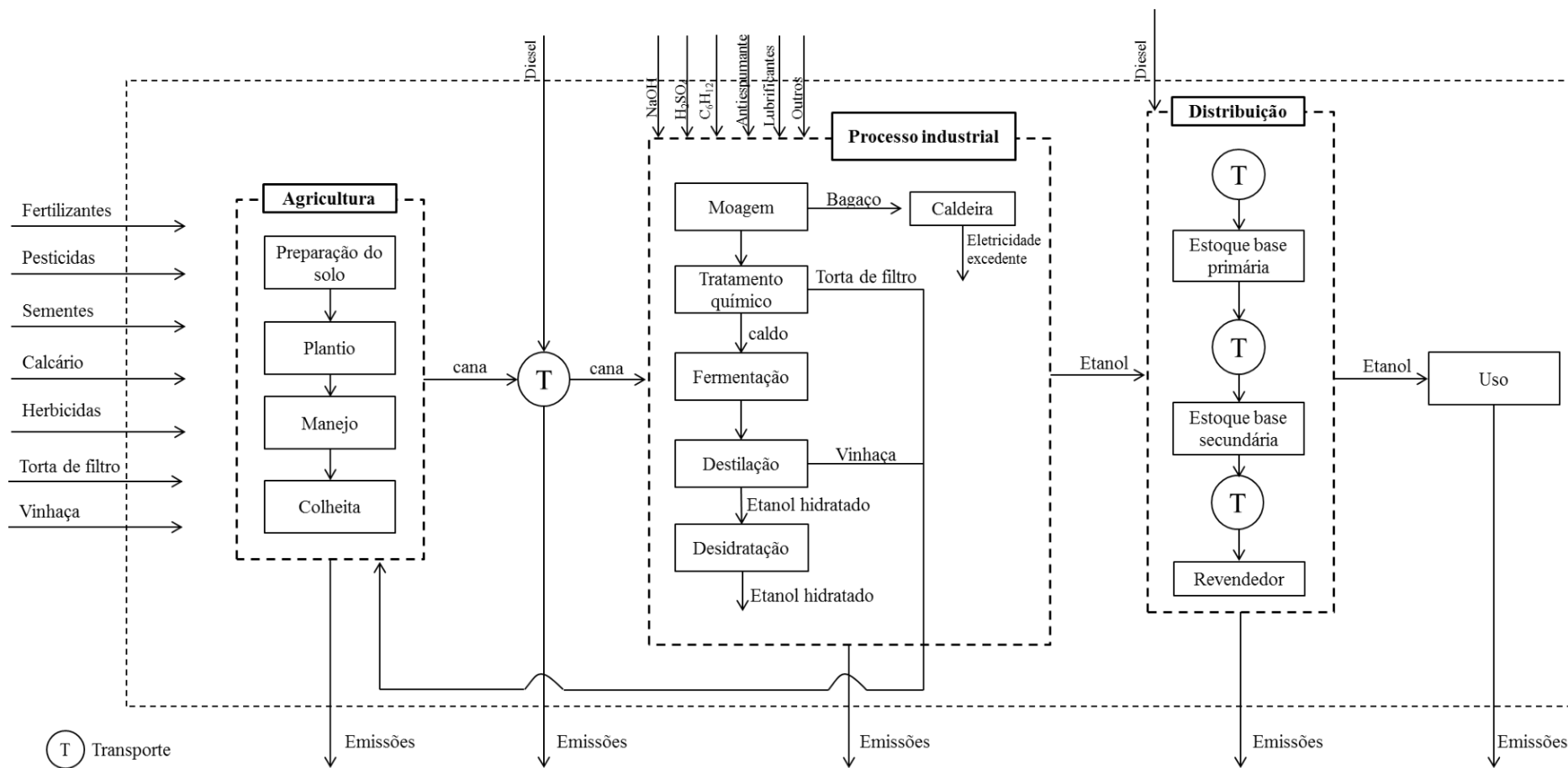


Figura 43: Fronteira do sistema do etanol.
Fonte: Elaboração própria com base em Souza (2015).

2.3.2.2 Fronteira do sistema para o veículo elétrico

Na configuração da fronteira do sistema do veículo convencional a gasolina, consideraram-se as fronteiras do automóvel, da energia elétrica e da bateria (Figura 44).

Quanto à fronteira do automóvel, este estudo considerou a mesma fronteira apresentada na seção anterior (2.3.2.1) deste relatório (Figura 41).

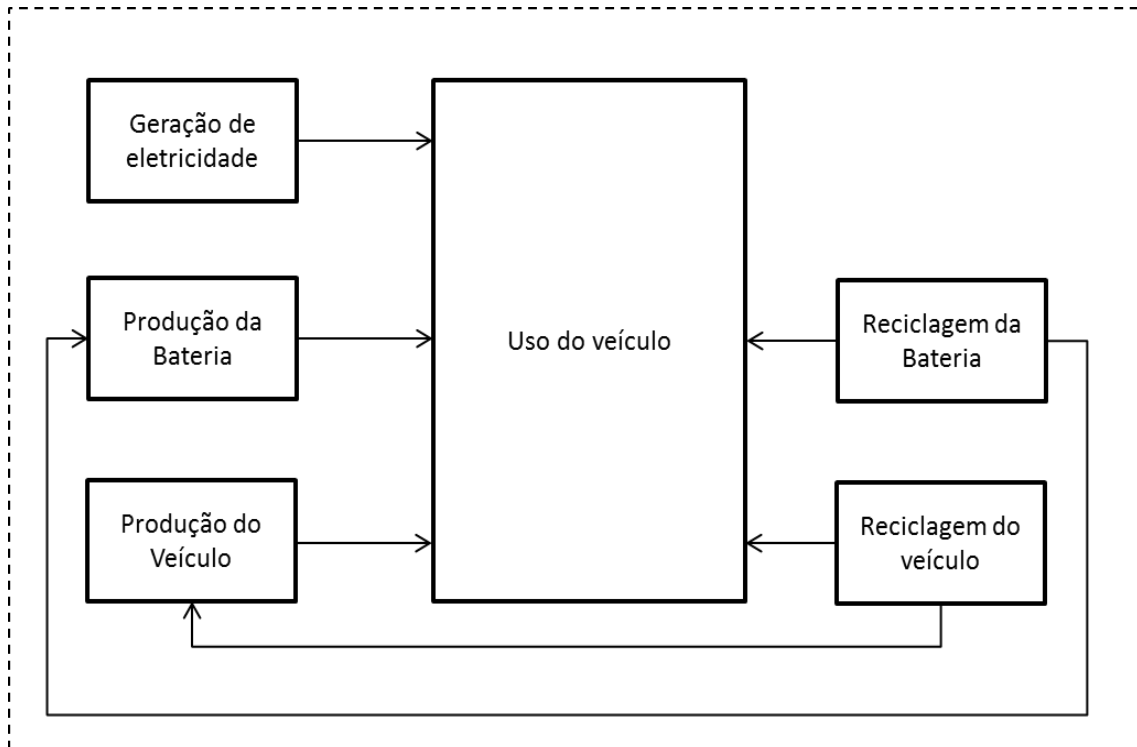


Figura 44: Fronteira do sistema do veículo elétrico.

Fonte: Elaboração própria com base em Souza (2015).

□ Fronteira da energia elétrica

O ciclo de vida da energia elétrica, representado na Figura 45, baseou-se em dados obtidos por meio do estudo realizado por Souza, (2015), considera o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil.

De acordo com a ONS, o sistema interligado nacional é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância da produção de energia por usinas hidrelétricas. Para cada fonte considerada, a etapa se iniciou a partir da exploração da matéria prima, seguida da produção de energia, passando pela transmissão e por fim a distribuição ao usuário final.

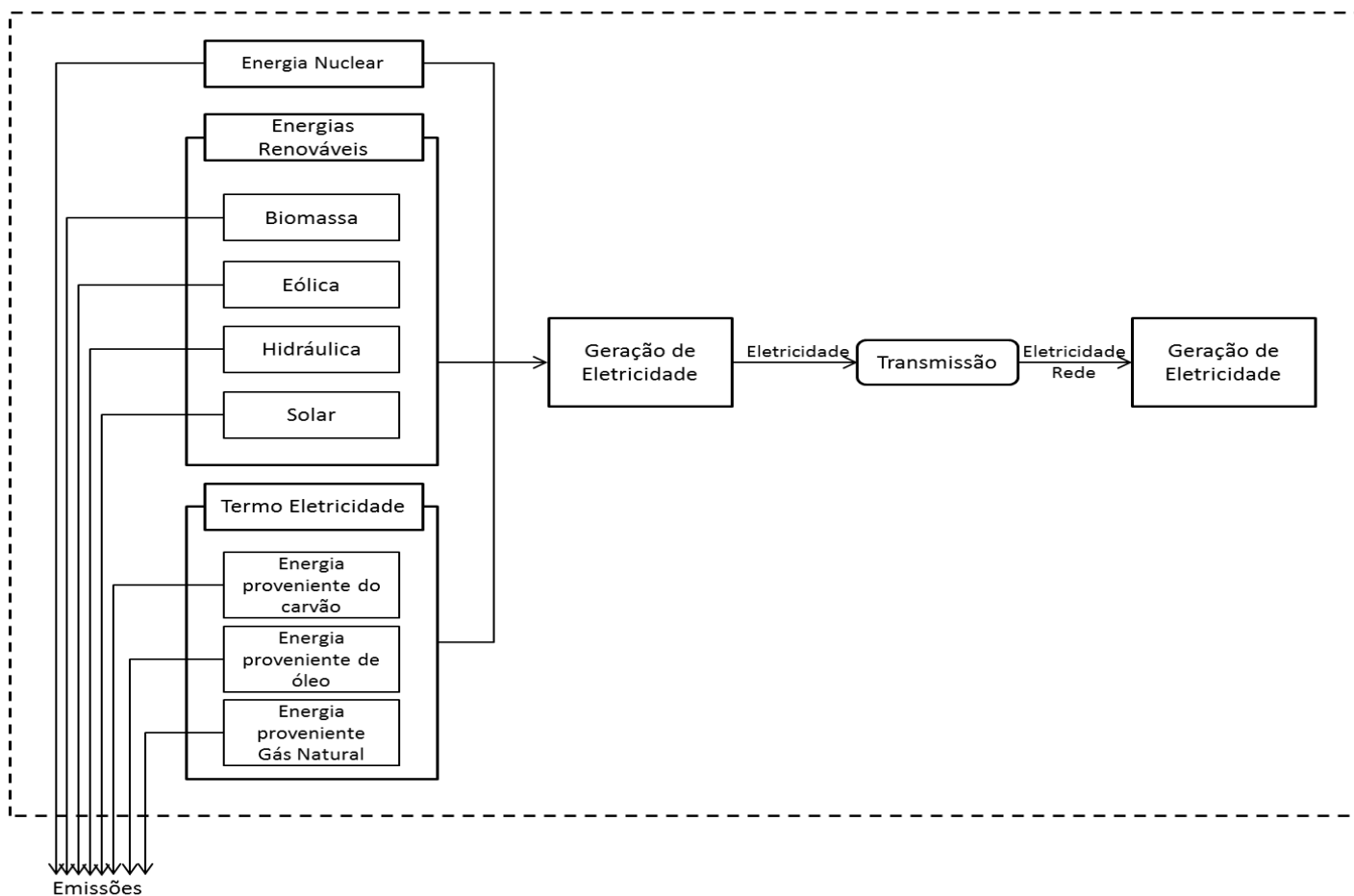


Figura 45: Fronteira do sistema da eletricidade.
Fonte: Elaboração própria com base em Souza, (2015).

□ Fronteira da bateria

O ciclo de vida da bateria, representado na Figura 46, baseou-se em dados obtidos por meio do estudo realizado por Souza, (2015), inclui a extração da matéria prima, transporte até a planta de fabricação, a produção dos componentes, assim como a montagem, os insumos e emissões, além do transporte até o centro revendedor, o uso, o transporte até a planta de reciclagem, e por fim, a reciclagem.

A etapa de processamento de material, consumo energético, transporte até o centro de revenda, uso e reciclagem do automóvel foram considerados.

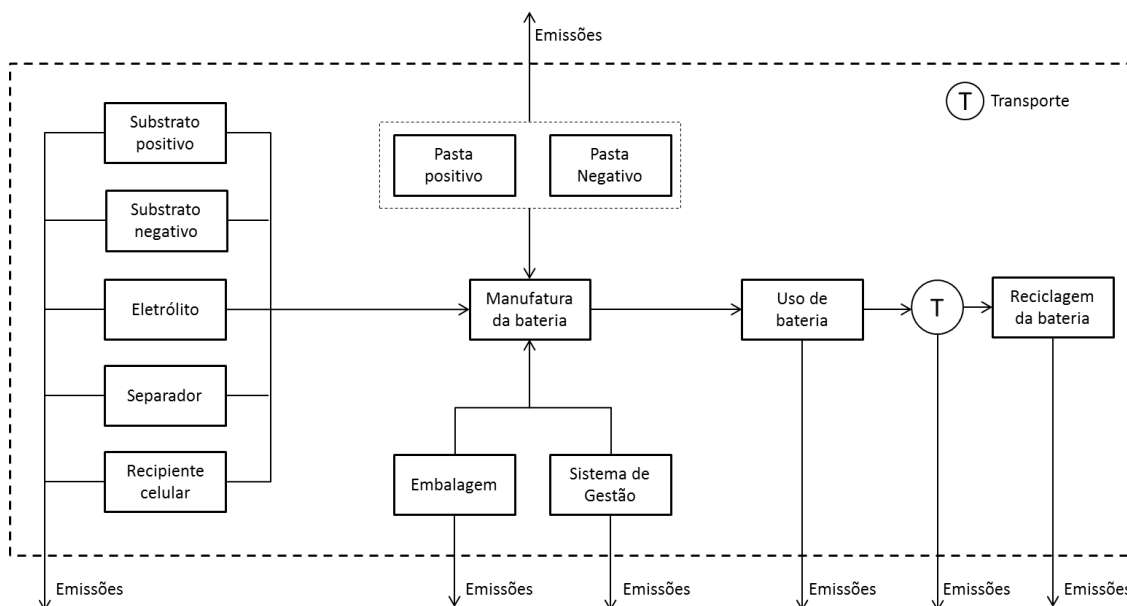


Figura 46: Fronteira do sistema da bateria.

Fonte: Elaboração própria com base em Souza, (2015).

2.3.3 Análise do Inventário de Ciclo de vida (ICV) do veículo convencional e elétrico

A análise do ICV de um determinado produto, segundo a ISO14040 de 2006, envolve a coleta dos dados e os procedimentos utilizados para quantificar as entradas (materiais e energia) e as saídas (emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos) ao longo do ciclo de vida de um determinado produto. Nesta seção, serão apresentados os inventários do ciclo de vida do processo de produção e uso da gasolina, do etanol, da energia elétrica, do veículo-tipo e da bateria.

2.3.3.1 Preparação para a coleta de dados

Definiram-se as fronteiras desse estudo a partir de uma revisão bibliográfica, baseado, principalmente, no estudo de Souza, 2015 que considerou diferentes realidades no que diz respeito aos combustíveis, a matriz energética brasileira, as distâncias percorridas, dentre outros.

2.3.3.2 Coleta de dados

A coleta de dados dividiu-se conforme cada sistema proposto neste estudo. Para o sistema do automóvel tipo, baseou-se no Volkswagen Golf por meio de dados apresentados por Schweimer *et al.* (2001) *apud* Souza (2015). Para o sistema da gasolina, baseou-se em

dados apresentados por Borges (2004) *apud* Souza (2015). Para o sistema do etanol, baseou-se em dados apresentados por Cavalett *et al.*, (2012) *apud* Souza (2015). Para o sistema da eletricidade, baseou-se em dados apresentados pelo banco de dados Ecoinvent *apud* Souza (2015) e por fim, para o sistema da bateria, baseou-se em dados apresentados por Majeau-Bettez *et al.*, (2011) *apud* Souza (2015).

2.3.3.3 Inventário do automóvel-tipo

Os dados levantados foram adaptados para modelar características específicas, principalmente no que diz respeito à carroceria e outras partes comuns aos veículos do segmento de automóveis. Sendo assim utilizou-se este inventário, para os veículos convencional a gasolina e elétrico, considerando suas características específicas tais como a bateria, no caso do veículo elétrico, consumo e autonomia.

Usualmente, o ciclo de vida do berço ao túmulo de um produto é muito complexo. O esforço necessário para apresentar todos os processos envolvidos é imensurável, dessa forma, muitos estudos optam por resumir os processos específicos em grupos. Assim, os dados de muitas peças pequenas e feitas de um mesmo material ou com tecnologia semelhante foram resumidos e colocados no inventário de acordo com o seu peso em quilogramas (Souza, 2015).

Os dados utilizados para o ICV do automóvel tipo foram adaptados do estudo de Schweimer (2001) *apud* Souza (2015), que teve como referência a planta de produção da Volkswagen, na Alemanha. A utilização de dados não atuais se deve ao fato da confidencialidade de dados relativos à indústria automobilística, o que impede fontes de dados mais recentes e aprofundados.

O estudo de Souza (2015) considerou que os dados compactados nos inventários correspondem a um total de 900 materiais e produtos, além de 500 processos. Componentes individuais que pesam pelo menos 1g foram levados em consideração. Além disso, considerou apenas os processos diretamente ligados ao automóvel como produto. Isso inclui pré-produção e fabricação do produto final, no entanto não inclui a produção do maquinário. As alocações foram realizadas de acordo com a massa.

As informações de consumo de energia inseridos no inventário representam a média do consumo de energia por veículo, em uma planta específica, localizada na cidade de Wolfsburg, na Alemanha. A matriz energética do Brasil foi considerada para que os resultados expressem um valor mais próximo da realidade brasileira.

□ Fabricação de materiais e componentes

O processo de produção é a etapa seguinte à extração da matéria prima e possui alto consumo energético. Esta fase não foi considerada na planta de produção da concessionária, e sim em diversas categorias de indústrias, tais como, metalúrgica, siderúrgicas, entre outras.

Os materiais, tais como cabos, motores elétricos, interruptores, fusíveis etc. são combinados em um único grupo de materiais chamados de componentes elétricos, assim como os demais, de acordo com os materiais de cada componente.

A Tabela 10 apresenta os materiais utilizados na produção das peças dos automóveis.

Tabela 10: Materiais para a produção dos componentes automotivos

Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)
Alumínio Primário	6,4	Titânio	0,31
PMMA	1,3	Fluido de freio	2,6
Alumínio Secundário	Coqueria		3,2
PC policarbonato	Etileno		56,5
Chumbo	ABS		12,4
Poliéster	Etilenoglicol		6,8
Cromo	EPDM		30
Polyol	Etanol a 96%		27,4
Cobre	MDI		6,9
Poliestireno	Float glass		30
Magnésio	Nitril rubber		0,9
POM	Fibras de vidro		2,9
Níquel	PA 6		7,6
PP	Pintura, geral		5,3
Aço laminado a frio	PA 6.6		14,3
PPE	Solvente para pintura		6,2
Aço billed	PE HD		22,3
PVC	Ácido sulfúrico 96%		1,48
Aço Galvanizado	Resina Fenólica		0,8
Resina	Calcário (CaCO3)		529

Fonte: Baseado em Schweimer (2001) *apud* Souza (2015).

- Produção e montagem do automóvel

Na etapa industrial de montagem dos componentes do veículo tem-se origem das principais peças do veículo. Os principais insumos utilizados na etapa de produção e montagem de uma unidade de automóvel estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Insumos utilizados na produção de 1 automóvel

Insumos	Quantidade	Unidade
Água de reuso /água da chuva	31,3	m ³
Água doce	3,2	m ³
Ar comp 6 bar	812	nm ³
Ar comp 12 bar	210	nm ³
Lubrificante de refrigeração	0,05	kg

Refrigerante	4,2	kg
Óleo lubrificante	2,8	kg
Argon	0,15	kg
Gás carbônico	0,5	kg
Oxigênio	5,02	kg
Nitrogênio	1,03	kg
Butanol	0,4	kg
Butiglicol	0,08	kg
Ácido sulfúrico 35%	0,3	kg
Espuma de poliuretano	16	kg
Folha de Slash	8,7	kg
Insumos	Quantidade	Unidade
Aço inoxidável	13,2	kg
Mola de aço	4,8	kg
Materiais elétricos	32	kg
Materiais de borracha	6,6	kg
Materiais sintéticos	42	kg
Materiais de metais leves	11	kg
Materiais de metais comuns	0,9	kg
Materiais de aço	221	kg

Fonte: Baseado em Schweimer (2001) *apud* Souza (2015).

- Transporte

Souza (2015) considerou a unidade industrial localizada em São Bernardo do Campo - SP, com o intuito de aproximar da realidade nacional, pois nessa região está instalada uma grande montadora de automóveis. A revendedora está situada em São Caetano do Sul, devido à proximidade entre a montadora e a região de uso do veículo. A distribuição do automóvel é realizada integralmente pelo modo rodoviário. Os dados ao transporte do automóvel da unidade industrial até às revendedoras foram descritos na Tabela 12.

Tabela 12: Dados para transporte do veículo no trecho da unidade industrial ao centro revendedor

Dados para o Transporte do Automóvel		Unidade
Consumo do caminhão de 45t de capacidade		1,6 km/l
Distância da unidade industrial à revendedora	15 km	Consumo de diesel do caminhão cheio para 15 km
	9,4 L	
Consumo do caminhão para o transporte de 1 automóvel		0,2 L

Fonte: Elaboração própria com base em Souza, (2015).

- Uso

Diversos itens são utilizados e substituídos durante o uso como, por exemplo, óleo do motor, líquidos refrigerantes, fluido de freio e de para-brisas, amortecedores, velas, pneus entre outras peças. No entanto, devido ao baixo impacto dessa etapa no ciclo de vida geral

de um automóvel considerou-se apenas o consumo de combustível para o uso do automóvel, devido a sua grande relevância na fase de uso do automóvel.

- Reciclagem

Tendo em vista a disponibilidade de dados, optou-se por modelar a reciclagem do automóvel, por meio de uma revisão (Souza, 2015). Adotou-se um consumo de energia geral para todo o processo de reciclagem de 66 kWh/t.

A Tabela 13 apresenta a taxa de reciclagem por tipo de material.

Tabela 13: Taxa de reciclagem média e por veículo

Material	Taxa média de reciclagem (%)	Quantidade reciclada por veículo (kg)
Ferro- Metais	99,8	633,2
Alumínio	93,2	48,2

Material	Taxa média de reciclagem (%)	Quantidade reciclada por veículo (kg)
Cobre	88,5	8,1
Chumbo	91,4	11,9
Polipropileno	54,5	27
Polietileno	54,5	12,1
PMMA	32,5	0,4
ABS	54,2	6,7
EPP	2,9	0,1
PP-EPDM	8	2,4
Borracha	32	14,1

Fonte: Elaboração própria com base em Souza, (2015).

2.3.3.4 Inventário da gasolina

O ICV da gasolina compreende as entradas e saídas da extração do petróleo, transporte, refino e uso. Não foi incluída a produção das máquinas utilizadas para a fabricação do produto final. Considerou-se que 50% do petróleo seriam de origem nacional, enquanto que a outra metade, de origem internacional (Souza, 2015).

□ Exploração de matéria prima: petróleo

A extração do petróleo *off shore* possuem dados obtidos a partir de dados que correspondem a plataformas localizados no Mar do Norte, que possui diferenças na forma de extração, na perfuração e plataforma. Entretanto, de acordo com Souza (2015) para o estudo realizado, não foram incluídos os dados referentes aos bens de capital, sendo necessário estabelecer uma equivalência com os dados brasileiros (Tabela 14).

Tabela 14: Inventário do ciclo de vida de 1kg de petróleo extraído em alto mar

Parâmetro	Quantidade	Unidade
Entradas		

Petróleo	1,010	kg
Gás Natural	0,055	kg
Bauxita	0,0004	kg
Energia	2,66	MJ
Água	0,0095	kg
Saídas		
<i>Emissões</i>		
CO	0,00007	kg
CO ₂	0,152	kg
C _x H _y	0,0018	kg
MP	0,00023	kg
NO _x	0,0022	kg
HCl	0,000011	kg
SO _x	0,00006	kg
<i>Efluentes</i>		
Petróleo	0,000035	kg
Íons metálicos	0,000005	kg
Parâmetro	Quantidade	Unidade
Fenol	0,000001	kg
<i>Resíduos Sólidos</i>		
Resíduo mineral	0,0011	kg
Escória	0,000011	kg

Fonte: Elaboração própria com base em Borges (2004) *apud* Souza (2015).

Quanto à produção de petróleo nacional, considerou-se a bacia de Santos, em São Paulo, devido ao seu maior potencial de crescimento, pois nela se encontra a camada de pré-sal que passou a ser explorada a partir de 2009 (Souza, 2015).

Quanto à produção de petróleo internacional, considerou-se que a maior parte do petróleo importado consumido pelas refinarias brasileiras seria proveniente do Oriente Médio. O consumo de energia do transporte foi calculado com base nos dados dos navios petroleiros, considerando-se a distância média de 20.000km entre os portos de Jeddah (Arábia Saudita) até o Terminal de Ilha Grande, no Rio de Janeiro.

□ Transporte de matéria prima

Os dados utilizados para o transporte de matéria prima foram baseados em Borges (2004) *apud* Souza (2015) e estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Inventário do transporte marítimo 1t.km

Parâmetro	Quantidade	Unidade
Entradas		

Bauxita	2,98	Mg
Petróleo	8,19	Kg
Gás natural	522	Mg
Energia (não especificada)	20,36	kJ
Água	246	Mg

Saídas

Emissões para o ar

Aldeídos	25,2	Mg
Amônia	12,6	Mg
CO	70,7	Mg
CO ₂	24,7	G
CxHy	57	Mg
MP	1,78	Mg
Metais	74,5	Mg
N ₂ O	30,2	Mg
NO _x	458	Mg
SO ₂	372	Mg
Fuligem	700	Mg
SO _x	671	Mg
COV	1,29	Mg

Efluentes

Parâmetro	Quantidade	Unidade
DBO	3,78	Mg
DQO	18,8	Mg
Cl ⁻	74,5	Mg
Petróleo	364	Mg
CxHy	149	Mg
SDT	7,98	Mg
SST	3,78	Mg
H ₂	224	Mg
Íons metálicos	37,3	Mg
Óleos	43,4	Mg

<i>Resíduos sólidos</i>		
Resíduos minerais	10,4	Mg
Óleo	103	Mg
Resíduos sólidos (não inerte)	983	Mg
Escória	14,9	Mg

Fonte: Elaboração própria com base em Borges (2004) *apud* Souza (2015).

O transporte do petróleo extraído do terminal de Santos até a Refinaria, localizada em Cubatão, têm seus dados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Distância do transporte do Terminal a Refinaria

Localização	Distâncias	Modo de Transporte
Terminal de Santos - Refinaria Presidente Bernardes (Cubatão)	50 km	Oleoduto

Fonte: Elaboração própria com base em Souza (2015)

□ Produção da gasolina

No estudo realizado por Souza (2015) considerou-se que o limite geográfico para a produção da gasolina, através do refino do petróleo, foi à cidade de Cubatão, São Paulo. As refinarias de petróleo possuem diversas etapas de operação que são responsáveis pela emissão e geração de efluentes e de resíduos sólidos (Tabela 17).

Tabela 17: Inventário da unidade de processo de refino de petróleo

Parâmetros	Quantidade	Unidade
Entrada de outro sistema		
Petróleo consumido no Brasil	1	T
Saídas		
<i>Emissões para o ar</i>	8173,2	G
CO ₂	20,16	G
CH ₄	5,76	G
NO _x	25,93	G
CO	996,3	G
NMCOV	10	G
MP	4,88	G
SO _x	11,52	G
Parâmetros	Quantidade	Unidade
C _x H _y	0,023	G
H ₂ S	0,21	G
Efluentes		

Cl-	24	G
Na+	16	G
Óleo	7	G

Fonte: Elaboração própria com base em Borges (2004) *apud* Souza (2015).

O refino do petróleo gera diversos produtos comerciáveis, apresentados na Tabela 18 em volume de derivados, produzidos a partir de 1kg de petróleo.

Tabela 18: Produção dos derivados para 1 kg petróleo

Derivados de petróleo	Quantidade (l)
Gasolina	0.239
Gasolina de aviação	0.001
GLP	0.112
Óleo Combustível	0.219
Óleo diesel	0.411
Querosene de aviação	0.045
Querosene iluminante	0.003
Asfalto	0.021
Coque	0.022
Nafta	0.108
Óleo lubrificante	0.009
Parafina	0.002
Solvente	0.008
Outros	0.014

Fonte: Elaboração própria com base em Borges (2004) *apud* Souza (2015).

□ Distribuição da gasolina

Considerou-se para este estudo, que a gasolina é produzida na Refinaria Presidente Bernardes (Cubatão/São Paulo) e bombeada através de oleodutos para tanques de estocagem das companhias distribuidoras, situadas nas proximidades da refinaria. Além disso, considerou-se o centro de distribuição na cidade de São Caetano do Sul/São Paulo. Nesta base ocorre a mistura do álcool etílico anidro à gasolina (Souza, 2015).

Os dados referentes a esse produto estão especificados na Tabela 19.

Tabela 19: Distâncias entre os centros de produção ao centro de distribuição

Localização	Distâncias	Modo de Transporte
Refinaria Cubatão - Centro de distribuição São Caetano do sul	46 km	Óleoduto
Usina São José (Colina-SP) - Centro de distribuição (mistura compulsória na gasolina)	430 km	Rodoviário

Fonte: Elaboração própria com base em Souza, 2015

A etapa de operação de distribuição de combustível varia de acordo com a distribuidora. Neste estudo consideraram-se os dados da Companhia Petrobras Distribuidora - BR distribuidora (Tabela 20).

Tabela 20: Consumo de energia para bombeio por oleodutos e operações nos terminais

Operação	Consumo de energia	Unidade	Tipo de energia
	0,0311 kWh/t.km		Bombeio Energia elétrica

Fonte: Elaboração própria com base em D'Agosto (2004).

A gasolina C proveniente dos tanques de estocagem é transportada aos postos de revenda da região. Nos postos de revenda, o combustível é descarregado por gravidade, não havendo necessidade do uso de energia para bombeio. Em seguida a entrega é realizada aos consumidores finais.

□ Uso da gasolina

Nesta etapa, necessita-se conhecer a eficiência (km/h) do veículo (Tabela 21).

Tabela 21: Dados do consumo do Automóvel Tipo

Parâmetro	Quantidade	Unidade
<u>Fluxo de referência</u>	260000	km
<u>Consumo específico</u>	12,2	km/l
<u>Total de gasolina A</u>	15817	l
<u>Total Etanol</u>	5850	l

Fonte: Elaboração própria com base em Souza, (2015).

2.3.3.5 Inventário do etanol

O ICV do etanol compreende os estágios de produção agrícola, transportes, produção de etanol, e seu uso final. Os dados utilizados foram coletados de fontes secundárias (revisão de literatura e consulta a especialistas) (Souza, 2015).

Considerou uma destilaria produtora de etanol de primeira geração, que produz eletricidade a partir do sistema de eletricidade excedente do sistema de cogeração, alimentada com resíduos de cana-de-açúcar (bagaço e palha) como representação de um cenário nacional real da produção de etanol no Brasil. A localização hipotética dessa usina é o município de Colina, localizado no nordeste do Estado de São Paulo, devido a essa região possuir diversos empreendimentos voltados para a produção do etanol.

Os principais insumos agrícolas utilizados na fase de plantação são Fertilizante Nitrogenado (N); Fertilizante Fosfatado (P₂O₅); Fertilizante Potássico (K₂O); Calcário; Herbicidas; Inseticidas; Vinhaça e Torta de Filtro, que atualmente é utilizada para substituir parcialmente a adubação química, ambas obtidas no processamento industrial da cana. As quantidades dos insumos agrícolas utilizados estão apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22: Insumos da etapa agrícola
Insumo agrícola Valor (kg/ha)

N	58,7
P ₂ O ₅	20,6
Insumo agrícola	Valor (kg/ha)
K ₂ O	30,4
Calcário	400,0
Herbicida	5,0
Inseticida	2,0

Fonte: Elaboração própria com base em Souza (2010) *apud* Souza (2015).

As distâncias adotadas para o transporte dos insumos a partir do consumo de óleo diesel estão na Tabela 23.

Tabela 23: Transporte de insumos

Etapas	Capacidade do caminhão	Distância (km)
Transporte de mudas de cana	15t	15
Transporte do calcário da planta para campo	30t	400
Transporte do gesso da mina até o campo	30t	300
Fertilizante do armazém até o campo	30t	200
Torta de filtro da planta ao campo	>32t	25
Cana do campo à planta	>32t	25

Fonte: Elaboração própria com base em Souza (2010) *apud* Souza (2015).

O consumo de diesel pelo maquinário agrícola responsável pelas atividades de plantio da cana-de-açúcar e pelo seu transporte até a usina está representado na Tabela 24.

Tabela 24: Consumo de diesel nos tratamentos culturais

Etapas	l/há
Aplicação de calcário	3,0
Incorporação dos restos culturais	12,0
Aração pesada I	28,9
Subsolagem	20,6
Gradagem pesada I	21,5
Gradagem intermediária II	12,0
Gradagem niveladora II	8,3
Sulcamento	15,3
Fechamento dos sulcos e aplicação de inseticida	7,0
Aplicação de herbicidas	3,6
Quebra lombo	6,2
Aplicação de herbicidas	3,6

Fonte: Elaboração própria com base em Souza (2010) *apud* Souza (2015).

Os principais poluentes atmosféricos emitidos pela produção da cana-de-açúcar foram apresentados na Tabela 25.

Tabela 25: Poluentes emitidos pelo maquinário agrícola

Poluentes	Valor kg/l diesel
	consumido
CO ₂	2.000

Poluentes	Valor kg/l diesel
	consumido
HC	0.007
CO	0.018
NO _x	0.045
PM ₁₀	0.005
SO _x	0.003

Fonte: Elaboração própria com base em Wang *et al.*, (2003) *apud* Souza (2015).

O fósforo e o nitrato são nutrientes produzidos pela cultura da cana-de-açúcar e são os principais poluentes devido ao seu potencial de eutrofização de corpos d'água. As quantidades destes efluentes estão apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26: Efluentes provenientes do cultivo da cana

Poluentes	mg/kg de cana-de-açúcar
Fósforo	4.1
Nitrato	21

Fonte: Elaboração própria com base em Nemecek (2004) *apud* Souza (2015).

A cana-de-açúcar após a sua colheita é transportada por veículos de transbordo e transferida para caminhões que a transportarão até a usina. O consumo específico do caminhão simples com 3º eixo, com capacidade de 32 toneladas, é de 1,6 km/l (Tabela 27) (Souza, 2010).

Tabela 27: Características do caminhão para o transporte da cana-de-açúcar

Tipo de Caminhão	Capacidade (t)	Consumo (km/l)
Caminhão truck	>32t	1,6

Fonte: Elaboração com base em Souza (2010) *apud* Souza (2015)

Após a colheita, a cana-de-açúcar, ela é lançada em veículos de transbordo, que irá transferi-la para caminhões que farão o transporte até a usina. A Tabela 28 apresenta os poluentes atmosféricos emitidos pelo caminhão.

Tabela 28: Poluentes atmosféricos emitidos pelo transporte da cana-de-açúcar

Poluentes	Valor g/km
CO ₂	935,0

NOx	7,7
CO	1,7
Partículas finas	0,0

Fonte: Elaboração própria com base em Lloyd e Cackette (2001) *apud* Souza (2015).

Neste estudo, para que os fluxos de energia da produção de etanol pudessem ser analisados separadamente da produção de açúcar, de forma a torna-la mais simples, considerou-se como referência uma destilaria autônoma, mesmo que no Brasil a maioria das unidades sejam usinas de açúcar. Esta consideração não compromete a qualidade da análise, uma vez em que as produções de açúcar e álcool envolvem processos claramente distintos, com fronteiras, equipamentos e usos de energia conhecidos (Seabra, 2008).

Os produtos e coprodutos da usina de etanol foram padronizados, isto é, a alocação em base energética foi adotada para todos os processos. Os principais coprodutos da produção do etanol considerados são os excedentes de bagaço e a energia elétrica (Souza, 2015).

A produtividade da cultura da cana no Brasil varia entre 80,0 – 85,0 t de cana por hectare (tc / ha); entretanto através da redução de práticas de queimadas espera-se um aumento da produção (Rocha, 2014 *apud* Souza, 2015). Os dados considerados na etapa de produção estão descritos na Tabela 29.

Tabela 29: Dados da etapa de produção do etanol

Fluxo de Referência	30588 l etanol
Produtividade da cana	83 t cana/ha
Produção industrial	88 l etanol/tc
Produção de eletricidade	12kWh/tc

Fonte : Elaboração própria com base em Rocha (2014) e Cavalett (2012) *apud* Souza (2015)

No processo industrial do etanol, os principais insumos químicos utilizados são ácido sulfúrico, cal virgem, lubrificantes, entre outros. Segundo a literatura, as quantidades de insumo utilizados na produção de etanol estão apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30: Insumos da etapa industrial de produção de etanol

Insumo Químico	Quantidade
Cal virgem (g/tc)	1066,5
Ácido fosfórico (g/tc)	23,3
Ácido sulfúrico (g/l etanol)	6,3
Lubrificantes (g/tc)	13,9

Fonte: Elaboração própria com base em Souza (2010) *apud* Souza (2015).

A etapa seguinte a produção do etanol é referente ao estoque do álcool combustível nas destilarias, seguida da distribuição por modo rodoviário ou dutoviário até as empresas distribuidoras dos combustíveis convencionais.

Dados referentes à distribuição do etanol foram obtidos através da Petrobrás. Considerouse a usina instalada no município de Colina/SP. O ponto final para a

distribuição de etanol foi fixado no município de São Caetano do Sul/SP. A distribuição física do etanol foi considerada neste estudo como sendo integralmente através do modo rodoviário. O caminhão utilizado para o transporte possui capacidade de carga de 30.000l. Os dados relacionados ao transporte do etanol até o centro distribuidor estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31: Distribuição do etanol

Dados de Transporte	
Consumo do caminhão de 30.000 l de capacidade (km/l)	2,0
Distância da usina ao posto de abastecimento (km)	430,0
Consumo caminhão cheio para 430 km (l)	211,8
Consumo do caminhão para 30588 l de etanol (l)	216,0

Fonte: Elaborado com base em Souza (2015).

2.3.3.6 Inventário da eletricidade

O ICV da eletricidade compreende os estágios produção, transmissão e uso da energia e considerou as características da matriz de energia elétrica brasileira (Tabela 32).

Tabela 32: Oferta de potência de energia elétrica – Brasil

Fonte de energia	%
Hidráulica	63,8
Biomassa	8,8
Gás Natural	9,0
Eólica e solar	3,5
Óleo	5,6
Carvão mineral	2,4
Gás Industrial	1,2
Nuclear	1,4
Importação	4,2

Fonte: Elaborado com base em Ben (2014) *apud* Souza (2015).

Sendo assim, para o Inventário das diferentes fontes de eletricidade que compõe a matriz energética brasileira foram utilizados no estudo de Souza (2015) dados provenientes de uma revisão de literatura. Os dados relativos ao consumo do veículo elétrico (Nissan Leaf) utilizado nesse estudo foram obtidos por meio dos sites da indústria automobilística Nissan Portugal (Tabela 33).

Tabela 33: Características do veículo elétrico

Características	Unidade
Peso da bateria	300 Kg
Peso do automóvel	1521 Kg
Alcance km modo eletricidade	

	160	Km
	260.000	Km
Consumo de eletricidade	17	kWh/100km
Consumo eletricidade total	44200	kWh

Fonte: Elaborado com base em Nissan, (2011).

2.3.3.7 Inventário da bateria

O ICV da bateria compreende os estágios da extração da matéria prima, a produção, o uso e a reciclagem e os dados foram obtidos com base em Souza (2015). A bateria considerada neste estudo se trata da bateria de íon de lítio.

A cadeia de produção da bateria foi inventariada com base nas condições médias europeias, tendo em vista à maior disponibilidade de dados, excetuando-se a energia elétrica utilizada no processo, para a qual se adotou um mix da matriz energética brasileira.

O estudo de Souza (2015) considerou que o transporte utilizado para o processo de produção da bateria foi realizado por meio de caminhões de médio porte, no entanto, devido à falta de empresas especializadas na produção desse dispositivo no Brasil, foram utilizados dados referentes a distâncias médias europeias.

O valor energético do processo de produção da bateria utilizado foi obtido em Majeau-Battez (2011), com valor de 80MJ/kg. Para esse estudo, consideraram-se os componentes da bateria descritos na Tabela 34.

Tabela 34: Componentes para a produção de 1kg de bateria de íon de lítio

Materiais	Quantidade	Unidade
Pasta do eletrodo positivo	0.250	Kg
Pasta do eletrodo negativo	0.080	Kg
Substrato do eletrodo negativo	0.036	Kg
Substrato do eletrodo positivo	0.00001	Kg
Eletrólito	0.120	Kg
Separador	0.033	Kg
Recipiente	0.200	Kg
Embalagem	0.170	Kg
Sistema de gestão da bateria	0.020	Kg
Eletricidade	27	MJ
Óleo combustível	2.900	MW
Gás natural	22	kW

Fonte : Baseado em Faria (2013) *apud* Souza (2015).

O processo de montagem dos elementos de uma bateria de íon de lítio possui um alto consumo energético. O processo inicia-se com a montagem da célula da bateria, que inclui a preparação do eletrodo e de seu revestimento, a calandragem dos materiais (passagem das lâminas sob rolos de alta pressão e temperatura), assim como o corte e a secagem (Dunn, *et al.*, 2012 *apud* Souza, 2015).

Os componentes necessários para o processo de montagem de 1 kg de uma bateria de íon de lítio estão na Tabela 35.

Tabela 35: Componentes do processo de montagem da bateria ion de lítio

Materiais	Quantidade	Unit
Pasta do eletrodo positivo	0.250	kg
Pasta do eletrodo negativo	0.080	kg
Substrato, eletrodo positivo	0.036	kg
Substrato, eletrodo negativo	0.083	kg
Eletrólito	0.012	kg
Separador	0.033	kg
Recipiente celular	0.200	kg
Módulo da bateria e embalagens	0.170	kg
Sistema de gestão da bateria	0.020	kg

Fonte: Elaboração própria baseado em Faria (2013) *apud* Souza (2015).

A fase de uso do veículo elétrico consiste no mecanismo de carregar e descarregar a bateria e está ligada diretamente à distância percorrida pelo veículo, pelas perdas nas formas adicionais do sistema de transmissão e distribuição, além do gasto com mecanismos do automóvel, como por exemplo, aquecimento, ventilação e som (Çağatay *et al.*, 2011 e Majeou-Bettez *et al.*, 2011 *apud* Souza, 2015).

O consumo de combustíveis de automóveis é influenciado pela combinação dos percursos entre áreas urbanas e estradas. No estudo realizado por Souza (2015) foi considerado uma média de 55% de uso em áreas urbanas e 45% fora dessas áreas.

A recuperação e reciclagem de materiais da bateria têm aumentado significativamente devido ao elevado custo da matéria-prima para a produção. Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos prevê a logística reversa que obriga as empresas a se responsabilizarem pelo ciclo de vida de seus produtos e serviços, medida adotada também em diversos países.

O transporte utilizado para o trajeto desde o depósito até a planta de reciclagem foi estimado em uma distância total de 151,5 km. Supõe-se que será utilizado um caminhão de médio porte, que irá operar com 50% de sua capacidade. A Tabela 36 apresenta um resumo dos requisitos de transporte estimados para a reciclagem de cada bateria.

Tabela 36: Fase do transporte da reciclagem

Fase Transporte		Unidade
Uso final - Centro de coleta - Depósito	1,5	km
Depósito - Planta de reciclagem	150,0	km
Consumo do caminhão	5,6	km/l
Consumo total do caminhão	27,0	L
Consumo total para 1 bateria	5,6	L

Fonte: Elaboração própria baseado em Souza, (2015).

A hidro metalurgia é um ramo da metalurgia extrativa em que os metais são tratados com uma solução aquosa. Esse processo consiste em recuperar os metais das baterias no processo de reciclagem através da moagem e imersão dos componentes numa solução aquosa.

Os processos hidro metalúrgicos fornecem metais com alta pureza. Além disso, é um processo eficiente em termos de energia e não emissão de dioxinas. A Tabela 37 apresenta os dados do processo hidro metalúrgica para a reciclagem da bateria de íon de lítio.

Tabela 37: Inventário da reciclagem da bateria de íon de lítio

Processo hidra metalúrgico para as baterias íon de lítio		
	Quantidade	Unidade
Entradas		
<i>Insumos de Matéria Prima</i>		
Resíduos de bateria	1000	kg
Reagentes	25	kg
Consumo de eletricidade		
Eletricidade (mix Brasil)	140	kWh
Consumo de água		
Água industrial	0,72	m ³
H ₂ SO ₄ (92%)	126	L
Processo hidra metalúrgico para as baterias íon de lítio		
	Quantidade	Unidade
Cal	116	kg
Saídas		
<i>Saídas do produto</i>		
Sal de Cobalto (as CoCO ₃) para produzir de Co (Co=180)	340	kg
Sal de Li (Li ₂ CO ₃) para Produzir Li (Li=30)	198	kg
Ferro e aço para indústria de aço	165	kg
Produtos não ferrosos	150	kg
Fluxo		
<i>Emissões para o ar</i>		
SO ₂	4,5	g
VOC	2,5	g
<i>Efluente</i>		
Sólido em suspensão	12	g

DBO	30	g
HC	0,01	g
Cu+Co+Ni	0,05	g
Fluoride	0,03	g
Água de esgoto	337	kg
<i>Resíduos sólidos</i>		
Papel e plástico	130	kg
Resíduo para o aterro	202	kg
Gesso para o aterro	339	kg

Fonte: Elaboração própria baseado em Recupyl (2015) *apud* Souza (2015).

2.3.4 Análise dos resultados

Em relação ao ICV do veículo-tipo, não há comparações a serem realizadas, tendo em vista que se adotou o mesmo automóvel tipo em função da não disponibilização dos dados dos veículos fabricados pela Nissan (Leaf e Sentra). Sendo assim, a comparação desses veículos resume-se ao acréscimo da bateria de íon de lítio ao veículo elétrico e a fonte energética utilizada, gasolina e eletricidade.

No que diz respeito à energia consumida pelas duas tecnologias avaliadas, verificou-se que para o veículo convencional utiliza-se a gasolina com adição de 25% do etanol e para o elétrico, utiliza-se a energia elétrica. No entanto, o ICV da energia utilizada, demonstrou maior potencial de sustentabilidade na fase de uso dos veículos, tendo em vista que a matriz energética brasileira é composta por, aproximadamente, 89% de fontes renováveis (IES Brasil, 2015).

Sendo assim, por meio das entradas e saídas do sistema, o ciclo de vida do veículo a gasolina possui maior emissão de CO₂ do que o veículo elétrico. A emissão do veículo a gasolina corresponde a 0,229 kg CO_{2 eq.}/pass.km e a emissão do veículo elétrico corresponde a 0,118 kg CO_{2 eq.}/pass.km (Souza, 2015).

A Figura 47 apresenta as emissões de CO_{2eq.} referentes à produção e reciclagem do veículo-tipo, da produção da gasolina A, do etanol e do uso da gasolina C (25% Etanol Anidro + 75% Gasolina A), para o veículo a gasolina. Para o veículo elétrico, tem-se as emissões de CO_{2eq.} referentes à produção e reciclagem do veículo-tipo, da produção de eletricidade e da produção e reciclagem da bateria.



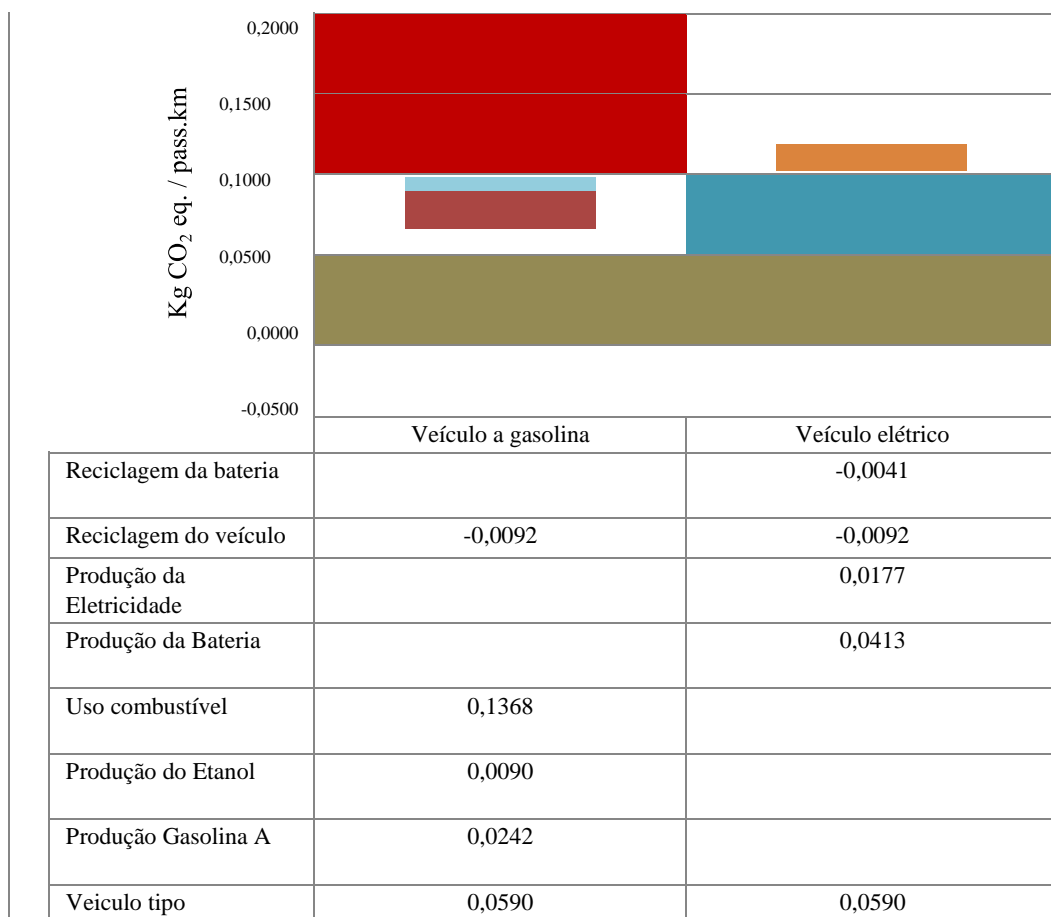


Figura 47: Emissão de CO₂ eq./pass.km do veículo a gasolina e elétrico. **Fonte:** Elaboração própria com base nos dados de Souza (2015)

A produção do automóvel tipo corresponde a cerca de 25% das emissões totais de CO₂ eq./pass.km no ciclo de vida do veículo a gasolina e cerca de 50% para o veículo elétrico. A reciclagem na produção do veículo-tipo representa cerca de - 4% para o veículo a gasolina e -7,8% para o veículo elétrico.

A produção do combustível para o veículo a gasolina representa 14% do total das emissões de CO₂eq., esse resultado é menor que as médias mundiais, devido principalmente à adição de etanol ao combustível (25%), pois durante a etapa agrícola do etanol, ocorre a captura de CO₂. Para o veículo elétrico, a produção de eletricidade corresponde a apenas 15% da emissão total de CO₂eq. Além disso, a produção da bateria representa 35% e sua reciclagem - 3,5%.

2.4 Custos comparativos entre os veículos convencional e elétrico

Com base nos dados de autonomia dos veículos testados, identificou-se o custo de abastecimento\carregamento, considerando a aquisição de combustível e energia elétrica (Tabela 38).

Além disso, realizou-se o levantamento do custo de aquisição dos veículos testados (Tabela 39).

Tabela 38: Custo do combustível / energia elétrica.

Tarifa/Preço	Valor [R\$]
Tarifa Residencial [kWh]	0,544
Bandeira Vermelha/kWh	0,045
Tarifa Verde FP [kWh]	0,370
Gasolina/l	3,790

Fonte: Elaboração Própria

Optou-se por utilizar duas tarifas de energia, tarifa residencial e tarifa verde, que é utilizada por grandes consumidores. Considerou-se para tarifa verde valores sem incidência de faturamento de demanda, pois se adotou a premissa de esses veículos seriam abastecidos durante a noite.

A tarifa de energia não considera os impostos e pode ser verificada no site da Companhia responsável pela distribuição de energia elétrica na Cidade do Rio de Janeiro, Light Serviços de Eletricidade. Quanto ao custo da bandeira aplicada à cada kWh consumido, esta foi identificada por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que é o órgão regulador do serviço de distribuição elétrica no Brasil. Os impostos são inseridos posteriormente elevando os valores em 26,25% (LIGTH, 2015).

É oportuno ressaltar que o uso de energia elétrica para o veículo elétrico ainda não está regulamentado no Brasil, por isso, este estudo supõe o valor da tarifa residencial e vermelha (grande consumidor).

Para o preço aplicado à gasolina, considerou-se o valor fornecido pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), consultada em dezembro de 2015 (ANP, 2015).

Quanto ao preço de aquisição dos veículos, tendo em vista que o Nissan Leaf não é comercializado no Brasil, optou-se por utilizar uma única fonte de consulta para os veículos testados, sendo assim, baseou-se em informações fornecidas pelo *U.S. Department of Energy* (2015), realizada por meio da internet, em dezembro de 2015. É oportuno ressaltar que não foram considerados os impostos relativos à importação dos veículos.

Tabela 39: Valor de aquisição dos veículos testados (ano base 2015).

Veículo	Preço [U\$]⁵	Preço [R\$]
Nissan Leaf	\$32.065,00	R\$ 123.129,60
Nissan Sentra (valor mínimo)	\$16.530,00	R\$ 63.475,20
Nissan Sentra máximo)	\$20.720,00	R\$ 79.564,80 (valor

Fonte: Elaboração Própria

⁵ Cotação do dólar em 11/12/15 (R\$ 3,84). Valor obtido por meio do site do Banco Central do Brasil.

Tendo em vista que o ano de fabricação dos veículos testados é inferior ao ano de fabricação do veículo que serviu de base para o levantamento do custo de aquisição, adotou-se as seguintes premissas:

- As eficiências energéticas identificadas por meio do teste de campo realizado são 74% e 53% menor para o veículo convencional e alternativo, respectivamente, do que as eficiências energéticas verificadas em Nissan (2011), para os veículos testados no modo D, na condição do condicionador de ar desligado.
- Com base em *U.S. Department of Energy* (2015), houve aumento de eficiência energética, em função do tempo, considerando as duas tecnologias testadas (convencional e alternativa) de 21% para o veículo convencional e 15,8% para o veículo elétrico. Tal premissa foi adotada com base nas informações fornecidas em Nissan (2011), onde foi possível obter as informações de rendimento médio dos veículos do ano de 2010 e 2015 para o Nissan Sentra e de 2011 e 2015 para o Nissan Leaf.

Sendo, foi possível elaborar seis cenários diferentes, considerando uma quilometragem diária diferente, para cada uma das tecnologias testadas, sendo que para o Nissan Sentra, adotou-se também a possibilidade de aquisição do veículo considerando o valor mínimo e pelo valor máximo, identificados e considerando o custo da energia utilizada (Figura 48).

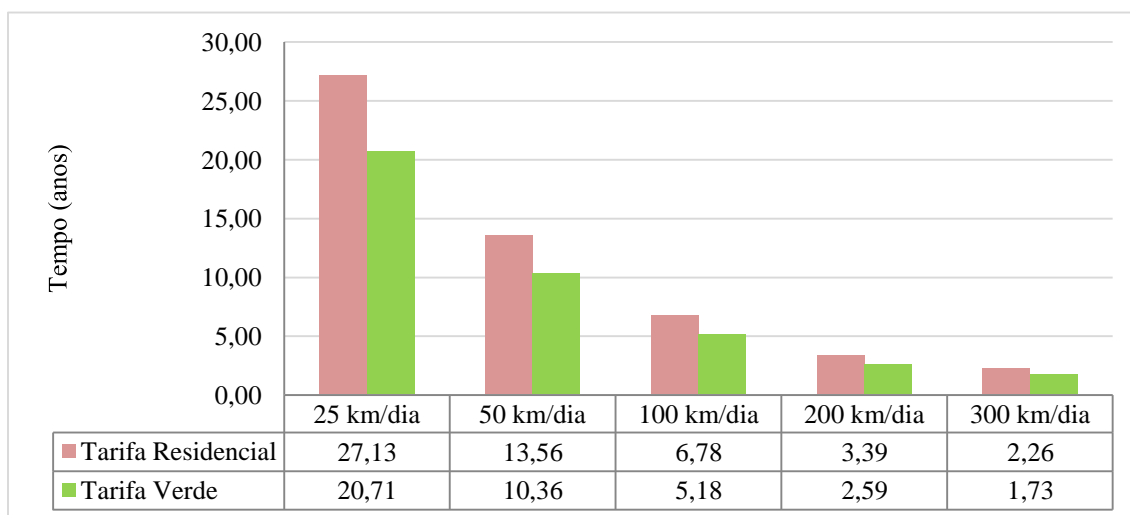


Figura 48: Tempo de retorno com relação ao custo do combustível.

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados demonstram que no cenário de utilização de 50 km/dia⁶, o valor pago a mais pela tecnologia elétrica seria ressarcido em aproximadamente 10 anos e meio, considerando a tarifa verde e em até 13 anos, considerando a tarifa residencial. É oportuno ressaltar que os valores considerados correspondem ao ano de 2015.

Os resultados demonstram que quanto maior a quilometragem diária percorrida pelos veículos, mais rápido o valor pago à maior pela aquisição do veículo elétrico se tornará

⁶ Segundo o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 tem-se a média de uso do automóvel de 55 km/dia (MMA, 2013).

equivalente ao valor de aquisição do veículo convencional. Isso se levando em conta apenas o valor do combustível, se comprado à energia elétrica.

Logo uma alternativa seria adotar uma medida de isenções fiscais que fosse capaz de reduzir o custo de aquisição do veículo, assim o retorno da diferença entre os veículos se daria mais rapidamente.

Outros benefícios poderiam ser alcançados levando em consideração a manutenção dos veículos, porém não foram levantados para este estudo, haja vista que, não existe uma tabela de valores de manutenções obrigatórias para o Nissan Leaf em território nacional.

2.5 Conclusão

No que diz respeito ao teste comparativo entre o veículo equipado com o sistema de propulsão elétrico e o veículo equipado com o sistema de propulsão convencional (motor de combustão interna (MCI) + sistema de transmissão mecânico (STM)) verificou-se que a substituição de veículos convencionais por veículos elétricos pode ser adequada quando se considera nula a emissão de CO₂ de uso final para o veículo elétrico e sua maior eficiência energética, com ou sem condicionador de ar ligado.

Quanto ao estudo sobre a introdução dos veículos elétricos no Brasil, as estimativas demonstram que os 4 cenários estabelecidos apresentam grande potencial quanto à utilização de energia renovável, no entanto, serão dependentes de fontes de energia diferentes.

No caso do Cenário 1, estima-se que este seja dependente do etanol, que apesar de ser uma alternativa limpa e renovável, sua produção necessita de grandes extensões de terras para o plantio de matéria-prima, que poderiam ser destinadas à produção de alimento para consumo nacional ou exportação.

Para o cenário 2, estima-se que seja o mais equilibrado no que diz respeito a dependência da energia elétrica e dos combustíveis explorados neste estudo (etanol e gasolina). Diante das vantagens e desvantagens do uso intensivo do etanol e da energia elétrica, este parece ser o cenário mais apropriado para sustentabilidade socioambiental nas atividades de transporte de passageiros (individual) no Brasil.

Para os Cenários 3 e 4, estima-se uma dependência maior da energia elétrica, que no caso específico do Brasil, trata-se de uma fonte majoritariamente renovável e não poluente. No entanto, as instalações das hidrelétricas causam grande impacto ambiental e social, tendo em vista a necessidade de construção de barragens, que refreiam o curso dos rios e causam o alagamento de grandes áreas, que acabam por acarretar problemas à fauna e flora local. Além disso, é oportuno ressaltar que a oferta de infraestrutura para carregamento das baterias nas cidades e residências e a comercialização da energia elétrica necessária para abastecimento dos veículos podem representar uma barreira para implementação dessa tecnologia de forma imediata no Brasil.

No que diz respeito ao estudo sobre Inventário de Ciclo de Vida (ICV) dos veículos convencional e elétrico, verificou-se que em relação ao veículo adotado no estudo não há

comparações a serem realizadas, tendo em vista que se adotou o mesmo automóvel tipo em função da não disponibilização dos dados dos veículos fabricados pela Nissan (Leaf e Sentra). Sendo assim, a comparação desses veículos resume-se ao acréscimo da bateria de íon de lítio ao veículo elétrico e a fonte energética utilizada, gasolina e eletricidade.

No que diz respeito à energia consumida pelas duas tecnologias avaliadas, verificou-se que para o veículo convencional utiliza-se a gasolina com adição de 25% do etanol e para o elétrico, utiliza-se a energia elétrica. No entanto, o ICV da energia utilizada, demonstrou maior potencial de sustentabilidade na fase de uso dos veículos, tendo em vista que a matriz energética brasileira é composta por, aproximadamente, 89% de fontes renováveis (IES Brasil, 2015). Sendo assim, por meio das entradas e saídas do sistema, o ciclo de vida do veículo a gasolina possui maior emissão de CO₂ do que o veículo elétrico.

Quanto ao estudo sobre os custos comparativos entre os veículos convencional e elétrico, verificou-se que em um cenário de utilização de 50 km/dia⁷, o valor pago a mais pela tecnologia elétrica seria ressarcido em aproximadamente 10 anos e meio, considerando a tarifa verde e em até 13 anos, considerando a tarifa residencial.

Dessa forma, todos os estudos realizados demonstram as oportunidades e barreiras de implementação dos veículos elétricos no Brasil.

⁷ Segundo o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 tem-se a média de uso do automóvel de 55 km/dia (MMA, 2013).

3 SISTEMA DE COMPARTILHAMENTO DAS BICICLETAS

A Cidade Universitária da UFRJ ainda não possui um sistema de compartilhamento de bicicletas implementado, no entanto, já possui já cerca de 8km de ciclovias e 17 pontos de estacionamento para bicicletas (Figura 54).



Figura 49: Rede ciclovária e pontos de estacionamento de bicicletas da Cidade Universitária da UFRJ.

O projeto de implantação desse sistema apoia-se em um estudo realizado pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), para a Cidade Universitária UFRJ, que inclui o dimensionamento (número de estações e de bicicletas), localização das estações e sistema de controle operacional. O estudo propõe a aquisição inicial de 400 bicicletas, considerando uma ampliação gradual, conforme o crescimento da demanda.

Além disso, o projeto propõe a ampliação do número de estacionamento para bicicletas e prevê a criação de 12 novos pontos de estacionamento (totalizando 29 pontos), com capacidade para receber até 400 bicicletas (Figura 55). A maior estação de bicicletas ficará situada no terminal de integração do BRT, com espaço para abrigar 100 bicicletas e poderá ser utilizada por funcionários ou estudantes, sem qualquer custo.



Figura 50: Distribuição dos pontos de estacionamento para bicicletas na Cidade Universitária da UFRJ.

A fim de avaliar a aceitação do uso de bicicletas para circulação interna na Ilha do Fundão pelas pessoas que circulam na Cidade Universitária da UFRJ, realizou-se uma pesquisa cujo objetivo foi identificar o valor que o usuário estaria disposto a pagar e avaliar o grau de importância para a sua utilização, relacionado à alguns indicadores, são eles: ciclovia em bom estado, segurança pessoal, proximidade do bicicletário e gratuidade do serviço.

Como já havia sido realizada uma pesquisa, com o mesmo objetivo, em 2014 e esta obteve um número expressivo de respondentes (8.486), uma nova pesquisa foi realizada com o objetivo de atualizar a anterior. A nova pesquisa foi realizada no período de 10/05/2016 ao dia 16/06/2016, com os usuários do ônibus interno e Van (público alvo), pelos pesquisadores do Laboratório de Transporte de Carga (LTC), do Programa de Engenharia de Transporte (PET) da COPPE/UFRJ.

A Figura 55 apresenta os resultados das duas pesquisas, quanto à aceitação do uso de bicicletas para circulação interna na Ilha do Fundão.

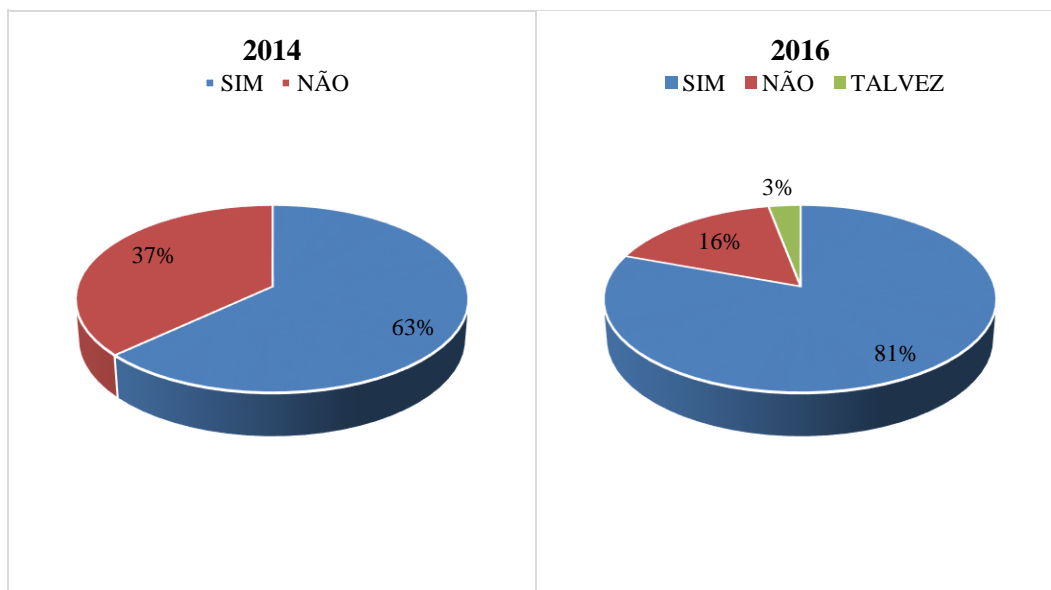


Figura 51: Distribuição percentual da opinião declarada do entrevistado sobre a utilização de um sistema de empréstimo para circulação interna na Ilha do Fundão **Fonte:** Elaboração própria

Observa-se que assim como na pesquisa anterior, a maior parte dos respondentes aceitariam utilizar a bicicleta, principalmente os respondentes da nova pesquisa, possuindo 28,6% a mais de aceitação, se comparado com a pesquisa anterior. Tal fato pode ser explicado pelo tipo da segunda pesquisa, que ao contrário da anterior (virtual), os pesquisadores foram *in loco* e entrevistaram usuários do ônibus interno e Van, que é o possível público alvo desse sistema.

A Figura 57 apresenta o grau de importância declarada os quatro indicadores questionados. Os resultados foram normalizados pelo indicador de maior valor. Verificase que o principal indicador é a segurança pessoal, seguido do estado de conservação da ciclovia, da proximidade dos bicicletários e por último da gratuidade do serviço.

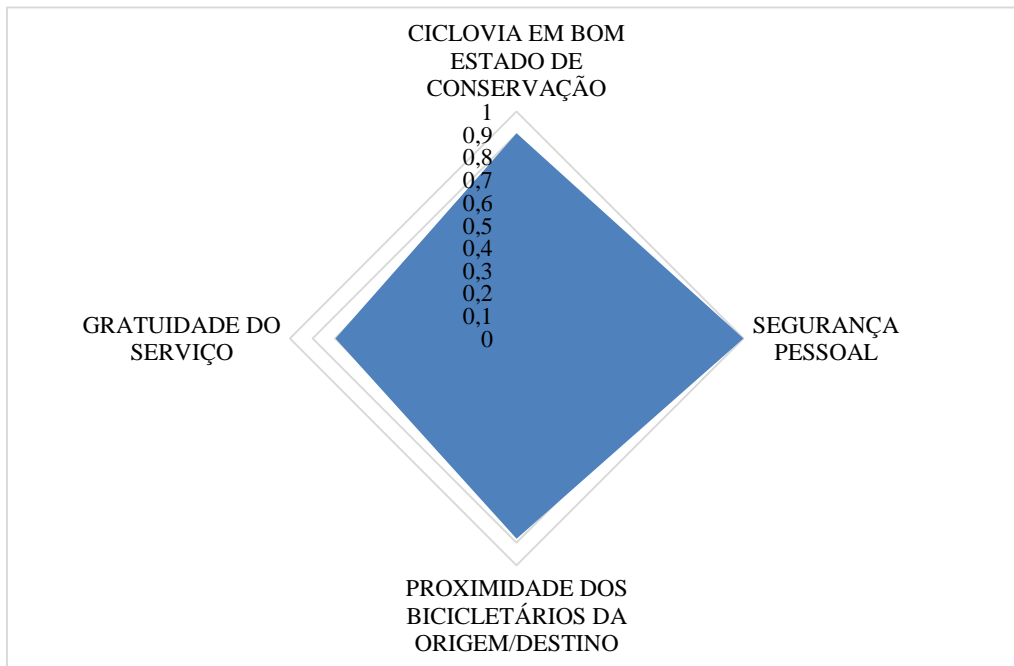


Figura 52: Comparação dos indicadores
Fonte: Elaboração própria

Tais resultados são similares aos encontrados na pesquisa de 2014 (Figura 58), que compara o grau de importância dos indicadores das duas pesquisas. Verificou-se que a gratuidade do serviço é o fator menos importante para a utilização do sistema.

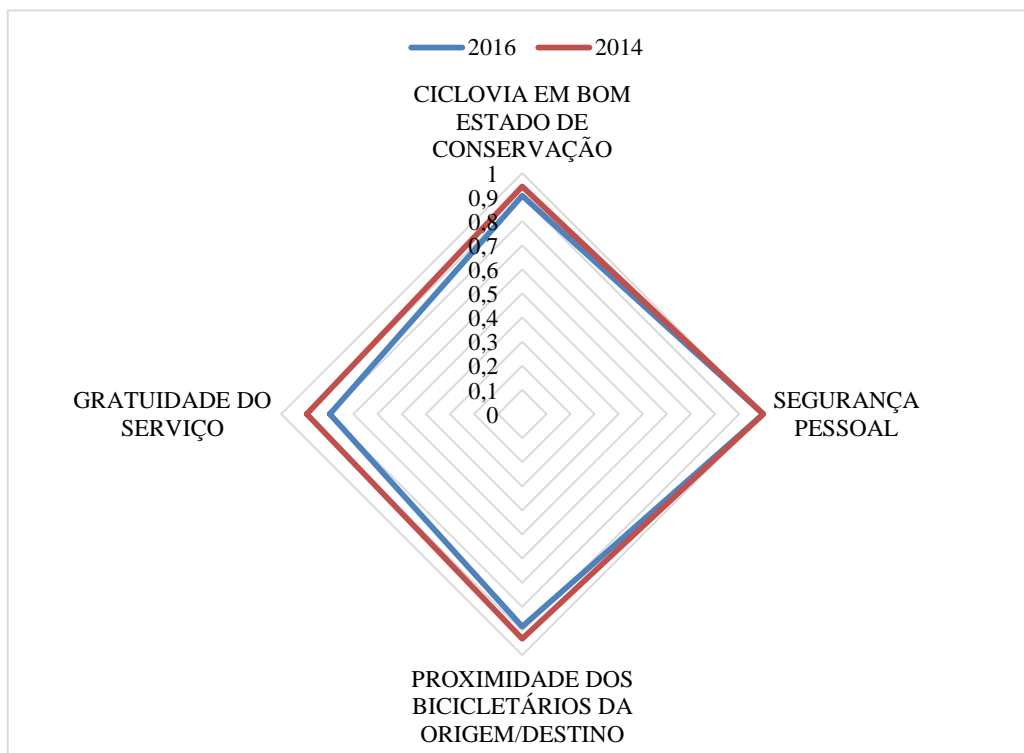


Figura 53: Comparação dos indicadores das pesquisas realizadas
Fonte: Elaboração própria

A Figura 59 apresenta os valores que os respondentes estão dispostos a pagar, caso o serviço ofertado atenda aos principais indicadores levantados.

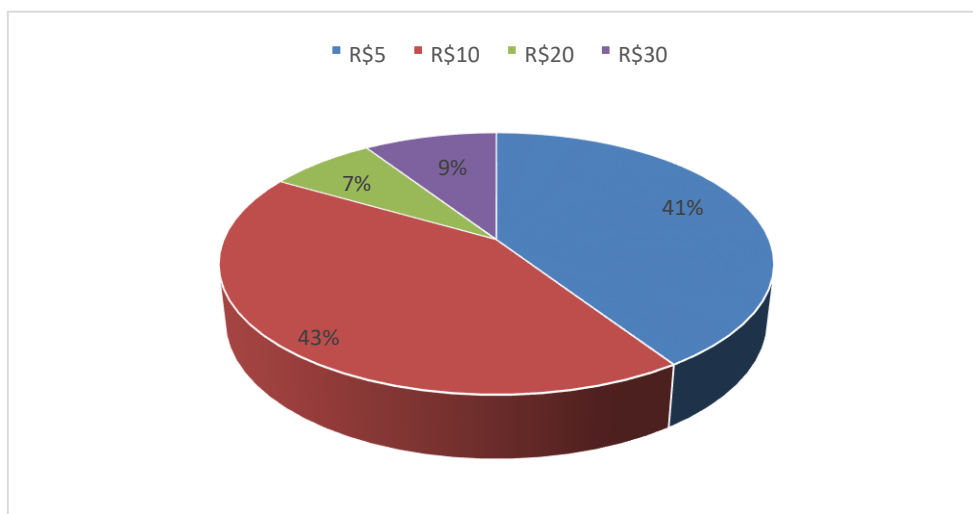


Figura 54: Mensalidade do Serviço

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que 84% dos entrevistados estão dispostos a pagar entre 5 a 10 reais por mês para utilizar o serviço.

O sistema de compartilhamento de bicicletas além de aumentar a mobilidade do campus, propiciará uma maior integração entre as unidades do mesmo, fazendo com que os usuários circulem mais e desfrutem de novas unidades dentro do campus.

Cabe ressaltar que as linhas do transporte interno da Cidade Universitária da UFRJ estão saturadas no horário de pico. Tendo em vista que cada ônibus interno da UFRJ emite cerca de 3757 kg de CO₂, por mês, tem-se então, uma possibilidade de evitar que novos ônibus sejam introduzidos no sistema de transporte da UFRJ.

4 SISTEMA DE COMPARTILHAMENTOS DE VEÍCULOS

Ao longo das últimas décadas, o *carsharing* tornou-se um modo de transporte habitual para mais de um milhão de usuários em todo o mundo. O princípio do *carsharing* é simples: indivíduos ganham os benefícios de um automóvel particular sem as responsabilidades e os custos da propriedade de carro.

O *carsharing* ou o compartilhamento de carros 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. Na América do Norte os melhores programas surgiram, na década de 1990, nos Estados Unidos, originários dos *station cars* (veículos nas estações de trem metropolitanas, utilizados por usuários do transporte coletivo) e no Canadá (Britton, 2000).

Nos últimos anos, o maior crescimento de operadores aconteceu principalmente na Europa e na América do Norte, mas hoje o sistema existe em outros locais, como: Japão, Austrália, Nova Zelândia, Singapura, Coréia, China e no Brasil (São Paulo).

O *carsharing* é mais comum em áreas urbanas, onde alternativas de transporte são facilmente acessíveis. Em algumas partes do mundo, particularmente na América do Norte, o *carsharing* vem expandindo para áreas mais periféricas e vem sendo implantado em diversos campos universitários. (Shaheen, Cohen, e Chung 2009; Shaheen, Cohen e Martin 2010).

Estudos realizados demonstram que o *carsharing* é mais eficaz e atrativo quando visto como um “elo” entre o transporte público e o carro privado, uma vez que pode ser integrado a outros meios de transporte e serviços por alianças estratégicas de mobilidade. Os outros modos são compatíveis com a maioria das viagens, mas ainda pode haver viagens que requerem exclusivamente o automóvel e o carro compartilhado pode suprir essas necessidades. Estudos norte-americanos recentes indicaram que cada carro compartilhado remove entre 9 e 13 automóveis privados das ruas (Shaheen, Cohen e Martin 2010, Shaheen e Chan 2015).

Essa combinação de modos pode acontecer da seguinte maneira: para longas distâncias, usa-se um veículo privado, avião, trem, ônibus, ou carro alugado; para distâncias curtas, pode-se caminhar, pedalar ou pegar um taxi; já para viagens médias, ou até atividades de rotina, necessidades ocasionais por um veículo e situações pontuais, pode-se usar um automóvel compartilhado como um elo entre os diferentes modos de transporte, conforme ilustrado na Figura 60.

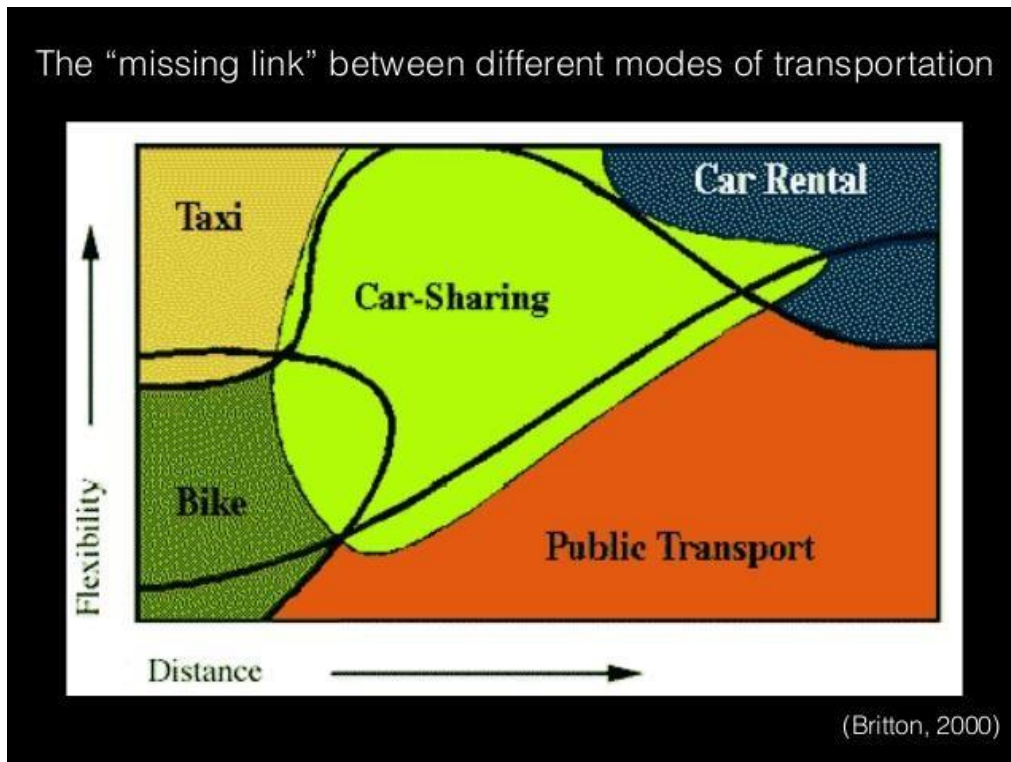


Figura 55: Integração do *carsharing* aos modos de transporte

Fonte: Guyader, 2015

Os modelos de *carsharing* podem ser resumidos, conforme proposto Shaheen *et al.* (2015), em:

- *Round-trip carsharing* (ida e volta): usuário retorna o automóvel para o mesmo estacionamento de onde o retirou e o pagamento é efetuado com base nas horas utilizadas.
- *One-way carsharing* (um trajeto, com fim indeterminado): pode retirar o veículo em uma estação e devolvê-lo em outra. O veículo não tem localização fixa, por mais que seja retornado ao mesmo local após o uso e o pagamento é efetuado com base nos minutos utilizados.
- *Peer-to-peer carsharing*: os proprietários de automóveis disponibilizam seus veículos próprios para sistema de compartilhamento de veículos que é gerenciado por um operador específico.

Outros autores (GIZ, 2014) classificam em:

- *Station-based*: *carsharing* com estações fixas para retirada ou devolução do veículo;
- *Free-floating*: usuário pode retirar e devolver o veículo em qualquer estacionamento legal e o pagamento é efetuado com base nos minutos utilizados;
- *Peer-to-peer carsharing*.

Em cada local o sistema apresenta características que variam de acordo com o padrão econômico, tecnológico e de urbanização, além do perfil social das comunidades em questão, mas sempre inspiradas pelas preocupações com a dependência dos automóveis e com impactos negativos dos carros nas cidades.

Inúmeros modelos de negócios envolvendo *carsharing* vêm crescendo ao redor do mundo, com foco em: business comercial; condomínios residenciais ou comunidades vizinhas; frotas governamentais e corporativas; campi universitários e faculdades; e compartilhamento de veículo próprio. Os operadores podem ser privados, como empreendimentos comerciais (a maioria) e variam entre esquemas de comunidade, com poucos veículos, e organizações locais, nacionais ou internacionais, com milhares de membros. Ou públicos, sem fins lucrativos, administrados e desenvolvidos por voluntários ou agências e autoridades de transporte.

Desde que foi implantado, com um conceito basicamente comercial e empresarial, até atualmente, quando é visto como um modal de transporte urbano complementar ao transporte público, o *carsharing* apresentou um crescimento significativo em vários países. A destacar que o desenvolvimento das tecnologias, principalmente as de informação, teve impacto nos operadores, permitindo seu crescimento e incentivando a adesão de novos clientes (flexibilidade e conveniência). Estudos recentes, realizados por Shaheen e Cohen (2015), da Universidade da Califórnia, Berkeley, apresentam dados bastante expressivos sobre o crescimento do *carsharing* no mundo e na América do Sul, conforme Figuras 61, 62, 63 e 64. A destacar, o potencial de crescimento para *carsharing* na América do Sul conforme indicado nas Figuras 62 e 63.

Segundo Shaheen e Cohen (2015), o crescimento no número de membros despertou o interesse de tomadores de decisão e operadores de transporte para compreender efeitos e benefícios do sistema e fez com que muitas agências governamentais e entidades privadas disponibilizassem recursos financeiros para promover o uso compartilhado de veículos.

Outra questão relativamente recente é a participação das montadoras de automóveis na inovação do *carsharing*, proporcionando um serviço parecido: o short-term rental (aluguel de curto prazo). Esse programa já está disponível em várias cidades da Europa, Estados Unidos e Canadá (Silva, 2015).

Growth of Worldwide Carsharing

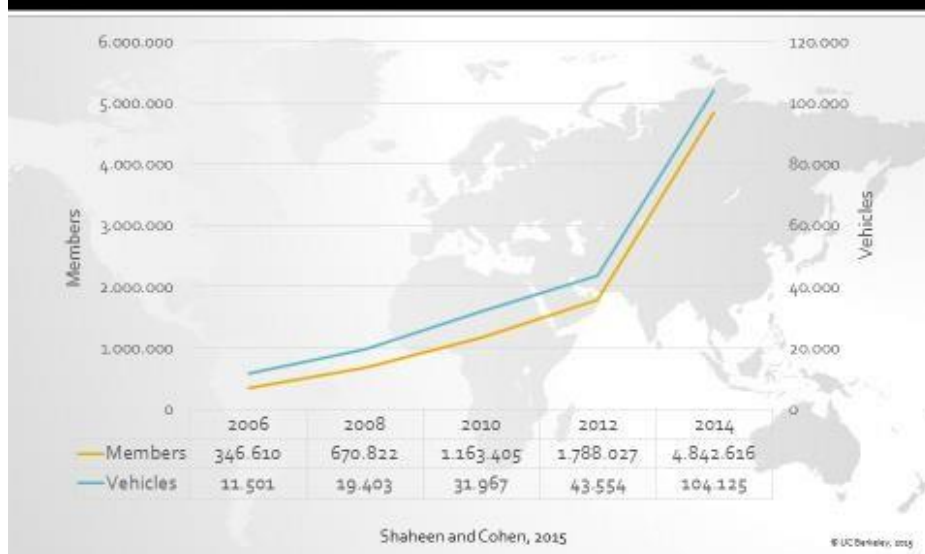


Figura 56: Crescimento de *Carsharing* no mundo
Fonte: Shaheen e Cohen, 2015 – Universidade da Califórnia, 2015

2014 Membership: One-Way & Roundtrip



Figura 57: Membros de *Carsharing* no mundo
Fonte: Shaheen e Cohen, 2015 – Universidade da Califórnia, 2015

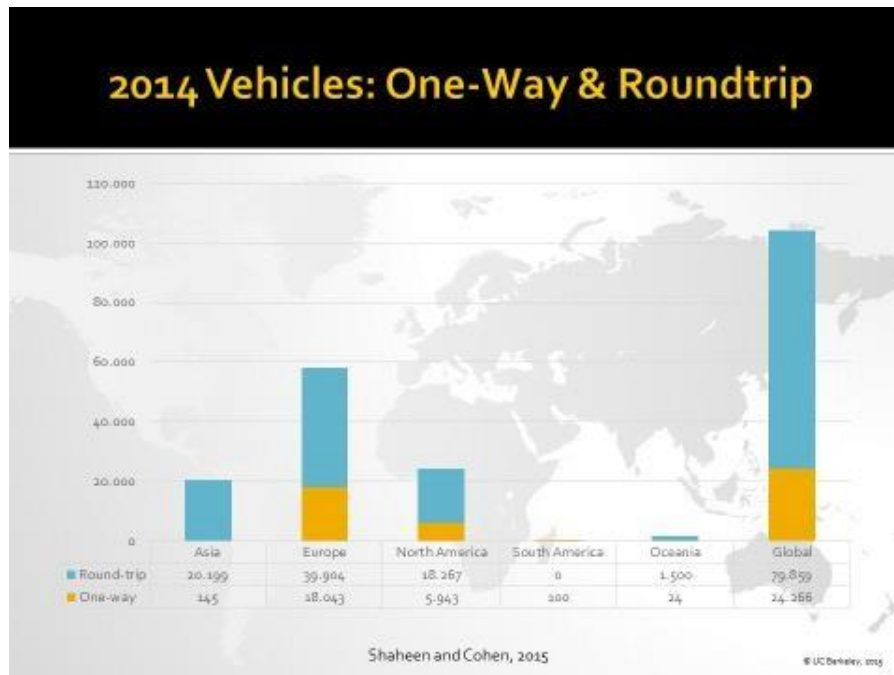


Figura 58: Veículos de *Carsharing* no mundo
Fonte: Shaheen e Cohen, 2015 – Universidade da Califórnia, 2015

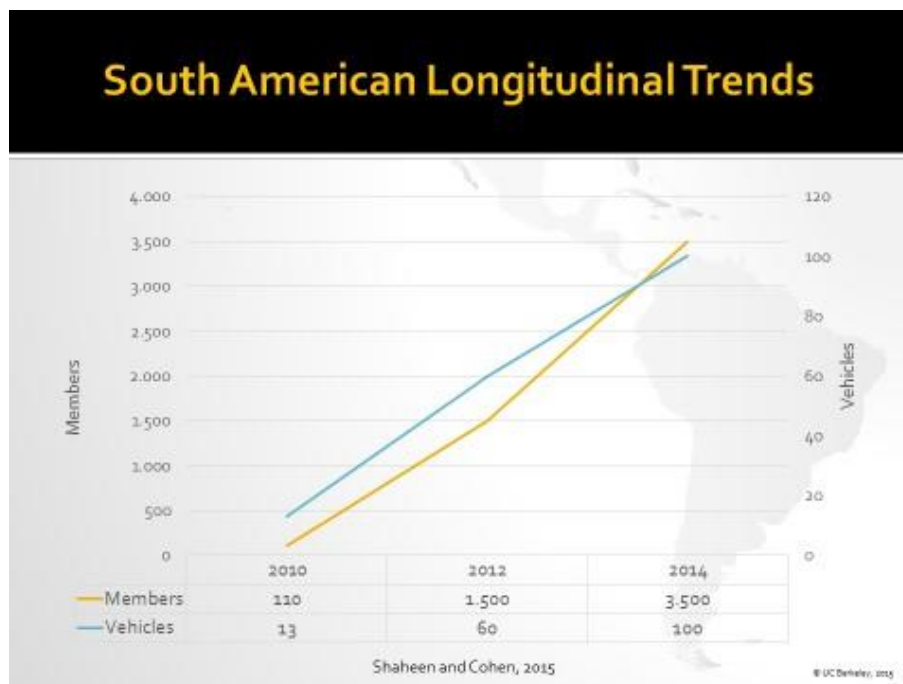


Figura 59: Tendências para *Carsharing* na América do Sul
Fonte: Shaheen e Cohen, 2015 – Universidade da Califórnia, 2015

Cabe ressaltar que na literatura internacional, há certa ambiguidade em relação ao significado do termo *carsharing*, devendo-se ter cuidado para distingui-lo de *ridesharing* (carona): *carpooling* (muitas vezes referido também como *carsharing*), *hitch-hiking*, *vanpools*, e projetos similares onde o veículo pode ser compartilhado por algum tempo, mas onde a propriedade e o controle da direção permanecem inalterados.

Dada a necessidade de definição de conceitos claros e consistentes para a área de mobilidade compartilhada, foi publicada por Shaheen *et al.* (2015), do Centro de Pesquisa de Sustentabilidade em Transporte (Universidade da Califórnia, Berkeley), em novembro de 2015, um estudo que contemplou um glossário de termos, do qual foram extraídos alguns exemplos, como mostrado na Tabela 40, a seguir.

Tabela 40: Termos utilizados na mobilidade compartilhada

Termo em Inglês	Definição
<i>Carsharing</i>	Programa onde pessoas tem acesso temporário a um veículo sem os custos e responsabilidades de propriedade. As pessoas têm acesso aos veículos por meio de adesão a organizações que mantem uma frota de carros distribuída em locais pré-determinados dentro de bairros, estações de transporte público, grandes empresas e faculdades/universidades. Em geral, o operador de <i>carsharing</i> fornece seguro, gasolina, estacionamento e manutenção. Os participantes pagam uma tarifa pelo tempo de uso do veículo.
<i>Ridesharing: Carpooling and Vanpooling</i>	<i>Ridesharing</i> facilita o compartilhamento do veículo entre motoristas e passageiros com origem e destino semelhantes. <i>Vanpooling</i> corresponde ao conjunto de passageiros (7-15) que dividem os custos operação da van, podendo dividir a responsabilidade de dirigir.
<i>Ridesourcing/TNCs</i>	Serviços de <i>ridesourcing</i> (também conhecido como <i>transportation network companies</i> – TNC) fornecem serviços pré-agendados ou <i>on-demand</i> com ressarcimento e que conecta motoristas em veículos pessoais com passageiros. São utilizados aplicativos de smartphones para reserva, calculo da tarifa (para motoristas e passageiros) e pagamento eletrônico. Há uma variedade de tipos de veículos que podem ser oferecidos por esses serviços, incluindo sedan, utilitários esportivos, veículos com assentos especiais, veículo com acesso para cadeira de rodas, onde o motorista pode dar assistência a pessoas idosas e incapacitadas.
<i>Ridespliting</i>	Uma forma de <i>ridesourcing</i> onde os passageiros com origem e destino similares são direcionados para o mesmo motorista de TNC, em tempo real, com os custos da corrida divididos pelos usuários.

Fonte: Elaboração própria

A prática de *Carpooling*, muito difundida nos países da Europa e nos Estados Unidos está aumentando consideravelmente nos últimos anos no Brasil, com o uso de aplicativos para *Iphone* e *Android* e com a difusão de inúmeras plataformas web (ou sites na internet) que permitem a quem procura por uma carona e a quem possa oferecê-la, que entrem em

contato entre si e possam definir melhor os detalhes da organização da viagem, seja essa ocasional ou continuada. Essas ferramentas permitem superar um dos maiores obstáculos da prática generalizada de *Carpooling*, a natural desconfiança em compartilhar uma carona com estranhos. Graças a um sistema de comentários presentes nesses dispositivos, é possível saber com antecedência o comportamento habitual do seu provável companheiro de viagem, tornando mais fácil superar a desconfiança e aceitação da viagem compartilhada (<http://www.papelsemente.com.br/blog/por-dentro-do-carpooling-compartilhando-o-proprio-carro-ajudando-o-ambiente#sthash.wW8HRLVJ.dpuf>).

Esta modalidade de transporte é apropriada para grandes empresas bem como para faculdades/ universidades, onde diferentes pessoas, que percorrem o mesmo caminho e no mesmo horário, podem ser incentivadas a viajar juntas.

O surgimento recente dos serviços de transporte individual de passageiros (*serviços ondemand* baseado em aplicativos) provocou intenso debate em torno dos regulamentos e práticas que ao longo dos anos nortearam os serviços de transporte individual de passageiros. A literatura internacional refere-se a estes serviços como serviços de *ridesourcing* (Shaheen *et al.* 2013, 2014, 2015) ou serviços realizados por *transportation network companies* (TNC). De acordo com os autores, eles optaram por se referir a estes serviços como *ridesharing* porque associa o termo à tecnologia – uma plataforma digital utilizada como fonte (source) de caronas (*ride*) para um pool de motoristas.

Ao aproveitar os avanços da tecnologia, essas empresas prometem aumentar a confiabilidade dos serviços e reduzir os tempos de espera no transporte ponto a ponto o papel, e contribuir para uma mobilidade urbana mais sustentável.

Os serviços são tarifados de forma variável, em função da distância e da demanda e aproximadamente 80% do valor cobrado, vai para o condutor e 20% para o serviço de *ridesourcing* (Shaheen e Christensen, 2014). De modo geral, os aplicativos mantem um sistema de avaliação que permite que motoristas e passageiros avaliem um ao outro, depois de concluída a viagem.

Ridesourcing tem raízes no *ridesharing* (carona solidária) e apresenta semelhança com os serviços de táxis tradicionais. Embora a diferença entre eles não seja absolutamente clara, algumas diferenças podem ser apontadas:

- *Ridesharing* (carona solidária) envolve um grupo de passageiros em um veículo privado, cada um indo para um destino semelhante, tendo como objetivo de reduzir congestionamentos, custos de viagem, consumo de combustível e emissões dos veículos;
- Os motoristas de *ridesourcing* não compartilham o destino com os passageiros e a motivação do motorista é o ressarcimento do serviço prestado;
- *Ridesourcing* se aproxima mais de *ridesharing* (carona solidária) quando é permitido que passageiros não conhecidos possam compartilhar o trajeto;
- *Ridesourcing*, em seu estágio atual, se assemelha mais aos serviços de taxi, onde o motorista oferece uma corrida, em troca do pagamento da tarifa;

- Empresas de *ridesourcing* argumentam que se diferenciam dos taxis tradicionais por oferecerem serviços mais eficientes e confiáveis de plataformas de acesso e de mecanismos de preços, somado ao sistema de avaliação

O incremento dos serviços de *carsharing* e de *ridesharing/ridesourcing* implicará em ajustes nos modos de transporte, conforme sugerido na Figura 65.

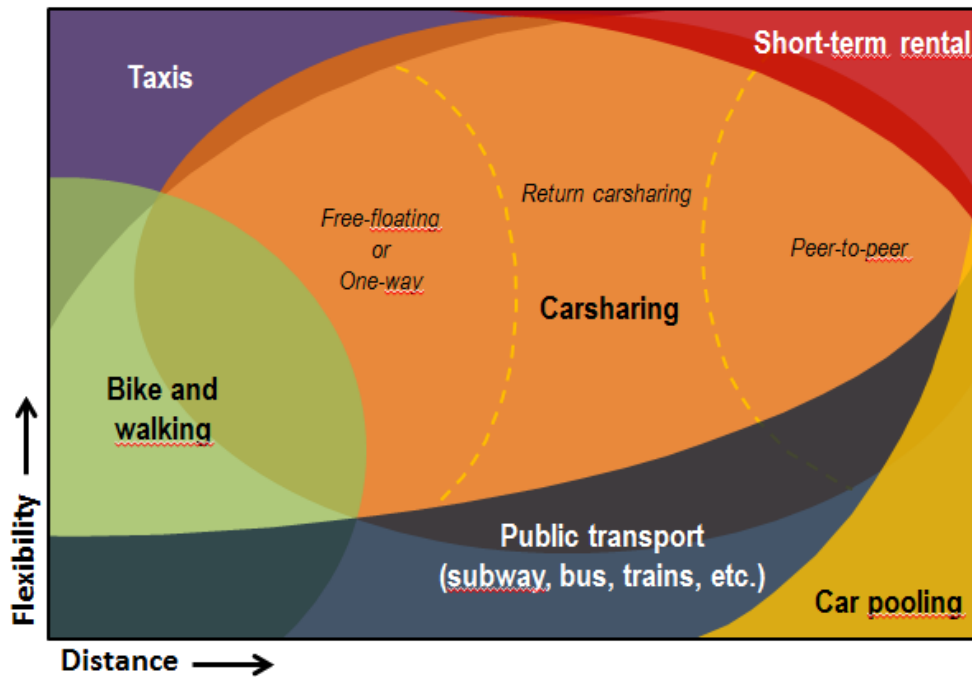


Figura 60: Modos de Transporte com o incremento de *Carsharing/Ridesourcing/Ridesourcing*

Fonte: Hugo Guyader, 2015

5 PROGRAMA DE APOIO À MOBILIDADE INTRACAMPUS

O programa de apoio à mobilidade intracampus, denominado "Programa de Mobilidade Fundo Verde - UFRJ", prevê a utilização de três veículos, sendo duas Jardineiras equipadas com o sistema de propulsão elétrico, similar a um veículo do tipo comercial leve, com capacidade para 23 pessoas e um veículo do tipo comercial leve, denominado de "Van", equipado com o sistema de propulsão convencional (MCI + STM), com capacidade para 15 pessoas, que circularão pelo campus em diferentes horários (Figura 49).



Figura 61: Veículos de apoio ao “Programa de Mobilidade Fundo Verde – UFRJ” – à esquerda a Jardineira e à direita à Van.

Com rotas diferenciadas, as jardineiras percorrem o trajeto mais curto, ligando o Parque Tecnológico à Reitoria e ao Centro de Tecnologia, enquanto a Van liga os principais centros da Cidade Universitária à estação do BRT, partindo também do Parque Tecnológico. A Van já está em circulação e foi destinada a suprir a demanda de transporte interno, das 8:00 h as 17:00 h, ligando os principais centros da Cidade Universitária à estação do BRT, considerando também, pontos de saída do Parque Tecnológico (Figura 50).



Figura 62: Principais pontos de parada da Van

As jardineiras serão destinadas a suprir a demanda das 11:00 h às 18:00 h, ligando o Parque Tecnológico à Reitoria e ao Centro de Tecnologia, no entanto, tais veículos estão em fase de licenciamento mediante órgão regulador do Estado do Rio Janeiro. A circulação desses veículos está prevista para iniciar em março de 2017.

A circulação da Van teve início no dia 1 de setembro de 2014 e foi monitorada diretamente, até o dia 6 de novembro de 2014. Em função de alguns problemas operacionais o monitoramento do número de passageiros só foi oficialmente iniciado no dia 15 de setembro de 2014. Neste período a van transportou mais de 3.762 passageiros e percorreu mais de 2.000 km.

Com a finalidade de entender a variação de demanda da van, realizou-se uma pesquisa de embarque e desembarque também conhecida como pesquisa “sobe e desce”. Esta pesquisa consiste na contagem do volume de passageiros que embarcam e desembarcam em cada parada do veículo de determinada linha.

Tal pesquisa é comumente realizada por meio de dois pesquisadores dentro de um mesmo veículo, cada um, localizado em uma das portas. O objetivo da pesquisa é o de identificar os pontos mais solicitados e a lotação do veículo durante o trajeto.

Como a pesquisa foi realizada na Van, necessitou-se apenas de um pesquisador. A pesquisa ocorreu durante os dias 10, 24, 26 e 31 de maio e 7, 8, 9, 14, 15, 16 de junho de 2016. A quantidade observada de embarque, desembarque e movimentação, ao longo do dia, pode ser observada nas figuras 50, 51 e 52.

Considerando o período da manhã, verificou-se que o ponto que possui maior embarque de passageiros é o da Estação do BRT, devido ao fluxo de alunos que chegam ao campus por meio desse sistema. Outros pontos que apresentaram grandes taxas de embarque tratam-se do alojamento e da COPPEAD. Quanto ao desembarque, quatro pontos se destacaram, são eles: Reitoria, CCMN, Letras/CT e Parque Tecnológico (Figura 51).

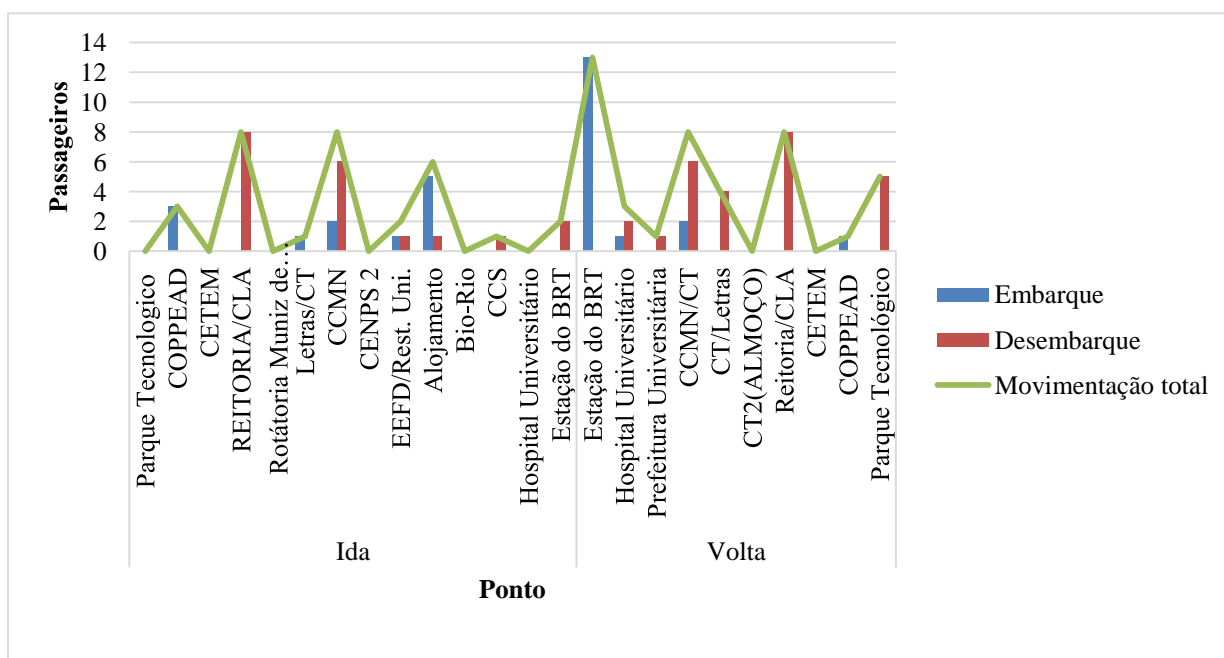


Figura 63: Embarque/Desembarque observados – Período da manhã

Fonte: Elaboração própria

Considerando o período após o almoço, verificou-se que o ponto que possui maior embarque de passageiros é o da estação do Estação do BRT e CCMN. Outros pontos que apresentaram grandes taxas de embarque foram Reitoria, Letras/CT e alojamento. Quanto ao desembarque, os pontos que se destacaram foram os que estão localizados próximos aos restaurantes da Cidade Universitária da UFRJ (EEFD, Letras/CT, Reitoria e Parque Tecnológico) (Figura 52).

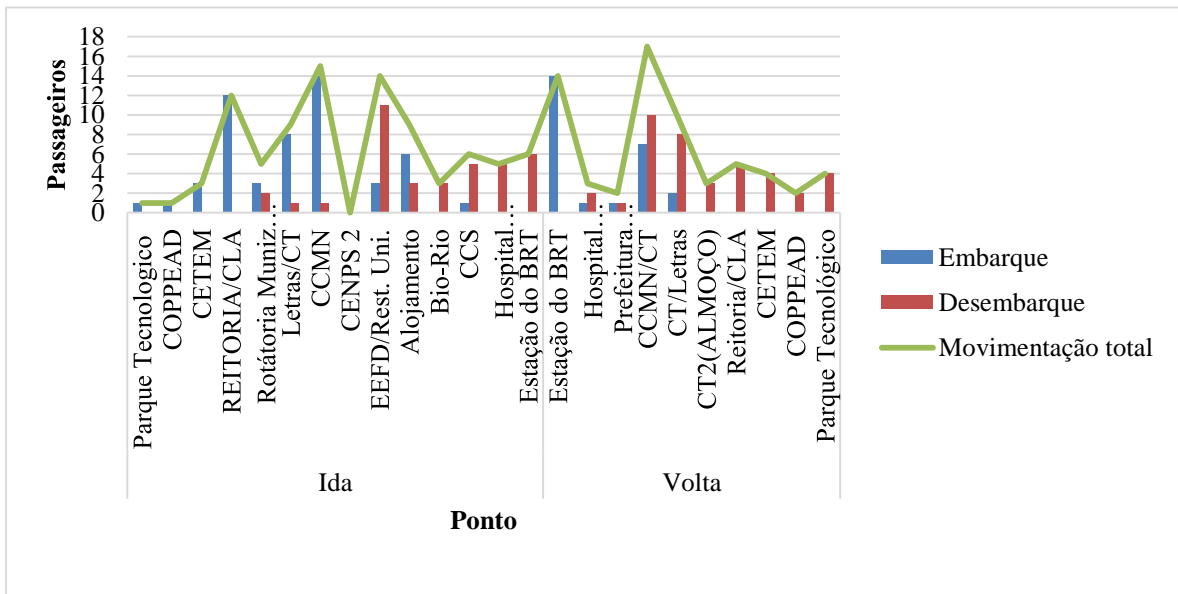


Figura 64: Embarque/Desembarque observados – horário do almoço
Fonte: Elaboração própria

Considerando o período da tarde, verificou-se que o ponto que possui maior embarque de passageiros é da Estação do BRT e o Letras/CT. Outros pontos que apresentaram grandes taxas de embarque foram Hospital Universitário e CCMN. Quanto ao desembarque, os pontos que se destacaram foram CCMN e Estação do BRT (Figura 53).

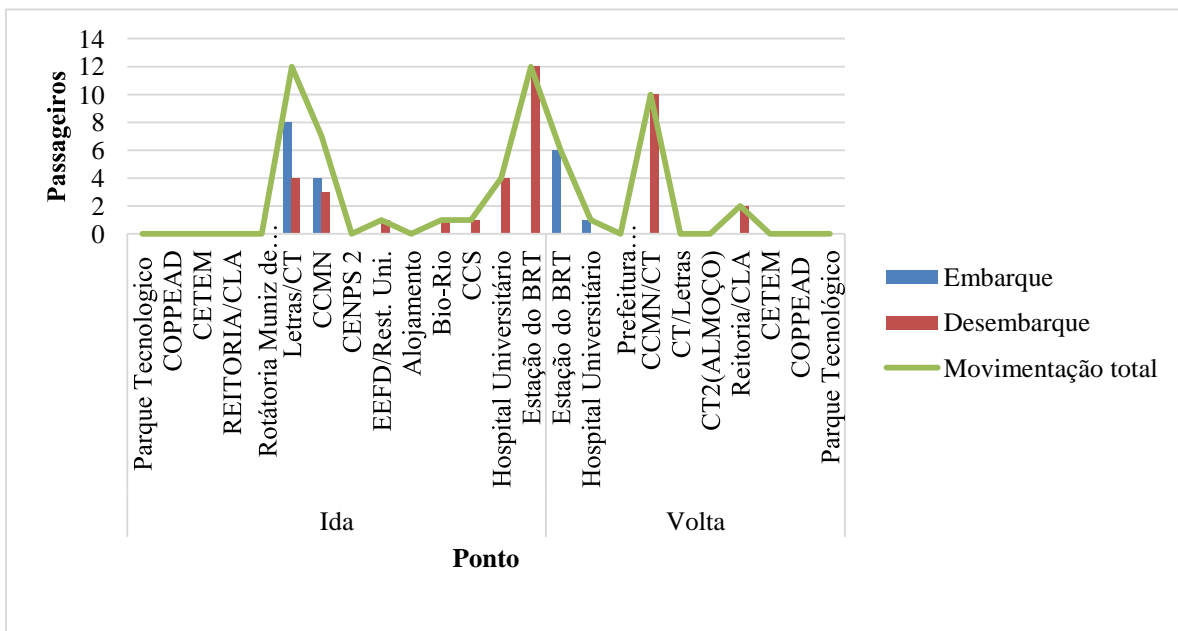


Figura 65: Embarque/Desembarque observados – Período da tarde
Fonte: Elaboração própria

Por meio da pesquisa do tipo “sobe e desce” na Van que faz parte do "Programa de Mobilidade Fundo Verde – UFRJ”, verificou-se que existe uma demanda reprimida no campus, e que esta serve como um suporte à mobilidade para atender as pessoas que

querem se locomover e não possuem opções para tal, principalmente no período do almoço.

No entanto, não foi possível avaliar o impacto de sua utilização no que diz respeito à redução das emissões de CO₂ no campus da UFRJ, uma vez que, não se pode identificar se houve substituição do automóvel ou ônibus interno da Universidade pela Van.

5.1 Benefícios e Impactos de *Carsharing*

Estudos de pesquisa recentes mostram que os benefícios individuais dos sistemas de *carsharing* estão relacionados à aceitação do modelo pelo usuário, o qual evita os gastos de aquisição, estacionamento, seguro e manutenção de um veículo, além de possibilitar a disponibilidade de uma ampla oferta de diferentes veículos.

O custo total de propriedade de um carro compreende os custos variáveis (combustível, manutenção, etc) e os custos fixos (preço de compra, seguro, etc), os quais correspondem a cerca de 60% dos custos totais, que independem de quanto o veículo é utilizado. Conseqüentemente, os proprietários de veículos privados tendem a viajar predominantemente de carro. A utilização do sistema de *carsharing* ao invés de veículos privados tende a deslocar a razão de custos em direção aos custos variáveis e com isto despesas totais relacionadas a transporte mudam de custos totais de propriedade para custos totais de mobilidade. Assim, os usuários do sistema de *carsharing* evitam os custos fixos de possuir um carro e tem acesso a veículos por meio de pagamento pelo uso, o que proporciona a oportunidade de economia de custos.

Impactos mais gerais estão relacionados à mudança de comportamento dos usuários de *carsharing* que podem repercutir em melhorias ambientais e no transporte urbano. Na verdade, os serviços de mobilidade compartilhada vêm crescendo significativamente nos EUA e no mundo, nos últimos 20 anos. De acordo com Shaheen *et al.* (2015), os estudos realizados registram os inúmeros benefícios ambientais e sociais relacionados à mobilidade compartilhada, incluindo redução de custos, conveniência, melhora da acessibilidade (melhorando acesso, encorajando multimodalidade e expandindo de abrangência do transporte público). A Tabela 41, a seguir, apresenta alguns dos resultados das pesquisas sobre impactos no transporte e na redução de emissões de CO₂.

Tabela 41: Impacto do Sistema de *Carsharing* na Europa e na América do Norte

Impacto	Europa	América do Norte
Redução das emissões de CO ₂	39-54%	27% (impacto observado) 56% (impacto total) ⁸
Número de veículos privados substituídos por veículo de <i>carsharing</i>	4-10	9-13

⁸ O “impacto observado é baseado na simples previsão de mudança de emissões de antes para depois. O “impacto total” é baseado nas emissões das pessoas que participam do sistema de *carsharing* comparado ao nível hipotético de emissões caso o serviço não existisse (ACEA, 2014).

Percentual de veículos privados vendidos devido a <i>carsharing</i>	16-34%	25%
Percentual de compra de veículos evitado devido a <i>carsharing</i>	N/A	25%

Fonte: reproduzido a partir de Shaheen e Cohen (2013)

Como a tecnologia encontra-se em pleno processo de evolução, a mobilidade compartilhada continuará a desempenhar um papel-chave no arranjo multimodal do sistema de transporte, utilizando tecnologias avançadas para otimizar o itinerário do usuário final para o menor custo, para o itinerário mais rápido e mais curto, e ambientalmente mais eficiente.

Há ainda grande potencial para redução das emissões nas operações de *carsharing* e *ridesourcing*, uma vez que os veículos utilizados são predominantemente automóveis e comerciais leves que utilizam gasolina, álcool e diesel como combustíveis. Uma tendência chave no mundo é a introdução de veículos elétricos e híbridos nas frotas de *carsharing*, inclusive como forma de promover uma maior adoção dessas tecnologias menos intensivas em carbono. Segundo Shaheen e Christensen. (2014), em longo prazo os programas de *carsharing* podem atuar como gatilho para promover a maior introdução de híbridos (*plug-in hybrid vehicles* – PHVs) e elétricos (EVs) no mercado.

A Figura 66, a seguir, ilustra as tendências para a mobilidade urbana no mundo e o papel importante previsto para os sistemas de *carsharing*.

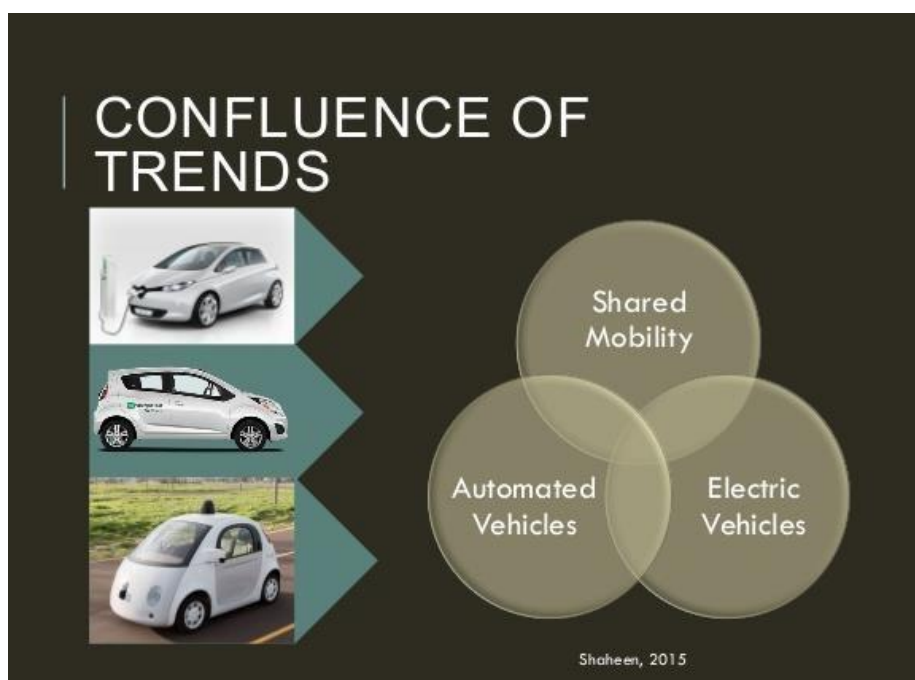


Figura 66: Tendências para a mobilidade urbana **Fonte:** Shaheen, 2015- *Carsharing* Association

5.2 Regulamentação do *Carsharing* no Brasil

A destacar, a publicação do Decreto Nº 56.981, de 10 de maio de 2016, da Prefeitura do Município de São Paulo, que regulamentou a atividade econômica privada de transporte individual remunerado de passageiros, o serviço de carona solidária e o compartilhamento de veículos sem condutor. De modo geral, o Decreto foi elaborado com base na literatura internacional com adaptações de conceitos, conforme destacado abaixo:

- O direito ao uso intensivo do viário urbano no Município de São Paulo para exploração de atividade econômica de transporte individual remunerado de passageiros de utilidade pública somente será conferido às Operadoras de Tecnologia de Transporte Credenciadas – OTTCs. A condição de OTTC é restrita às operadoras de tecnologia credenciadas que sejam responsáveis pela intermediação entre os motoristas prestadores de serviços e os seus usuários. Em SP, foram assim criadas as OTTCs, de forma similar às TNCs do sistema *ridesourcing*.
- A OTTC deve disponibilizar sistema de divisão de corridas entre chamadas de usuários cujos destinos possuam trajetos convergentes, garantida a liberdade de escolha dos usuários. Em SP, fica autorizado o sistema de *ridesplitting*.
- O direito à intermediação de carona solidária no viário urbano do Município de São Paulo somente será conferido às Operadoras de Tecnologia de Transporte Credenciadas – OTTCs. É considerada carona solidária, para efeito do Decreto, o transporte individual não remunerado de condutores provedores de carona e passageiros interessados em compartilhar viagens e custos. De fato, o Decreto de SP restringe a intermediação do *ridesplitting* às OTTCs, sem proibir o *car pooling*.
- O direito à exploração dos serviços de compartilhamento de veículos sem condutor no viário urbano do Município de São Paulo somente será conferido às Operadoras de Tecnologia de Transporte Credenciadas – OTTCs. O compartilhamento de veículos sem condutor é o serviço de locação de veículos disponibilizados em vagas de estacionamento em vias e logradouros públicos. Em SP, as operadoras de *carsharing* também foram denominadas OTTCs e estarão condicionadas ao pagamento de outorga pelo direito de uso de estacionamento em viário urbano.

5.3 Possibilidades de *Carsharing* na UFRJ

Com o objetivo de utilizar a UFRJ como laboratório urbano de práticas de mobilidade sustentável foram previstas duas modalidades relacionadas a *carsharing* no Campus Universitário da UFRJ:

- Compartilhamento da frota cativa da UFRJ;
- Incentivo ao *carpooling* /carona solidária.

5.3.1 *Compartilhamento da frota cativa da UFRJ*

De acordo com Shaheen e Cohen (2012), o modelo de compartilhamento de frotas institucionais e governamentais para uso exclusivo em serviço, é praticado na Ásia, na Europa e nos EUA. O modelo pensado para a UFRJ previa a implantação de um sistema de compartilhamento de veículos oficiais (frota cativa), apoiado por um software para smartphones, capaz de gerenciar *online* a demanda dos usuários de veículos oficiais da UFRJ. O desenvolvimento dos aplicativos seria dividido em três partes independentes: um aplicativo de rastreamento de veículos, um sistema de logística de veículos e um aplicativo para requisição de transporte.

A iniciativa buscava chamar atenção para a importância da ideia de compartilhamento do veículo em si e do espaço dentro dele e permitiria a quantificação dos ganhos, em termos de redução de consumo de combustível e emissão de CO₂.

Neste contexto, o compartilhamento de veículos oficiais pretendia contribuir para a redução de emissões de CO₂ e dos custos de transportes, bem como, provocar uma mudança cultural no sistema vigente, na busca da sustentabilidade do campus universitário da UFRJ.

Entretanto, durante todo processo de planejamento e discussão dos aplicativos com a Divisão de Frota Oficial da UFRJ, as dificuldades enfrentadas para gestão operacional da frota cativa, principalmente no que diz respeito à disponibilidade de combustível e de motoristas terceirizados, ficaram evidenciadas.

A frota própria da UFRJ é composta por 242 veículos com idade média de oito anos, conforme Tabela 42, a seguir.

Tabela 42: Frota Oficial da UFRJ

Tipo de Veículo	Quantidade de Veículos
Automóvel	99
Comercial Leve	123
Caminhão Leve	05
Caminhão Médio	03
Micro-ônibus	05
Ônibus Rodoviário	04
Ônibus Urbano	03
TOTAL	242

Fonte: Elaboração própria

Para ilustrar as dificuldades operacionais, a Figura 67 apresenta a quantidade de veículos que abasteceram no período de abril de 2015 a março de 2016 e a Figura 68 apresenta o consumo mensal de combustíveis em litros, no mesmo período.

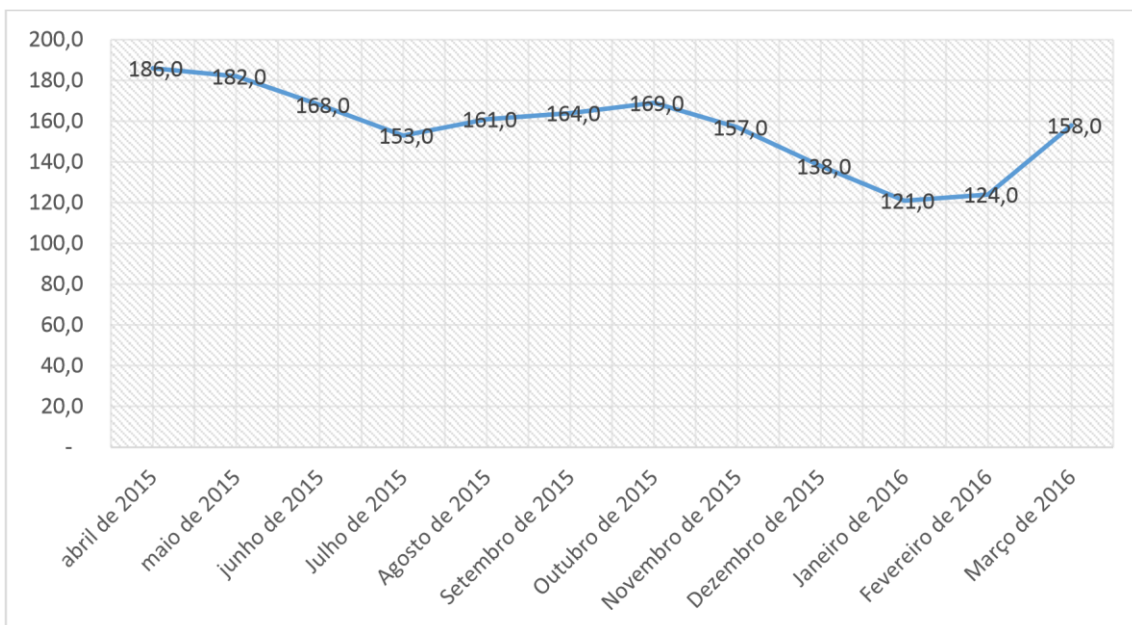


Figura 67: Quantidade de veículos abastecidos por mês
Fonte: Banco de Dados /Fundo Verde

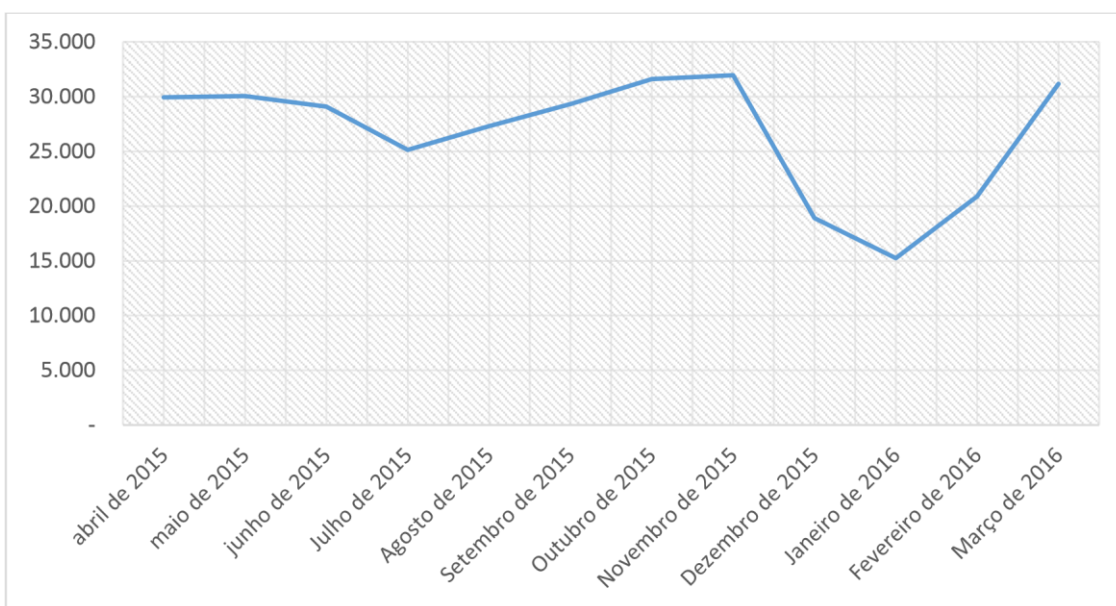


Figura 68: Consumo mensal de combustíveis em litros
Fonte: Banco de Dados /Fundo Verde

Da mesma forma, as emissões de CO₂ também variam ao longo do tempo, conforme apresentado na Figura 69. Essa variação nos valores das emissões, em função da disponibilidade de combustível pode mascarar ou a quantificação efetiva da redução das emissões.

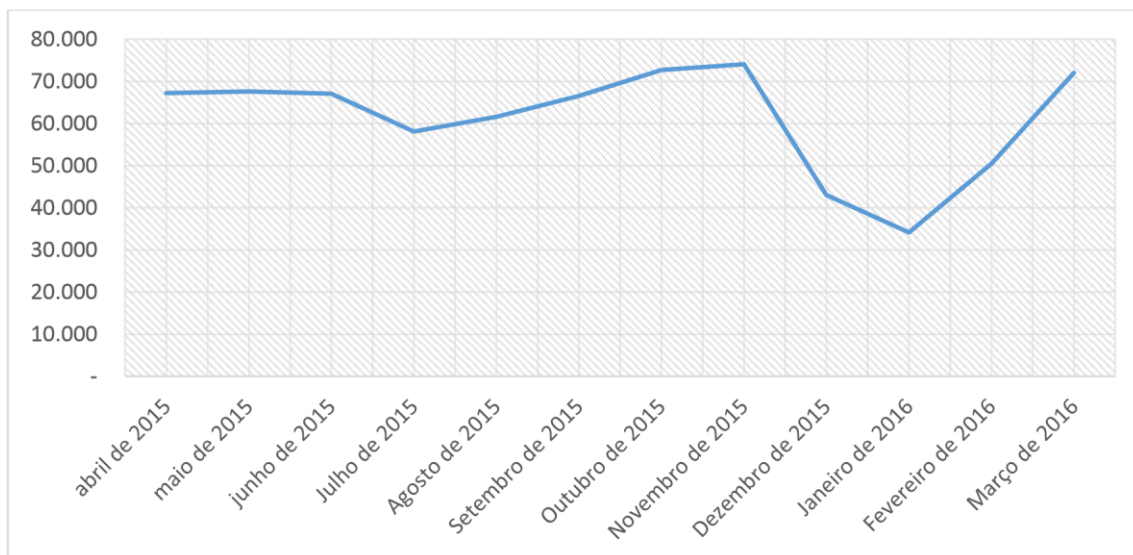


Figura 69: Perfil das emissões de CO₂ da frota cativa (kg) **Fonte:** Banco de Dados /Fundo Verde

Assim, foi avaliado que, no momento atual da UFRJ, a implantação do compartilhamento da frota cativa não resultaria numa redução significativa de emissões de CO₂ nem traria o retorno planejado para o processo de sustentabilidade da UFRJ.

Pelo contrário, além do esforço inicial para desenvolvimento do aplicativo, a implantação do mesmo iria implicar numa necessidade adicional para a UFRJ de equipe de TI para suporte aos usuários e atualização permanente do *software*, bem como melhoria do sistema de servidores ou hospedagem em *cloud*.

Apesar de todos os possíveis benefícios advindos da adoção do compartilhamento de veículos – foco da sustentabilidade, mudança de cultura e redução de emissões de CO₂, optou-se por adiar a prática do compartilhamento de veículos da frota oficial da UFRJ.

Benefícios mais imediatos e mais significativos para redução de CO₂ da Cidade Universitária poderão advir do incremento de serviços de *carpooling* (carona solidária).

5.3.2 Sistema de Carona Solidária na Cidade Universitária da UFRJ - Caronaê

Na Cidade Universitária da UFRJ, cerca de 7.000 alunos já participavam de algum tipo de sistema de auxílio na obtenção de caronas, seja por redes sociais, ou por grupos de conversa, como o aplicativo WhatsApp. A pesquisa Origem Destino realizada em 2014 (D'Agosto et al, 2014), também apontou que cerca de 4% da comunidade da UFRJ já utilizava a carona solidária como forma de transporte.

A carona solidária teve avanço no Campus Universitário, em abril deste ano, com a implantação do Caronaê UFRJ (<https://caronae.ufrj.br/>). O aplicativo para *smartphones* (*Android* e *Iphone*) foi desenvolvido por um grupo de alunos de Engenharia visando organizar e integrar as caronas em todo o campus e está hospedado em servidores da Superintendência de Tecnologia de Informação e Comunicação da UFRJ.

Os recursos financeiros para a iniciativa foram aportados pelo Fundo Verde da UFRJ (R\$ 100.000,00) a partir do Concurso de Soluções Sustentáveis.

O Caronaê UFRJ possui 10 pontos de caronas espalhados pelos principais centros da Cidade Universitária. O sistema de transporte solidário possibilita uma melhor racionalização na utilização do transporte individual, bem como, uma possível redução do número de veículos que se destinam à Cidade Universitária.

Com o objetivo de estimar as emissões de CO₂ evitadas com a carona solidária (*carpooling*) no deslocamento de ida e volta à Cidade Universitária foram avaliados os dados obtidos nos três primeiros meses do aplicativo, a partir de um *dump* do banco de dados do Caronaê, fornecido pela TIC, contendo o registro da estrutura das tabelas e dos dados armazenados no período de abril a 07 de julho deste ano.

A partir da restauração dos dados do Caronaê no servidor de banco de dados do Fundo Verde, foi realizada uma análise exploratória utilizando o *software* Tableau para visualização e classificação dos dados, buscando agrupá-los de acordo com as regiões estabelecidas pelo relatório 1 do Projeto Shell (Kahn Ribeiro *et al.*, 2015).

Inicialmente foi quantificado o número de usuários cadastrados no período e identificados aqueles que possuíam carro, conforme apresentado na Tabela 43.

Tabela 43: Usuários cadastrados no Caronaê até 07/07/2016

Profile	Tem carro?	Data de Cadastramento do Usuário				Total geral
		abril	maio	junho	julho	
Doutorado	Não	263	58	41	2	364
	Sim	104	22	5	2	133
Especialização	Não	11	5	7		23
	Sim	4	1			5
Extensão	Não		1			1
Graduação	Não	4.752	844	366	46	6.008
	Sim	1.238	174	61	8	1.481
Mestrado	Não	339	82	43	9	473
	Sim	143	15	13	4	175
Mestrado Profissional	Não	26	12	5	1	44
	Sim	10	3	2		15
Perfil padrão	Não		1			1
	Sim	1				1
Servidor	Não	272	126	67	10	475
	Sim	137	31	11	1	180
Total geral		7.300	1.375	621	83	9.379

Fonte: Banco de Dados /Fundo Verde

Em seguida, foi quantificado o número de pessoas que utilizaram carona (6.122 pessoas) e o registro de caronas efetivadas no período (3.779 caronas), com uma ocupação média de 2,62 por carro, conforme destacado nas Tabela 44, 45 e 46 e na Figura 70.

Tabela 44: Número de pessoas que utilizaram o Caronaê até 07/07/2016

Status da carona	Sentido da viagem	abril	maio	junho	julho	Total geral
accepted	Volta	1.000	1.375	869	120	3.364
	Ida	896	1.096	662	104	2.758
Total geral		1.896	2.471	1.531	224	6.122

Fonte: Banco de Dados /Fundo Verde**Tabela 45:** Número de caronas efetivadas no Caronaê até 07/07/2016 por região

Zona	abril	maio	junho	julho	Total geral
Baixada	61	60	23	3	147
Centro	24	26	16	2	68
Grande Niterói	49	45	11	2	107
Outros	1	5	4	4	14
Zona Norte	434	597	450	78	1.557
Zona Oeste	182	216	105	17	519
Zona Sul	384	547	395	47	1.367
Total geral	1.135	1.496	1.004	153	3.779

Fonte: Banco de Dados /Fundo Verde**Tabela 46:** Número de caronas efetivadas no Caronaê até 07/07/2016 por Centro Acadêmico da UFRJ

Destino na UFRJ (grupo)	abril	maio	junho	julho	Total geral
CCMN	119	124	76	10	329
CCS	89	150	124	11	373
CT	812	1.110	722	123	2.759
EEFD	5	12	5		22
Letras	44	33	27	4	108
Reitoria	66	67	50	5	188
Total geral	1.135	1.496	1.004	153	3.779

Fonte: Banco de Dados /Fundo Verde

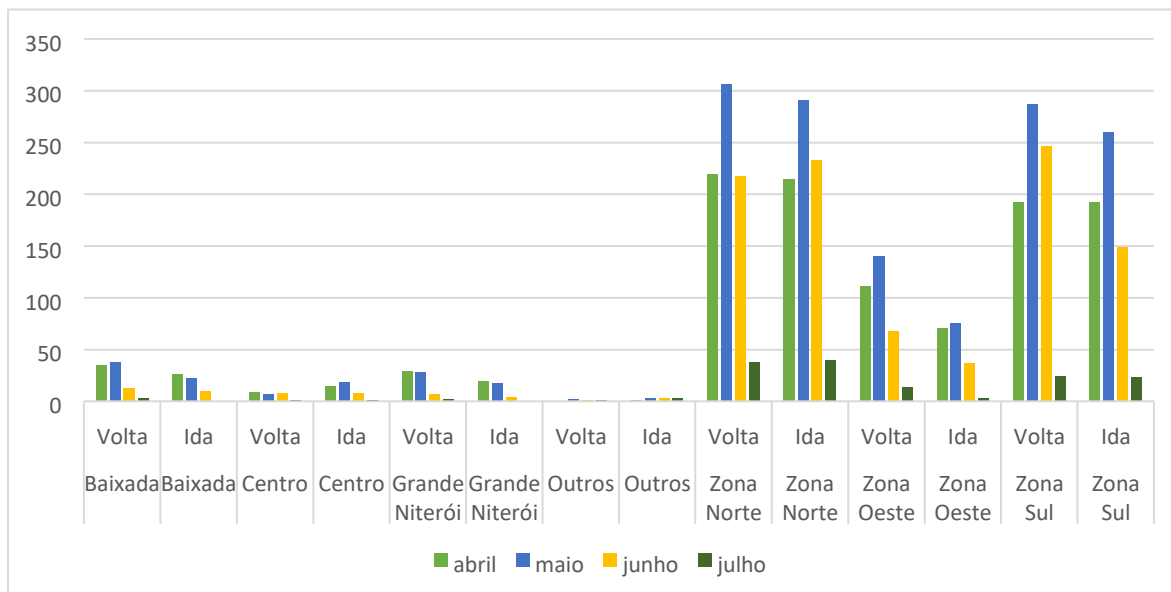


Figura 70: Caronas efetivadas por região (Ida e Volta)

Fonte: Elaboração própria

Como o objetivo principal da análise era estimar as emissões de CO₂ evitadas no deslocamento de ida e volta para a Cidade Universitária, com a implantação do Caronaê, foi buscado separar os usuários que efetivamente deixam de utilizar os carros próprios daqueles que utilizam o Caronaê em substituição ao ônibus.

Para esse fim, foi realizada uma consulta para obter os registros dos usuários que se cadastraram como donos de carro e que tinham utilizado o aplicativo Caronaê, participando de alguma carona como passageiro, obtendo-se 942 usuários que atendiam aos requisitos mencionados. Dessa forma, 419 viagens de ida e 505 de volta no período foram evitadas contribuindo para a redução das emissões de CO₂ no deslocamento de ida e volta. A tabela 47 e a Figura 12 ilustram a distribuição por região e por centro acadêmico da UFRJ.

Tabela 47: Quantidade de pessoas que deixaram o carro em casa por conta do Caronaê

Centro Acadêmico UFRJ	Número de pessoas
<u>EEFD</u>	<u>03</u>
<u>CCS: Frente</u>	<u>14</u>
<u>CCS</u>	<u>29</u>
<u>CCS: HUCFF</u>	<u>17</u>
<u>CCMN: Fundos</u>	<u>18</u>
<u>CCMN: Frente</u>	<u>22</u>
<u>CCMN</u>	<u>30</u>
<u>Letras</u>	<u>21</u>
<u>Reitoria</u>	<u>34</u>
<u>CT: Bloco A</u>	<u>82</u>
<u>CT: Bloco H</u>	<u>163</u>
<u>CT: Bloco D</u>	<u>205</u>

Fonte: Banco de Dados /Fundo Verde

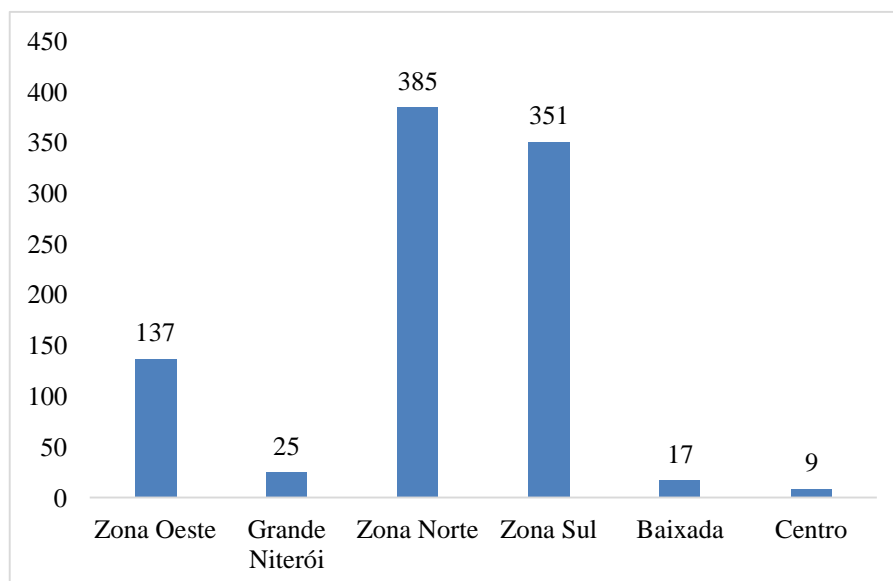


Figura 71: Distribuição das Caronas por Região no Caronaê

Apesar da aceitação extremamente positiva do aplicativo pela comunidade universitária, o mesmo exigirá custos adicionais para manutenção e evolução e, possivelmente, para hospedagem mais robusta em servidor *cloud*. A hospedagem atual é realizada em servidores da UFRJ que, frequentemente, ficam fora do ar e o suporte ao usuário é precário, conforme relatos e comentários dos usuários na página oficial do aplicativo no *Facebook*.

Por outro lado, pela análise dos dados do Caronaê é possível estimar que em 15,09% das viagens, o carro foi deixado em casa, privilegiando a carona solidária, o que corresponde a uma quantidade de emissões evitadas de 0,9 toneladas de CO₂ por mês. Também é possível inferir que:

- o número de pessoas que utilizam o Caronaê é menor que o declarado na pesquisa de OD de 2014, indicando que nem todos os grupos de carona da UFRJ estão utilizando o Caronaê;
- o CT é o centro acadêmico que mais utiliza o Caronaê.

Com o percentual de 15,09 de motoristas que deixam o carro em casa e utilizam a carona solidária, foi possível estimar a partir dos cálculos de emissão de CO₂ realizados no âmbito do Projeto Shell (Kahn Ribeiro *et al.*, 2015), que as emissões evitadas com *carpooling* no deslocamento de ida e volta ao Campus da UFRJ, no período 2015-2016, são da ordem de 40 ton de CO₂ por mês, o que o corresponde a 1,76% do total estimado em 2015. A Tabela 48 resume a estimativa de emissões de CO₂ evitadas com *carpooling* no deslocamento de ida e volta à Cidade Universitária da UFRJ.

Tabela 48: Emissões de CO₂ evitadas com *carpooling* no deslocamento de ida e volta à UFRJ.

Região	Caronas por mês (Matriz OD)	Extrapolação CO₂ evitado (kgCO₂/ mês)
Baixada Caxias	1504	574,35
Baixada-Leste	1367	771,19
Baixada-Oeste	1738	1522,07
Bangu/Realengo	1152	917,25
Barra da Tijuca /Recreio	6523	5421,81
Botafogo (Zona Sul)	21014	8838,13
Campo Grande	703	830,40
Centro	3320	803,51
Ilha do Governador	7929	2650,79
Inhaúma/Complexo do Alemão	547	130,51
Jacarepaguá	5390	3080,62
Madureira/ Irajá	3398	1475,25
Méier	4961	1520,64
Niterói/São Gonçalo	10292	6673,93
Pavuna / Anchieta	527	279,30
Penha/Vigário Geral	996	330,67
Ramos/Maré	1230	214,18
Santa Cruz	293	436,08
Tijuca/Vila Isabel	12011	3863,02
Total	84897	40333,69

Fonte: Elaboração própria

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório final enfocou duas alternativas de redução das emissões de CO₂ que possivelmente irão liderar as estratégias de mobilidade urbana de baixo carbono nas próximas décadas. A primeira com grande dependência de mudança tecnológica dos veículos, da produção e distribuição de energia e a segunda com um forte componente de mudança de hábitos de consumo. Adicionalmente se tratou da importância de se fornecer maior mobilidade para que haja maior circulação e integração das pessoas, seja para melhorar acesso a pontos de transporte público ou áreas de convivência e serviços. No caso do campus da Cidade Universitária foram empregados veículos elétricos e van que tiveram uma ótima aceitação conforme apresentado neste relatório. Também se destacou

a necessidade que o transporte de maior capacidade, como o BRT, tem para aumentar sua capilaridade, a chamada "última milha". O BRT que atende ao campus chega a um ponto em uma das entradas da Cidade Universitária, portanto é essencial que haja uma integração para o interior do campus. Uma opção atraente para esta complementação seria o uso de um sistema de bicicletas. O relatório apresentou uma proposta, que ainda não foi implementada, mas que já suscitou o interesse por parte de potenciais patrocinadores.

No caso de mudança tecnológica foi analisado o aumento do uso de veículos elétricos no Brasil. Inicialmente se comparou o desempenho destes veículos por meio de testes de campo com o similar usando tecnologia de combustão interna e também através de análise de ciclo de vida. Como a velocidade de introdução destes veículos ainda é incerta, foram traçados quatro cenários prospectivos, sendo um deles extremamente conservador e outro um cenário de ruptura e dois intermediários.

Os resultados nos mostram que do ponto de vista energético e ambiental, o cenário de ruptura é o mais interessante. No entanto, politicamente será o mais desafiador, pois irá requerer mudanças não apenas de infraestrutura de distribuição de energia, mas também a criação de um novo modelo de mercado energético. Outra barreira será com o destino dos derivados de petróleo como gasolina e do álcool automotivo que seriam deslocados pela energia elétrica. Uma possibilidade seria o mercado de petroquímica e álcoolquímica. Mas para viabilizar esta solução é fundamental que já se desenhe uma estratégia, uma vez que mudanças deste porte demandam tempo e grandes investimentos. Porém, deve se ter em mente que a evolução dos veículos elétricos, sobretudo em relação as baterias, tem sido cada vez mais rápida com todas as grandes montadoras investindo pesadamente nesta opção. Com as metas de redução de emissão de carbono acordadas na Convenção do Clima, os países têm também apostado no aumento do uso de veículos elétricos através de incentivos monetários ou não e aumento da infraestrutura. Outros países investem pesadamente em tecnologia e inovação buscando melhorar o desempenho dos veículos. Este esforço mundial aliado com a globalização desta indústria, provavelmente não dará muita opção a escolhas individuais de determinados países, fazendo com que o mundo todo passe a seguir na mesma direção da eletrificação.

A outra questão abordada neste relatório diz respeito ao compartilhamento. Evidentemente que para a economia compartilhada prosperar é importante que se tenha avanços tecnológicos sobretudo na área de tecnologia da informação, porém o que é determinante é a mudança comportamental.

Nessa questão foi interessante observar que mesmo se reconhecendo os benefícios do compartilhamento, seja em termos ambientais ou econômicos, ainda há bastante resistência. O relatório apresentou 2 situações. Em uma delas, o compartilhamento de frota cativa, a dificuldade residiu na necessidade de criação de um novo modelo de gestão e na outra, sistemas de caronas, a falta de suporte técnico contínuo, tornando a iniciativa como um modelo de negócio, coloca em risco o sucesso desta alternativa de mobilidade. Isto evidencia que para que haja mudança no comportamento, seja do usuário seja do gestor, um grande trabalho de comunicação e convencimento é fundamental.

O projeto de laboratório urbano de mobilidade teve como objetivo testar e avaliar os pontos fortes e fracos das alternativas de baixo carbono de forma a fornecer subsídios para decisões de governo e de empresas.

REFERÊNCIAS

- ABNT; NBR-ISO14040. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios d Estrutura. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2001.
- ACEA (2014). *Carsharing: Evolution, Challenges and Opportunities*. Disponível em http://www.acea.be/uploads/publications/SAG_Report_-_Car_Sharing.pdf
- ANFAVEA, 2015. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>. Acesso em 10 nov. 2015.

- ANFAVEA, 2016. 2034 Uma Visão do Futuro. Disponível em: http://automotivebusiness.ananecdn.net.br/pdf/pdf_264.pdf. Acesso em: 27 jan. 2016.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2014. 2014.
- Borba, B. S. M. C., 2008, Metodologia de Regionalização do Mercado de Combustíveis Automotivos no Brasil. Dissertação de M.Sc, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
- Borges, F. J. Inventário do Ciclo de Vida do PVC produzido no Brasil. 2004. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.
- 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
- Çağatay, K., Bayindir, M.A.G.A. Comprehensive overview of hybrid electric vehicle: powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units. *Energy Conversion and Management* (2011). 52: 1305–1313.
- CAMEX, 2015. <<http://www.camex.gov.br/noticias/ler/item/659>> (acesso em 07.06.2016).
- Cavalett, O., Chagas, M. F., Seabra, J. E., & Bonomi, A. (2012). Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 647-658.
- Committee on Climate Changes (2008). Building a low-carb economy – The UK’s contribution to tackling climate change. The first report of Committee on Climate Change. Dezembro 2008.
- D’Agosto *et al.* (2014) Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE): Linha circular de veículo leve sobre trilho (VLT) na Ilha do Fundão com conexão com a região do Porto Maravilha e da Ligação Aquaviária entre a Ilha do Fundão, Praça XV e Praia Vermelha. Relatório Parcial 1 – Estudo Preliminar de Demanda. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.fundoverde.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes>.
- D’Agosto, M. A. (2004). Análise Da Eficiência Da Cadeia Energética Para As Principais Fontes De Energia Utilizadas Em Veículos Rodoviários No Brasil. Tese (Doutor). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. Agosto
- Dunn, B. *et al.* Electrical Energy Storage for the Grid. A Battery of Choices. *Journal of Original Science*. 334. 928-935. 2012.
- Ecoinvent Centre - Ecoinvent data and reports v2.2. Dübendorf, Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- 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, 2013. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022. Ano Base, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil, 2013.
- EPE, 2014a. Empresa de Pesquisa Energética. Estudo de Demanda de Energia 2050. Nota técnica DEA 13/14, Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2014.
- EPE, 2016. Empresa de Pesquisa Energética. Estudo de Demanda de Energia 2050. Nota técnica DEA 13/14, Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2016.
- Façanha, C., Blumberg, K., Miller, J., 2012. Global Transportation Energy and Climate. The International Council on Clean Transportation (ICCT).
- Faria R *et al.* Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. *Renew Sustain Energy Rev* //2013.
- FENABRAVE- 2011 Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores -. Disponível em: <<http://www3.fenabrave.org.br/>>.
- Finkbeiner, M. *et al.* The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 11, n. 2, p. 80-85, 2006/03/01 2006.
- Frost & Sullivan, 2013a. Strategic Analysis of Brazil Electric Vehicle Market - Era of Electric Vehicles in Brazil, With Market Growing to More than 80,000 Units by 2020. <<http://www.frost.com/sublib/display-report.do?searchQuery=Strategic+Analysis+BRAZIL&ctxixpLink=FcmCtx1&ctxixpLabel=FcmCtx2&id=NAE5-01-00-00-00&bdata=aHR0cDovL3d3dy5mcm9zdC5jb20vc3JjaC9jYXRhbG9nLXNlYXJjaC5kbz9wYWdlU2l6ZT0xMiZzb3J0Qnk9UiZxdWVyeVRleHQ9U3RyYXRIZ2ljK0FuYWx5c2lzK0JSQVpJTCZ4PTAmeT0wQH5AU2VhcmNoIFJlc3VsdHNAfKAXNDY1MzEyOTY2MDQx>> (acesso em

- 07.06.2016).
- Frost & Sullivan, 2013b. Brazilian Electric Vehicle and Supporting Infrastructure Market. <<http://www.frost.com/sublib/display-report.do?searchQuery=Smart+home&id=9836-00-63-00><http://www.frost.com/sublib/display-report.do?searchQuery=Smart+home&id=9836-00-63-00-00&bdata=aHR0cDovL3d3dy5mcm9zdC5jb20vc3JjaC9jYXRhbG9nLXNlYXJjaC5kbz9wYWdlU2l6ZT0xMiZTcmM9U21hcnRNSSZxdWVyeVRleHQ9U21hcnQraG9tZSZwYWdlPTEyMEB%2BQFNlYXJjaCBSZlN1bHRzQH5AMTQ0MDQ1MzE5NjA3OQ%3D%3D>> (acesso em 07.06.2016).
- GIZ (2014). Carsharing Services in Emerging Economies: Sustainable Urban Transport Document #12. Disponível em http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/B_Technical-Documents/GIZ_SUTP_TD12_Carsharing-Services-in-Emerging-Economies_EN.pdf
- Greenpeace (2013). Revolução Energética: A Caminho do Desenvolvimento Limpo. Cenário brasileiro, 2013.
- Greenpeace (2015). Energy [r]evolution: A sustainable world energy. Outlook 2015. 100% renewable energy for all.
- Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A.; Van Oers, L.; Sleswijk, A. W.; Suh, S.; Haes, H. A. U.; Bruijn, H.; Duin, R.; Huijbregts, M. A. J. (2001). Lyfe Cycle Assessment. An operational guide to the Iso standards (2001). Centre of Environmental Science – Leiden University (CML), Netherlands.
- Guyader, H. (2015) disponível em <http://pt.slideshare.net/guyaderhugo/carsharing-ridesharing-carpooling><http://pt.slideshare.net/guyaderhugo/carsharing-ridesharing-carpooling-and-all>and-all.
- 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, Energy Technology Perspectives 2015, IEA Publications, Paris, France, 2015.
- IES Brasil, 2015. Implicações econômicas e sociais de cenários de mitigação de gases de efeito estufa no brasil até 2030.
- ISO. Environmental management : life cycle assessment ; principles and framework = Management environnemental - analyse du cycle de vie - principes et cadre. Geneva, Switzerland: ISO, 2006.
- Kahn Ribeiro, S.; D'Agosto, M.A.; Lima, E.; Oliveira, C.M.; Gonçalves, D. S. (2015) Diagnóstico dos Transportes e Indicadores de Emissão de CO₂ da Cidade Universitária da UFRJ. Projeto COPPE 18997. See <http://www.fundoverde.uftj.br/index.php/pt/publicacoes> (accessed 18/06/2016).
- Lloyd, A. C., Cackette, T. A. (2001), Diesel Engines: Environmental Impact and Control. Air & Waste Manage. Assoc., v. 51, pp 809 - 847.
- LPAA – Lima-Paris Action Agenda, 2015. Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action, Paris.
- Majeau-Bettez, G. *et al.* Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles. Environ. Sci. Technol., 2011, 45 (10), pp 4548–4554.
- Martin E e S. Shaheen (2011a). Greenhouse gas emission impacts of *carsharing* in North America. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 12(4): 1074–1086.
- Martin E. e S. Shaheen (2010). Greenhouse gas emission impacts of *carsharing* in North America. MTI-09–11:1–128.
- MMA, 2013. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- MME, 2015. Resenha Energética Brasileira, resultados de 2014. Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF.
- Morgan Stanley, 2016. Shared Mobility on the Road of the Future. <http://www.morganstanley.com/ideas/car-of-future-is-autonomous-electric-shared-mobility.html>> (acesso em 18.06.2016).

- Nemecek, T. *et al.* Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems –ecoinvent report nº15. Dübendorf, April, 2004.
- Nissan, 2011. Leaf - Owner Manual.
- Ometto, A. R. Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos edip, exergia e emergia. 2005. (Doutor). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- ONS, 2015 - Operador Nacional do Sistema Elétrico - Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>.
- OTA, 1992, Green Products by Design: Choices for a Cleaner Environment, Office of Tecnology Assessment, U.S. Congress, Washington, DC.
- Raízen, 2015. <<http://www.raizen.com/imprensa/clipping-raizen-na-midia/raizen-planeja-investir-r-25-bi><http://www.raizen.com/imprensa/clipping-raizen-na-midia/raizen-planeja-investir-r-25-bi-em-etanol-de-2a-geracao>> (acesso em 07.06.2016)
- RECUPYL - Innovative battery recycling. Disponível em: <http://www.recupyl.com/146>
- Rocha. M *et al.* (2014) Life cycle assessment (LCA) for biofuels in Brazilian conditions: a meta-analysis. *Renew Sustain Energy Rev* 2014.
- São Paulo (cidade). Decreto No56.981, de 10 de maio de 2016. Dispões sobre o uso intensivo do viário urbano municipal para exploração de atividade econômica privada de transporte individual remunerado de passageiros, o serviço de carona solidária e o compartilhamento de veículos sem condutor.
- 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.
- Schweimer, G. W.; Levin, M. Life cycle inventory for the Golf A4. *Research, Environment and Transport*//2000.
- Seabra, J.E.A. (2008). Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil. Univerisidade Esdadual de Campinas (Doutorado), Faculdade de Engenharia Mecânica.
- Shaheen S. A. e A.Cohen (2013). *Carsharing* and Personal Vehicle Services: Worldwide Market Developments and Emerging Trends. *International Journal of Sustainable Transportantion.*, 7:1, 5-34. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1080/15568318.2012.660103>
- Shaheen S.A., A.P.Cohen e M. Chung (2009). North American *Carsharing*: 10-Year Retrospective. *Journal of the Transportation Research Board* 2110:35–44.
- Shaheen, S (2015) disponível em <http://pt.slideshare.net/susanshaheen/role-of-research-in-shared-mobility-and-public-policy>
- Shaheen, S. A. e A. Cohen (2012). Innovative Mobility *Carsharing* Outlook: *Carsharing* Market Overview, Analysis, and Trends.” *Transportation Sustainability Research Center*. Fall 2012.
- Shaheen, S. e A. Cohen (2015). “Innovative Mobility *Carsharing* Outlook.” *Transportation Sustainability Research Center*. Summer 2015.
- Shaheen, S. e M. Christensen. (2014). “Shared-Use Mobility Summit: Retrospective of North America’s First Gathering on Shared-Use Mobility.” *Transportation Sustainability Research Center*, June 2014.
- Shaheen, S. e N. Chan (2015). “Mobility and the Sharing Economy: Impacts Synopsis. Shared.UseMobility Definitions and Impacts, Special Edition.” *Transportation Sustainability Research Center*. Spring 2015.
- Shaheen, S., N. Chan, A. Bansal e A. Cohen (2015). “Shared Mobility: Definitions, Industry Developments and Early Understanding” *Transportation Sustainability Research Center*. November 2015.
- Shaheen, S.; A.P. Cohen; e E. Martin (2010) *Carsharing* Parking Policy: a Review of North American Practices and San Francisco Bay Area Case Study. *Transportation Research Record*. *Journal of the Transportation Research Board*. No. 2197.
- Shell, A better life with a healthy planet, Shell International BV, 2016.
- Silva, L.P. (2014) Integração entre o sistema de carro compartilhado e políticas públicas de planejamento urbano. Artigo disponível em <http://www.antp.org.br/>. Acesso em 28 de junho de 2015.
- 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.
- Souza, L. L. P. (2015). Avaliação do Ciclo de Vida do sistema veículo/combustível no Brasil. Dissertação (Mestre em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG.
- Souza, S. P. D. Produção integrada de biocombustíveis: Uma proposta para reduzir o uso de combustível fóssil no ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar. 2010. Dissertação (Mestre). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015. Mobilise Your City Local Governments in Developing Countries Take High Road to Low-Carbon. <<http://newsroom.unfccc.int/lpaa/transport/mobiliseyourcity-taking-the-high-road-to-low-carbon/>> (acesso em 07.06.2016).
- Vanek, F.; Angenent, L.; Banks, J.; Daziano, R.; Turnquist, M. 1st Edition. Sustainable Transportation Systems Engineering: Evaluation & Implementation. Mac Graw Hill Education, 2014.
- Vaz, L. F. H.; Barros, D. C.; Castro, B. H. R. C. (2015) Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. Automotivo. BNDES Setorial, v.41, p.295-344.
- Vyas, A. D.; Patel, D. M.; Bertram, K. M. (2013). Potential for Energy Efficiency Improvement Beyond the Light-Duty-Vehicle Sector. Transportation Energy Futures Series. Prepared for the U.S. Department of Energy by Argonne National Laboratory, Argonne, IL. DOE/GO-102013-3706. 82 pp.
- World Energy Council (2011). Global Transport: Scenarios 2050.

APÊNDICE A

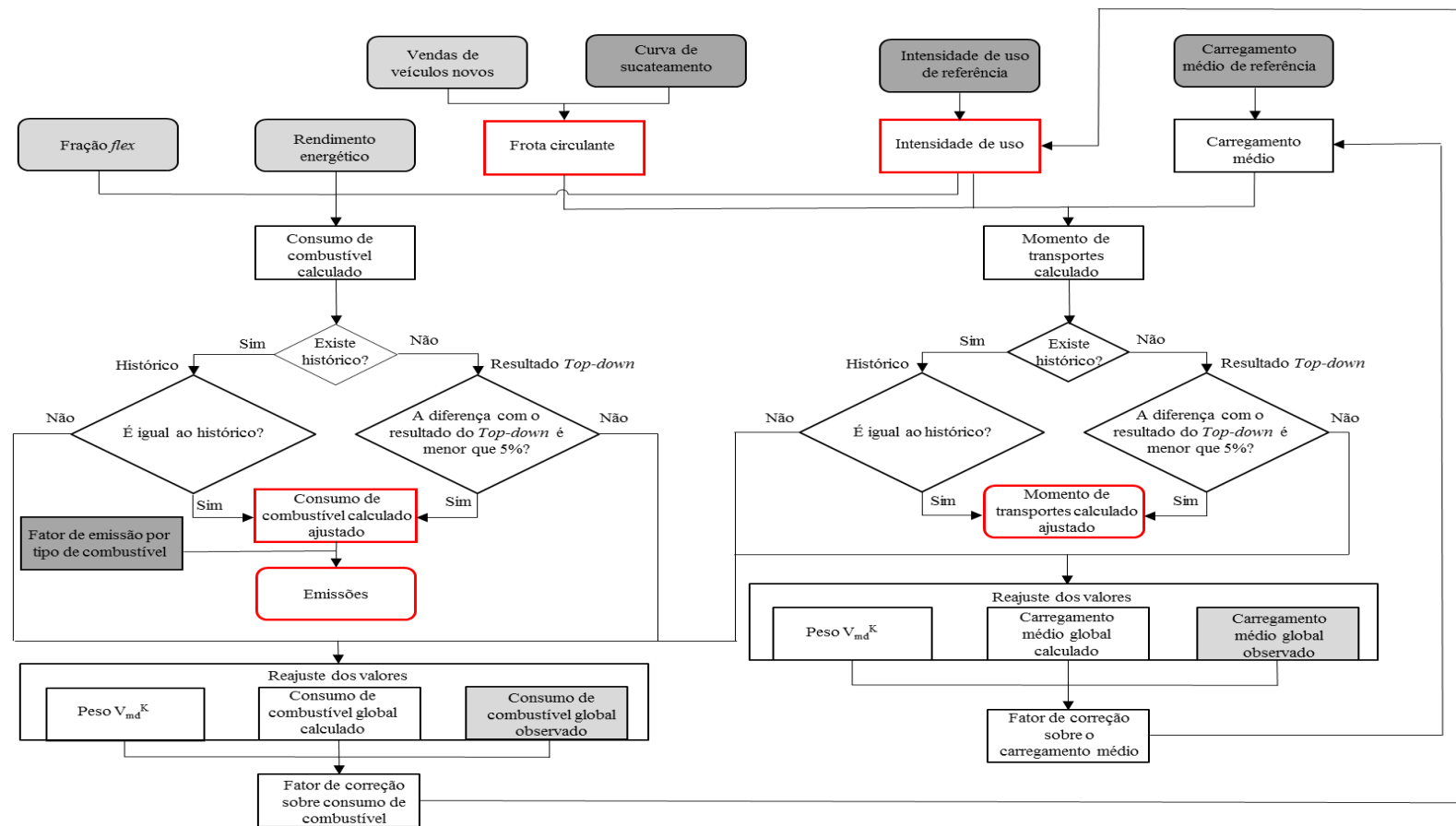
1. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO *BOTTOM-UP*

Optou-se para realização deste estudo adotar o procedimento metodológico denominado *bottom-up* que tem por característica quantificar e identificar o consumo energético de forma desagregada, permitindo assim a gestão individualizada de cada fonte de energia. Para o cálculo do consumo de energia e emissão de CO₂, faz-se necessário a identificação de quatro principais conjuntos de dados: (1) frota circulante considerando ano, modelo, idade e fonte de energia para cada tipo de veículo; (2) intensidade de uso por tipo de veículo; (3) consumo por tipo de fonte de energia e (4) fator de emissão de CO₂ para cada combustível utilizado.

Optou-se por adotar esta metodologia, seguindo os procedimentos e as premissas adotados na no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2013 (MMA, 2013) para calcular a frota circulante, intensidade de uso, consumo de combustível e emissão de CO₂. O momento de transporte foi calibrado de acordo com o Estudo Associado ao Plano Decenal de Energia, PDE 2021, Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte, 1970-2010 (EPE, 2014a) para anos anteriores a 2011. Para os anos de 2011 a 2050, os resultados foram comparados com os resultados obtidos por meio da metodologia *top-down*⁹.

⁹ O procedimento metodológico *top-down* tem por característica quantificar e identificar o consumo de energia e as emissões de CO₂ de forma agregada, permitindo apenas uma visão generalizada do uso de cada fonte. Assim, o cálculo das emissões é realizado como base em quatro conjuntos principais de dados para cada modo de transporte: (1) o momento de transporte; (2) a eficiência energética; (3) divisão por tipo de combustível e (4) o fator de emissão para cada tipo de combustível.

A quantificação da energia consumida pelo transporte rodoviário e a consequente emissão de emissão de CO₂ é uma atividade intensiva em dados e, em uma situação ideal, os dados da frota, intensidade de uso e fatores de emissão deveriam ser observados/medidos em campo. Porém, a experiência mencionada pela equipe que elaborou o Inventário Nacional de Emissões de Veículos Automotores 2013 (MMA, 2013) mostra que esta situação ideal é impraticável, em função das limitações de recursos materiais, humanos e tempo, sendo usual e aceitável que se estime estes dados por meio de algum procedimento. Tal procedimento está sintetizado na Figura 1.



Caso haja um histórico → dado; Caso não haja histórico → estimado.

Parâmetros calculados

Premissas

Parâmetros principais calculados

Fonte: Elaboração própria.

Figura 72: Procedimento adotado para estimar o consumo de energia e emissões de CO₂ por meio da metodologia *bottom-up*.

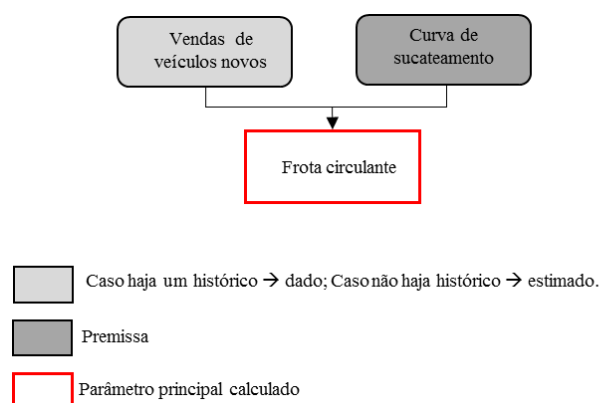
2. PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DA FROTA CIRCULANTE

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 automóveis novos comercializados até 2015, baseou-se na Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2015) e no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), por meio do estudo realizado por Vaz *et al.*; (2015) (automóveis híbridos e elétricos).

A estimativa de vendas futuras baseou-se no histórico de vendas dos veículos novos, obtidos pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016) e no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011).

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).

Sendo assim, a identificação da frota circulante conforme Figura 2 e a Equação 1.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2: Procedimento adotado para cálculo da frota circulante.

$$Fr_{A,V_{md},k} = V_{mdA} \times (1 - S_{A,V_{md},k}) \quad (1)$$

Em que,

$Fr_{A,V_{md},k}$ = Frota circulante estimada, expressa em números de veículos, para o ano A referente ao veículo V_{md} e combustível k.

V_{md}, k = Veículos do tipo V e ano modelo md e combustível k.

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

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

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

Em que,

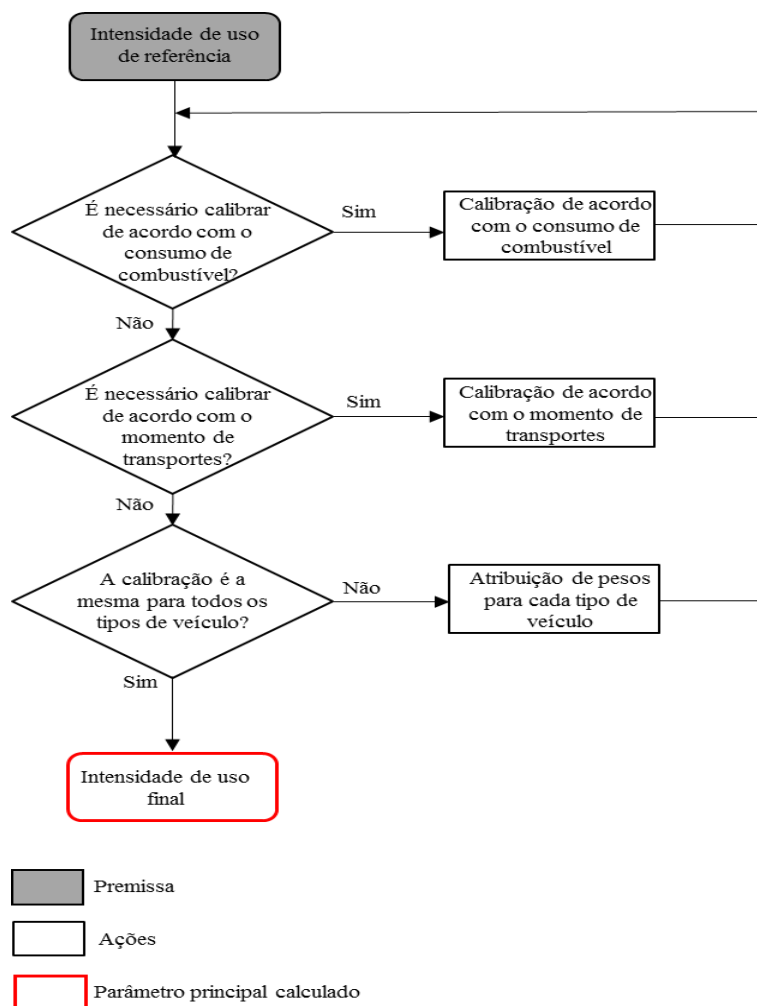
A = idade do veículo em anos. $\alpha = 1,798$ para automóveis e $\alpha = 1,618$ para os demais veículos comerciais leves. $\beta = -0,137$ para automóveis; $\beta = -0,141$ para veículos comerciais leves.

As curvas adotadas para os automóveis e comerciais leves (exceto 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).

3. 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. Considerou-se um coeficiente de ajuste da intensidade de uso para cada combustível, de acordo com a Equação 2.

Calculado o coeficiente, obtém-se a intensidade de uso ajustada por meio da Equação 3, conforme a Figura 3.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 3: Procedimento adotado para cálculo da intensidade de uso.

$$\alpha_{k,A} = \frac{Vol_{k,A}^{observado}}{Vol_{k,A}^{calculado}} = \frac{Iu_{A,V_{md},k}^{corrigida}}{Iu_{A,V_{md},k}} \quad (2)$$

Em que,

$\alpha_{k,A}$ = Coeficiente de ajuste da intensidade de uso.

$Vol_{k,A}^{observado}$ = Consumo do combustível k observado no EPE (2014a) para as séries históricas do ano A. Já para as estimativas, o consumo do combustível k observado na estimativa *top-down* para o ano A.

$Vol_{k,A}^{calculado}$ = Consumo do combustível k calculado para o ano A.

$$Iu'_{A,V_{md},k} = Iu_{A,V_{md},k} \times (\alpha_{k,A} \pm p_{mdk}) \quad (3)$$

Em que,

$Iu'_{A,V_{md},k}$ = Intensidade de uso ajustada no ano A para o veículo V_{md} que usa o combustível k.

$Iu_{A,V_{md},k}$ = Intensidade de uso de referência no ano A para o veículo V_{md} que usa o combustível k.

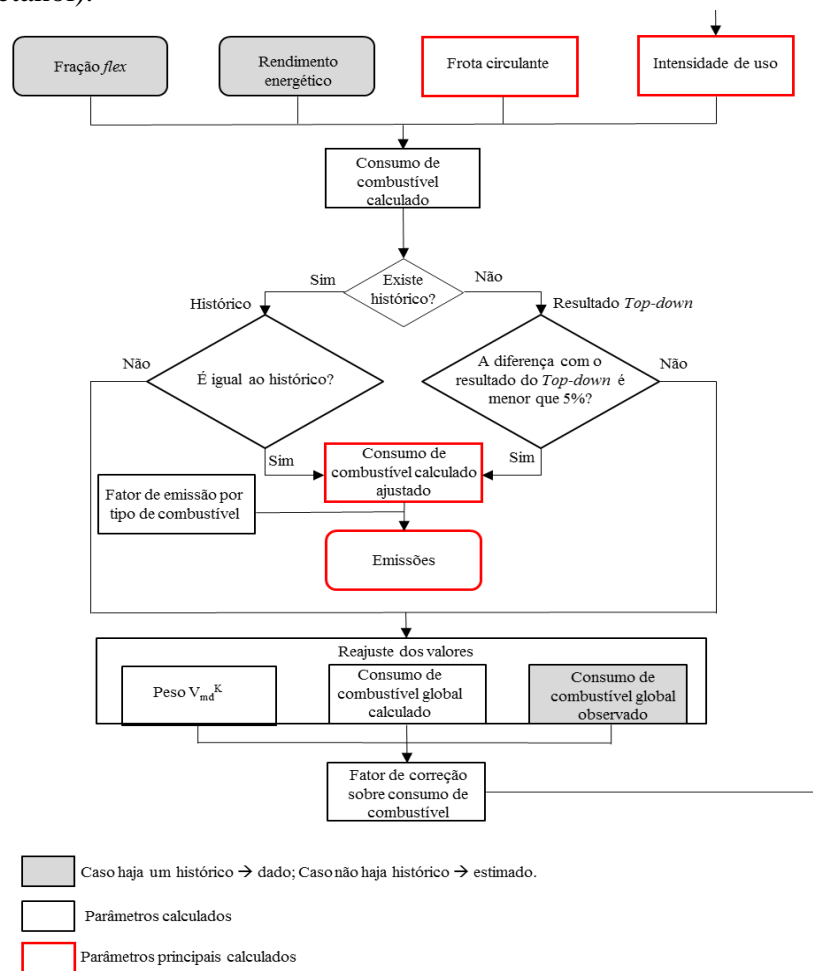
p_{mdk} = O peso determinado para o veículo V_{md} que usa o combustível k¹⁰.

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

¹⁰ O peso deverá ser determinado com base nas características dos veículos e da operação atual e tendencial dos mesmos. A partir da definição de tais características, realiza-se testes com a finalidade de verificar o peso adequado para cada tipo de veículo, de forma a calibrar o modelo.

4. PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O consumo de combustível é determinado por meio do procedimento apresentado na Figura 3, 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).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4: Procedimento adotado para cálculo do consumo de combustível.

Para o cálculo do consumo de combustível proveniente dos veículos automotores, utilizou-se a Equação 4 e o procedimento descrito na Figura 4.

$$Vol_{k,A} = \sum_{V_{md}} Fr_{A,V_{md},k} \cdot \frac{I_{uA,V_{md},k}}{Ren_{A,V_{md},k} \text{ calculado}} \quad (4)$$

Em que,

$Ren_{A,V_{md},k}$ = rendimento dos veículos V_{md} no ano A que usam o combustível k.

$Vol_{A,k}$ = Volume combustível k calculado para o ano A

Após realizar o ajuste da intensidade de uso, conforme a Equação 3, tem-se a expressão para determinar o volume consumido na Equação 5.

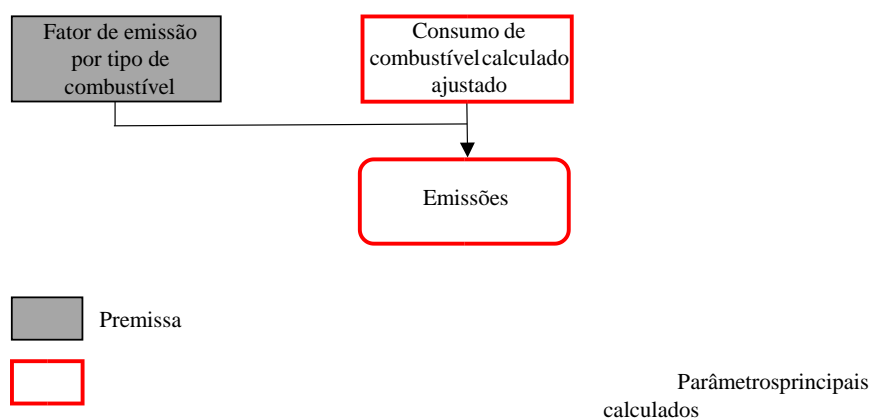
$$Vol'_{k,A} = \sum_{V_{md,A}} Fr_{A,V_{md},k} \cdot \frac{Iu'_{A,V_{md},k}}{Ren_{A,V_{md},k}} \quad (5)$$

Em que,

$Vol'_{A,k}$ = Volume combustível k calculado e calibrado para o ano A.

5. PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DA EMISSÃO DE CO₂

A emissão de CO₂ é determinada com base no consumo de combustível identificado e no fator de emissão por tipo de combustível. O cálculo das emissões de CO₂ seguiu o procedimento descrito na Figura 5, de acordo com a Equação 6.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 5: Procedimento adotado para cálculo da emissão de CO₂.

$$EmA = \sum_k Vol_{A,k} * FeCO_2 k \quad (6)$$

Em que,

$Vol_{A,k}$ = Volume combustível k calculado para o ano A

$FeCO_2$ = Fator de emissão, expresso em kg/l, variando de acordo com o combustível utilizado (Tabela 1).

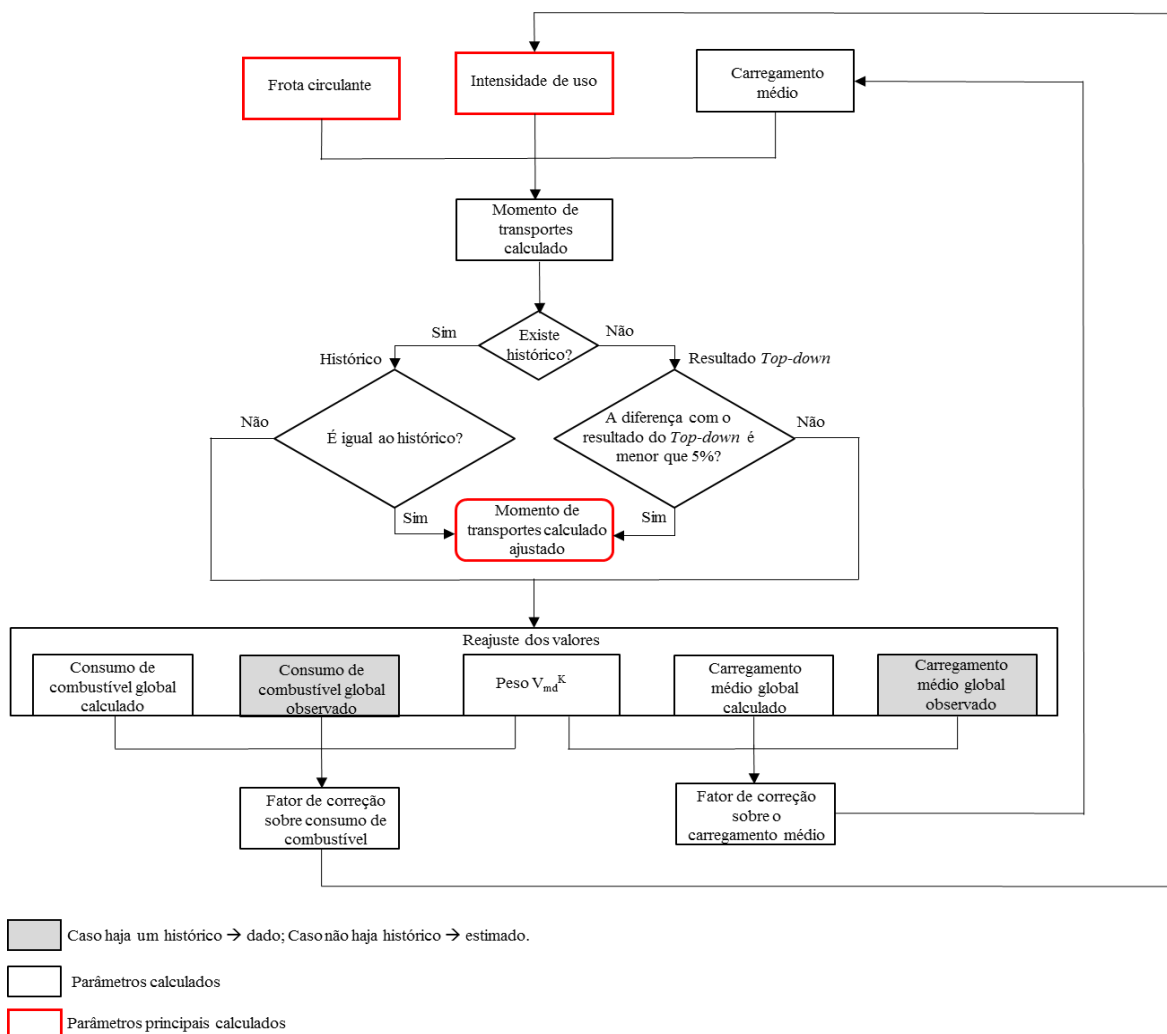
Tabela 1: Fator de emissão de CO₂ por tipo de combustível.

Combustível	Emissão de CO ₂	Unidade
Gasolina A	2,21	
Etanol Anidro	1,46	kg/l
Etanol Hidratado	1,53	

Fonte: Elaborado própria, com base em MMA (2013).

6. 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 passageiro (pass.km). Para o cálculo do momento de transportes de passageiro de acordo com o procedimento descrito na Figura 6.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 6: Procedimento adotado para cálculo do momento de transportes.

Para o cálculo do momento de transportes para o transporte de passageiro, adotou-se a Equação 7.

$$M_{calculado A, passageiro} = \sum_{V_{pl}} Fr_{A, V_{pl}, k} \cdot I_{uA', V_{pl}, k} \cdot Carreg_{A, V_{pl}, k} \quad (7)$$

Em que,

V_{pl} = Veículos para transportes de passageiros (automóveis, comerciais leves¹¹).

Além do ajuste na lotação média pode ser necessário o ajuste na intensidade de uso, respeitando a calibração do consumo (Equação 8).

$$\beta_{passageiros A} = \frac{Momento_{A, passageiro}^{observado}}{Momento_{A, passageiro}^{calculado}} \quad (8)$$

$$= \frac{Carreg_{A, V_{pl}, A}^{estimado, passageiro}}{Carreg_{A, V_{pl}, A}^{m\u00e9dio, passageiro}}$$

Os carregamentos estimados dos veículos foram definidos de acordo com o comportamento do histórico observado até 2010. Sendo assim, o valor futuro do momento de transporte foi determinado pela Equação 9.

$$Momento_{calculado}^{A, passageiro} \quad (9)$$

$$= \sum_{V_{pl}} Fr_{A, V_{pl}, k} \cdot I_{uA', V_{pl}, k} \cdot Carreg_{A, V_{pl}, k}^{estimado, passageiro} \cdot (\beta_{passageiros, A} \pm$$

$$p_{mdk})_{V_{pl}}$$

¹¹ Os veículos do tipo comerciais leves ciclo Diesel não foram considerados neste estudo.

REFERÊNCIAS

- EPE, 2014a. Empresa de Pesquisa Energética. Estudo de Demanda de Energia 2050. Nota técnica DEA 13/14, Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2014.
- 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.
- ANFAVEA, 2015. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em 10 nov. 2015.
- Sindipecas, 2009. Credidio, J. & Serra, B (coord). Estudo da frota circulante brasileira – Sindicato Nacional de Indústria de Componentes para Veículos Automotores.
- 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.