

POLÍTICAS PARA ELETROMOBILIDADE NO BRASIL: POSSÍVEIS CENÁRIOS E SEUS IMPACTOS

Daniel Neves Schmitz Gonçalves
George Vasconcelos Goes
Renata Albergaria de Mello Bandeira
Cintia Machado de Oliveira
Marcio de Almeida D'Agosto

Programa de Engenharia de Transportes (PET/Coppe)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

Apesar da tendência global em intensificar a participação de veículos elétricos na frota circulante, há lacunas quanto a pesquisas que projetem o impacto da eletromobilidade no transporte de passageiros, principalmente no caso de países em que os biocombustíveis têm uma participação significativa na demanda energética. O objetivo deste estudo é identificar, modelar e traçar possíveis cenários de penetração de veículos leves elétricos e híbridos no Brasil, para o transporte de passageiros, estimando o impacto no consumo de energia elétrica, gasolina e etanol até o ano de 2050. Foram elaborados quatro cenários baseados em dados históricos e diferentes premissas, sendo um conservador, um seguindo o plano governamental, um otimista e um de ruptura. Os resultados permitiram avaliar a participação da energia renovável e as emissões de dióxido de carbono em cada um dos cenários estabelecidos e identificar seus pontos positivos e negativos. Desta forma, este estudo poderá auxiliar políticas públicas para tomada de decisão da eletromobilidade no Brasil e servir de base para outros países em desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: veículos elétricos, eletromobilidade, cenários energéticos.

ABSTRACT

Although there is a trend toward the widespread use of electric vehicles, there are gaps in the literature about modelling the impact of electromobility on passenger transport, especially in countries where biofuels have a significant share of energy demand. The objective of this study is to identify, model and prospect scenarios for the advent of electric and hybrid light vehicles in Brazil for passenger transportation, estimating the impact on the consumption of electric energy, gasoline and ethanol by the year 2050. Four scenarios based on historical data and different assumptions are developed. The first is a conservative; the second follows the governmental plan; the third is an optimistic and the last one is a disruptive. Results evaluated the participation of renewable energy and carbon dioxide emissions in each scenario and identified the positive and negative points. Hence, this study can support public policies for electromobility decision making in Brazil and serve as a basis for other developing countries.

KEYWORDS: electric vehicles, electromobility, energy scenarios.

1. INTRODUÇÃO

O setor de transporte apresenta diversas problemáticas que podem ser resumidas na relação entre o sistema de transportes e o sistema de atividades. Por exemplo, a mobilidade urbana, as atividades de suprimento e distribuição física de produtos acabados emergem da distribuição espacial das atividades no país e impactam diretamente no consumo energético, bem como no desempenho econômico. Entretanto, em termos ambientais, o setor se destaca como um dos principais responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO₂), sendo responsável globalmente por cerca de 25% das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) relacionados à energia, com mais de dois terços dessas emissões atribuídas ao modo de transporte rodoviário (Sims *et al.* 2014).

No Brasil, o setor de transportes é o segundo maior consumidor de energia (34,3%), sendo 93,7% demandado pelo modo rodoviário (EPE, 2017), 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. Deste modo, o setor de transportes é

responsável por aproximadamente 49% (209 MtCO₂) das emissões antrópicas de CO_{2eq} no país (MME, 2013). Com base na evolução do crescimento da frota de automóveis para os próximos anos (ANFAVEA, 2016; Vaz *et al.*, 2015) e a forte relação entre a queima de combustíveis fósseis e os problemas ambientais, relacionados ao aquecimento global, que preocupam toda a humanidade, os planos de mobilidade sustentável de muitos governos em todo o mundo incluem a necessidade de uma mudança substancial no uso de veículos com baixa (ou nula) emissões de carbono, como veículos elétricos a bateria (VEB) (IEA, 2016; Sims *et al.*, 2014). Neste contexto, a eletromobilidade pode ser uma solução efetiva na abordagem de externalidades negativas associadas ao uso do carro com motor a combustão interna.

Existe uma tendência na política mundial para promover a introdução no mercado de VEB (Léva *et al.*, 2017). Nesse contexto, a Declaração de Paris sobre eletromobilidade e mudanças climáticas exige a implantação global de 100 milhões de carros elétricos em todos os segmentos de mercado até 2030 (UNFCCC, 2015). No entanto, não foram identificadas publicações, na literatura científica, que mostrassem o impacto (energia e GEE) da eletromobilidade no transporte de passageiros, principalmente no caso de países como o Brasil, onde os biocombustíveis (biodiesel e etanol) tem uma participação significativa na demanda de energia (Gonçalves e D'Agosto, 2017).

Deste modo, este artigo tem como objetivo identificar, modelar e traçar possíveis cenários da penetração de veículos leves (automóveis e comerciais leves) elétricos e híbridos no Brasil, estimando o impacto no consumo de energia elétrica, gasolina e etanol até o ano de 2050, com base em dados históricos e em premissas estabelecidas. Além disso, pretende-se avaliar a participação da energia renovável e as emissões de CO₂, em cada um dos cenários estabelecidos. Para tanto, adotou-se um modelo de previsão da demanda considerando quatro diferentes cenários, baseados na metodologia *bottom-up* e calibrados com base na metodologia *top-down*.

2. RBS EM CENÁRIOS DE INTRODUÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Mediante a incerteza quanto à evolução da introdução dos veículos elétricos e híbridos no Brasil e no mundo, buscou-se identificar, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática (RBS), estudos que pudessem nortear a elaboração de possíveis cenários, identificando a participação nas vendas e na frota dos veículos alternativos (elétricos e híbridos), metodologia/ferramenta utilizada, tipos de veículos considerados, número de cenários e os impactos da eletromobilidade.

A identificação dos estudos foi realizada na base de dados Compendex. A busca ocorreu com base nas palavras-chave: '*Electromobility*' and ('*Road transport decarbonization*' or '*car sale*' or '*Alternative cars*' or '*Light vehicles*' or '*long-term forecast*' or '*Scenarios*'). A escolha dessas palavras-chave está relacionada ao objetivo do presente estudo que visa modelar e traçar possíveis cenários da penetração de veículos leves elétricos e híbridos no Brasil, estimando o impacto no consumo de energia e emissões de GEE. O caminho utilizado para buscar as palavras-chave foi aplicado no título e no resumo dos artigos. Considerou-se de 2011 a 2016, como o período para realização da pesquisa, uma vez que o objeto de estudo é um tema recente e que a eletromobilidade está intimamente relacionada à história das baterias (Hoyer, 2008), cuja tecnologia evoluiu bastante nos últimos anos.

Baseado em Nord *et al.* (1995) e Ngai e Wat (2002) e a fim de assegurar a qualidade dos estudos a serem considerados, a busca (identificação dos artigos) foi restrita a artigos publicados em

periódicos internacionais indexados e revisados por pares. Quanto aos critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos, levou-se em consideração o conteúdo do estudo, sendo incluídos todos os trabalhos que apresentassem o impacto (energia e/ou emissões) da eletromobilidade no transporte de passageiros (transporte individual) a médio e longo prazo.

O desenvolvimento da RBS resultou na identificação de 11 artigos, sendo apenas um selecionado após a leitura completa. De tal modo, para identificar um maior número de publicações, ampliou-se a busca para identificar relatórios de instituições ligadas à atividade de transporte, internacionais e nacionais, bem como periódicos nacionais, relacionados à temática que abordassem as tendências e premissas de eletromobilidade para veículos leves. Nesta etapa da pesquisa, identificaram-se 9 estudos, com abrangências regional e global, onde foi possível verificar as estimativas sobre o percentual de aumento das vendas ou a participação na frota total de automóveis, híbridos e elétricos (Tabela 1).

Tabela 1: Cenários de introdução de veículos híbridos e elétricos

Referência	Abrangência	Previsão de vendas	Previsão de Frota	Categoria do veículo	Tipo do veículo	Ano
CCC (2008)	Reino Unido	-	40% ²	Veículos leves	Elétrico e híbrido plug in	2020
	Europa	-	90% ²		Elétrico	2050
Greenpeace Brasil (2016)	Brasil		1% e 5% ²	Automóveis	Elétrico e híbrido plug in	2030
			10% e 62% ²	Comerciais leves		2050
			5% ² 60% ²		Híbridos	2050
EPE (2016)	Brasil	85% e 15% ¹	-	Automóveis	Híbridos e elétricos, respectivamente	2050
Façanha (2012)	Estados Unidos, Japão, Canadá, toda a Europa, China, Coreia do Sul e Austrália.	8-9% ¹	-	Veículos leves	Elétrico	2030
	Outros países	1-2% ¹		Veículos leves	Elétrico	2030
	Brasil	80 mil	-	Veículos leves	Elétricos	2020
Frost & Sullivan (2013a)	Brasil	2% e 4% ¹ 20% e 40% ¹ 20% ¹ 50% ¹		Automóveis	Híbridos e elétricos, respectivamente	2030
				Comerciais leves		Híbridos
Greenpeace Brasil (2013)	Brasil	-	5% ²	Automóveis	Híbridos e elétricos,	2030
	Brasil	-	10% ²		Híbridos e elétricos,	2040
	Brasil	-	12% ²		Híbridos e elétricos	2050
Greenpeace (2015)	Global	35-40% ¹	-	Veículos leves	Híbridos e elétricos	2050
IEA (2015)	Global	20 milhões		Automóveis	Elétricos	2020
		80 milhões			Elétricos	2025
LPAA (2015)	Global	35% ¹	20% ²	Considerando os tipos de veículos do modo rodoviário Automóvel	Elétricos	2030
Shell (2016)	Global	-	80% ²	Veículos leves	Elétrico	2050
WEC (2011)	China	-	<5% ²	Automóveis	Elétrico	2050
	Global	-	26%, 18% e 16% ²	Automóveis	Híbrido, híbrido plug-in, elétrico, respectivamente	2050

Legenda:¹ Participação nas vendas ² Participação na frota.

3. MÉTODO

Foi adotado, nesta pesquisa, o procedimento metodológico denominado *bottom-up* para quantificar e identificar o consumo energético e de emissão de CO₂. Trata-se de uma metodologia que se baseia no desenvolvimento de estimativas de forma desagregada, permitindo assim a gestão individualizada de cada fonte de energia. Os cinco principais

conjuntos de dados utilizados foram: (1) Vendas e posteriormente a frota circulante considerando ano, modelo, idade e fonte de energia para cada tipo de veículo; (2) intensidade de uso por tipo de veículo; (3) lotação média (quantidade de passageiros/veículo); (4) consumo por tipo de fonte de energia e (5) fatores de emissão de CO₂ considerados nos inventários nacionais (MMA, 2014) para cada combustível utilizado.

Foram seguidos os procedimentos e as premissas adotadas no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2013 (MMA, 2014) para calcular a frota circulante, intensidade de uso, consumo de combustível e emissão de CO₂ (*tier 3*). O momento de transporte foi calibrado de acordo com o estudo de Gonçalves e D’Agosto (2017). Para os anos de 2016 a 2050, os resultados foram comparados e calibrados com as estimativas obtidos por meio da metodologia *top-down*, que tem por característica quantificar e identificar o consumo de energia e as emissões de CO₂ de forma agregada, com base em estimativas macroeconômicas, onde foi considerado o PIB *per capita*, permitindo apenas uma visão generalizada do uso de cada fonte de energia.

O método utilizado no estudo é o mesmo utilizado nos últimos estudos de cenários prospectivos futuros do país: Cenários prospectivos futuros para o uso de energia em transportes no Brasil e as emissões de GEE (Gonçalves e D’Agosto, 2017), e Emissão de GEE – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental (La Rovere *et al.*, 2016) e Revolução Energética (Greenpeace Brasil, 2016).

4. DADOS E PREMISAS ADOTADOS NOS CENÁRIOS

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 ANFAVEA, no período de 1957 a 2015 (Tabela 3). Para a projeção até o ano de 2050, baseou-se no Estudo de Demanda de Energia 2050 (MME, 2016), no MMA (2014) e nas premissas qualitativas estabelecidas para este estudo: (1) adotou-se a taxa de vendas média de 3,43% aa, de 2017¹ a 2050 com base na ANFAVEA (2016) e na estimativa de PIB utilizada no estudo de Gonçalves e D’Agosto (2017); (2) não foram considerados os automóveis convertidos para Gás natural veicular (GNV), uma vez que sua participação é e reduzida, além da possibilidade de ser descontinuado a partir de 2030 (MMA, 2011).

Tabela 3: Tipos e percentuais de automóveis, ano base 2015

Tipo de Veículo	Percentual de participação
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 <i>flexible fuel</i> -elétrico	0,01%
Automóvel elétrico <i>plug-in</i>	0,0001%

Para determinação da intensidade de uso de referência dos veículos que estarão em operação até o ano 2050, na forma da distância média anual percorrida pelos veículos (km/ano), baseou-se em informações fornecidas pelo MMA (2014), que utiliza a quilometragem média anual de 20.000 km, valor que decresce ao longo dos anos. Para a projeção até o ano de 2050, baseou-se

¹ Essa premissa foi adotada em função da crise econômica que atingiu o Brasil nos anos 2015 e 2016, em que se teve uma redução de 31,64% das vendas de veículos, apontada pelo setor.

nas premissas qualitativas estabelecidas para este estudo. A curva de sucateamento foi obtida a partir de MCT (2010) e SINDIPEÇAS (2009). As curvas adotadas 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, 2014). Ajustou-se a lotação média dos automóveis de 1,1 passageiro/veículo com base nos estudos MMA (2014) e Gonçalves e D’Agosto (2017).

Para identificação do rendimento atual dos automóveis, baseou-se em informações fornecidas pelo MMA (2014). Para os veículos híbridos e elétricos, utilizou-se os trabalhos elaborados por Sims *et al.* (2014) e por meio de manuais de veículos disponíveis atualmente, no mercado mundial (Nissan, 2011). Ainda, para determinação da melhoria da eficiência energética desses veículos, adotou-se os valores com base no programa Rota 2030 e nos estudos de Façanha *et al.* (2012), Sims *et al.* (2014) e Vyas *et al.* (2013), conforme Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: 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
Automóvel <i>flexible fuel</i> (gasolina)	12,2	25% até 2050
Automóvel <i>flexible fuel</i> (etanol)	8,5	25% até 2050

Notas: em relação a 2012.

Tabela 5: Rendimento energético dos automóveis e comerciais leves (híbrido diesel-elétrico)

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

Quanto à escolha do tipo de combustível para os veículos do tipo *flexible fuel*, até o ano de 2015, baseou-se em dados do balanço energético nacional (EPE, 2016). A partir desse ponto, com base no plano governamental e no programa Renovabio, a utilização foi ajustada linearmente até alcançar o percentual de 70% para cada um dos combustíveis, que só ocorreu em 2045 e se manteve até 2050 (MME, 2016). O percentual foi calculado com base na evolução do modo rodoviário de passageiros, no deslocamento da previsão da Política Nacional sobre Mudança do Clima sobre utilização do etanol em substituição à gasolina e em uma visão conservadora da estimativa declarada na NDC brasileira, da produção de etanol em 2025 e 2030 de 45 e 54 bilhões de litros.

4.1. Premissas específicas

O estudo desenvolve quatro possíveis cenários para a penetração de veículos leves elétricos e híbridos no Brasil. A elaboração do Cenário 1 se baseou no estudo de 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 da IEA (2015). No entanto, acredita-se que a frota brasileira de veículos híbridos e elétricos seguirá o patamar de crescimento mundial (no intervalo de 2015-2020) até o ano de 2035. De 2035 a 2050, adota-se o patamar mundial dos anos 2021-2025. Tal premissa foi adotada com base na condição do Brasil ser um país ainda em desenvolvimento, o que dificultaria a introdução de tecnologias inovadoras.

Para elaboração do Cenário 2, baseou-se no estudo Façanha *et al.* (2012), que apresenta uma participação de 1-2% de veículos elétricos até 2030. A partir daí, até 2050, baseou-se no planejamento governamental, estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética, por meio do Estudo de Demanda de Energia 2050 (EPE, 2016) e no estudo de La Rovere *et al.* (2016), considerando todas as premissas estabelecidas para os veículos leves (automóveis e comerciais leves), como a de não vender mais veículos a combustão interna a partir de 2045.

Para elaboração do Cenário 3, baseou-se nos estudos de Frost & Sullivan (2013a e 2013b) que estimam 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 desde 2015, optou-se por adotar esta premissa para os anos após 2025, de forma conservadora. Além disso, considerou-se também a *Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action Lima – Paris Action Agenda* (LPAA, 2015), que estima que pelo menos 20% de todos os veículos de transporte rodoviário (passageiro e carga) serão elétricos (média mundial) até 2030, e que os veículos leves serão os que mais vão contribuir para o alcance dessa meta.

O cenário 3 se baseou também no programa *Mobilise Your City Local Governments in Developing Countries Take High Road to Low-Carbon* (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 já se comprometeram, em 2016, a doar 5,5 milhões de euros.

Adicionalmente, baseou-se no estudo Shell (2016) que considera uma participação global de 80% de veículos elétricos em 2050. Sendo assim, com base, nos estudos citados e em Greenpeace (2013) e Gonçalves e D’Agosto (2017), 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.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Para os quatro cenários analisados neste estudo, estima-se, com base nas estimativas de PIB e população, que a frota brasileira 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 1).

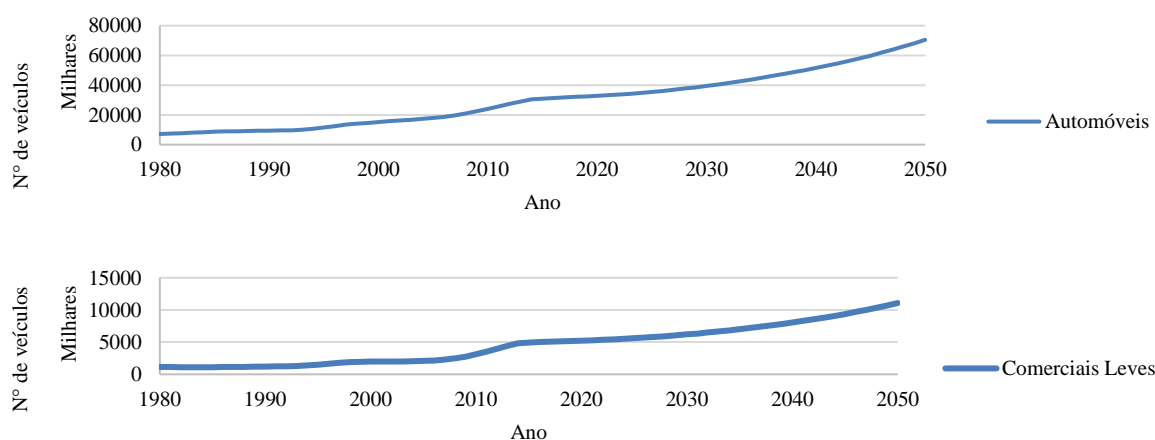


Figura 1: Evolução da frota total de automóveis e comerciais leves - Cenários 1, 2, 3 e 4

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. A Figura 2 apresenta a evolução da frota de automóveis por tipo de tecnologia e energia utilizada. Estima-se que no Cenário 1, em 2050, os automóveis *flexible fuel* tenham predominância em relação a frota (95,28%), com pouca participação dos híbridos (2,73%) e elétricos (1,64%). Estima-se uma participação residual dos convencionais a gasolina e etanol (0,34% e 0,01%, respectivamente).

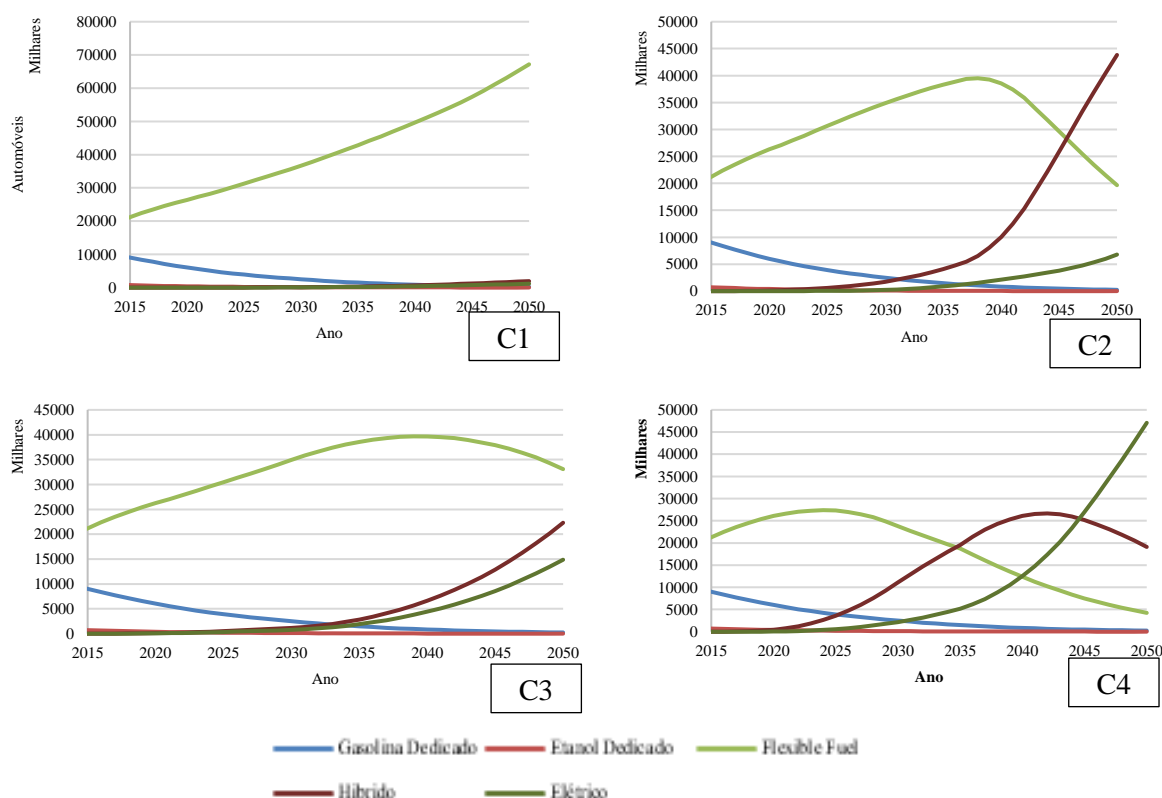


Figura 2: Evolução da frota de automóveis, por tipo de combustível e tração

No Cenário 2, estima-se que os automóveis híbridos tenham predominância em relação a frota (62,17%), ultrapassando a frota dos *flexible fuel* em 2046. A participação do *flexible fuel* é de 27,85% e os elétricos atingiriam 9,63%. Estima-se uma participação residual dos convencionais a gasolina e etanol (0,34% e 0,01%, respectivamente).

No Cenário 3, estima-se que os automóveis *flexible fuel* tenham predominância em relação a frota (46,92%), com participação significativa dos híbridos (31,64%) e elétricos (21,09%). Estima-se uma participação residual dos convencionais a gasolina e etanol (0,34% e 0,01%, respectivamente). Por fim, o Cenário 4, estima-se que os automóveis elétricos tenham predominância em relação a frota (66,59%), seguido dos híbridos (27,06%), onde ultrapassarão os veículos *flexible fuel* (6,00%) em 2040 e 2035, respectivamente.

A Figura 3 apresenta a evolução da frota de comerciais leves por tipo de tecnologia e energia utilizada.

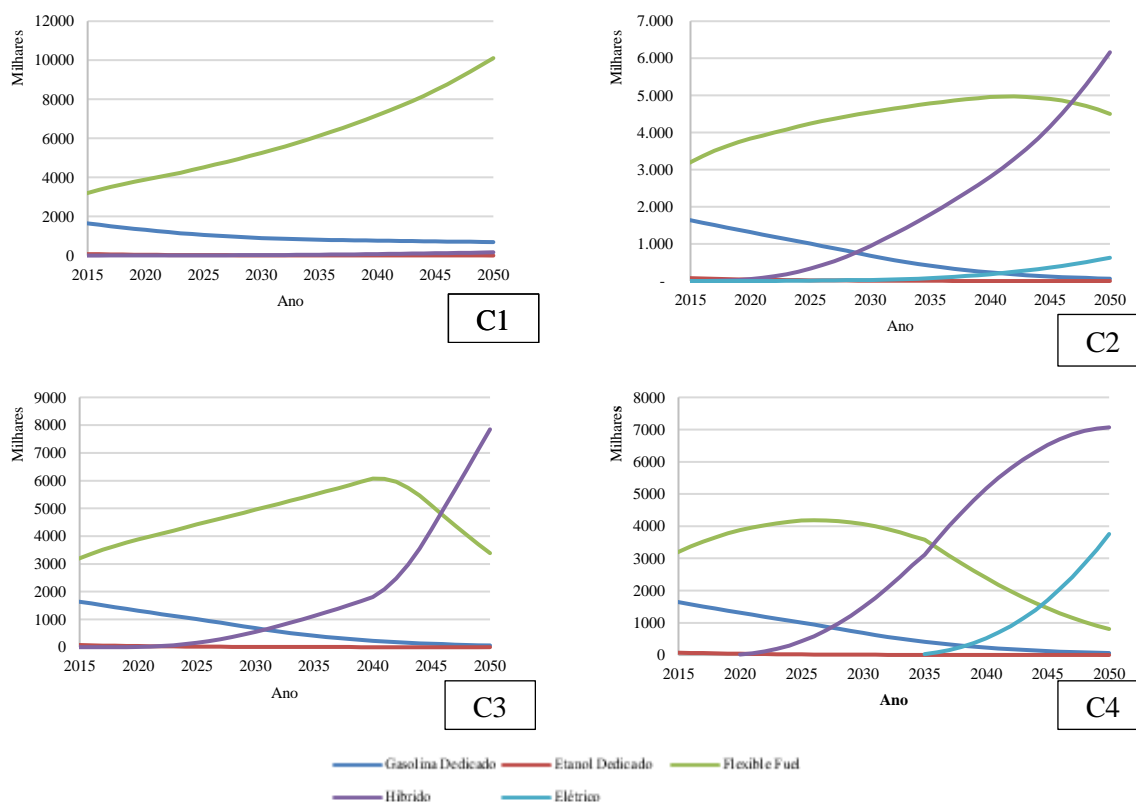


Figura 3: Evolução da frota total de comerciais leves, por tipo de combustível e tração

Estima-se que no Cenário 1, em 2050, os comerciais leves *flexible fuel* tenham predominância em relação a frota (95,18%) e com pouca participação dos híbridos (1,54%). Estima-se uma participação residual dos convencionais a gasolina e etanol (6,28% e 0,006%, respectivamente). No Cenário 2, estima-se que os comerciais leves híbridos tenham predominância em relação a frota (69,44%), ultrapassando a frota dos *flexible fuel* em 2047. A participação do *flexible fuel* é de 30,00%, e a participação residual dos convencionais a gasolina e etanol de 0,55% e 0,01%, respectivamente. Assim como no Cenário 2, o Cenário 3, estima-se que os comerciais leves híbridos tenham predominância em relação a frota (54,29%), ultrapassando a frota dos *flexible fuel* em 2047. A participação do *flexible fuel* é de 39,63% e os elétricos atingiram 5,52%. Estima-se uma participação residual dos convencionais a gasolina e etanol (0,55% e 0,01%, respectivamente). Por fim, o Cenário 4, estima-se que os veículos híbridos tenham predominância em relação a frota (60,44%), seguido dos elétricos (32,13%), onde ultrapassarão os veículos *flexible fuel* (6,90%) em 2036 e 2045, respectivamente.

A Figura 4 apresenta a demanda de energia por tipo. Observa-se que o Cenário 1 será o mais dependente de gasolina, com uma demanda de energia cerca de 40% e 46% superior aos Cenário 2 e 3, respectivamente, e 3 vezes superior ao Cenário 4. O Cenário 2 demandará 5% mais que o Cenário 3 e o dobro do Cenário 4, que por sua vez, apresenta uma demanda 185% inferior ao Cenário 3. No que diz respeito à demanda de etanol, verifica-se que o Cenário 1 será o mais dependente deste combustível, com uma demanda 33% e 44% inferior aos Cenário 2 e 3, respectivamente e três vezes mais que o Cenário 4. No que diz respeito à demanda de energia elétrica, verifica-se que o Cenário 4 será o mais dependente desta energia, necessitando cerca 24,8 vezes a demanda do Cenário 1, 3,4 vezes a demanda do Cenário 2 e 87% mais que o Cenário 3.

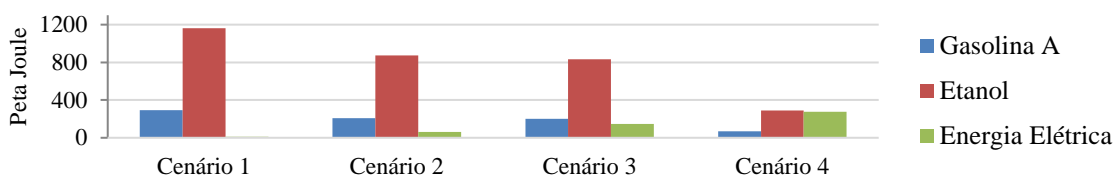


Figura 4: Comparação demanda de combustível e energia elétrica (Peta Joule)

Analisando a demanda total de energia (Figura 5), 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. É oportuno ressaltar o Cenário 2 é o mais otimista no que diz respeito à implementação dos veículos híbridos 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 alternativos.

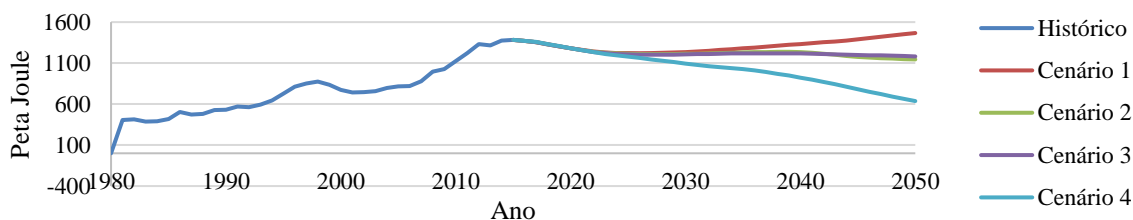


Figura 5: Demanda de energia em Peta Joule

Os resultados históricos demonstram que a participação de energia renovável na atividade de transporte individual de passageiros no Brasil já se mostra bastante significativa, com cerca de 33,39% no ano de 2015. Para os automóveis e veículo comerciais leves, 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 deste combustível de 27% na gasolina C. 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%, para o Cenário 3, estima-se uma participação de 80,55% e para o Cenário 4, uma participação de 80,3% (Figura 6).

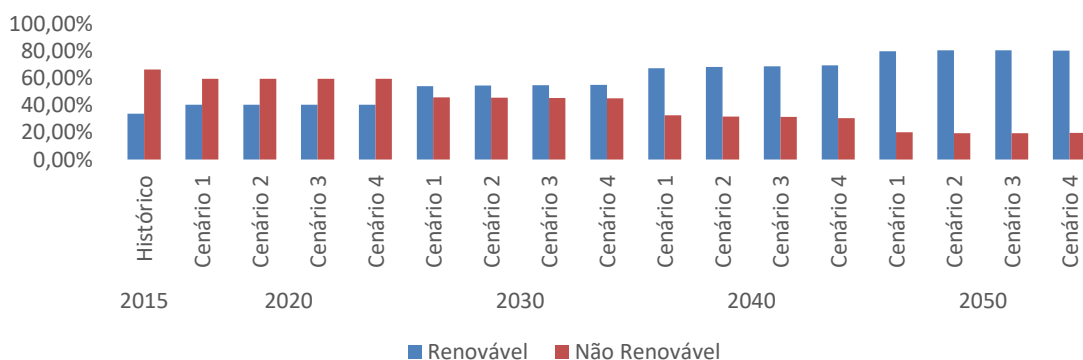


Figura 6: Participação de energia por fonte

As estimativas demonstram que os quatro 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, considerando a expectativa de que a geração energética brasileira seja composta por 80% de fontes renováveis, em 2050 (IES Brasil, 2015 e EPE, 2016). 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, sendo necessário um mix entre a geração eólica, solar e hídrica. No que diz respeito à emissão de CO₂, considerando apenas o uso final da energia, estima-se que o Cenário 1 seja o maior emissor, alcançando um resultado 305% superior ao Cenário 4, 41% maior que o Cenário 3 e 34% superior ao Cenário 2 (Figura 7).

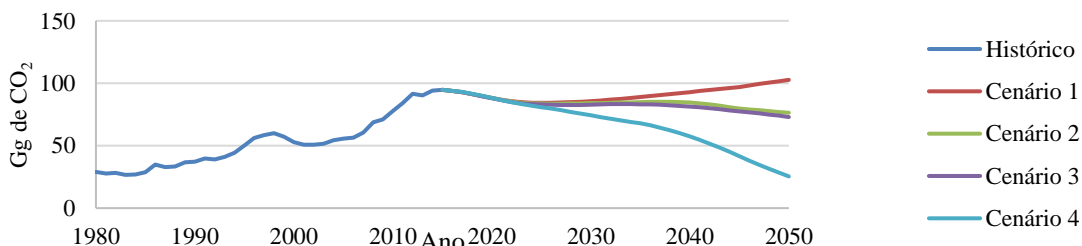


Figura 7: Emissão de CO₂

Tal resultado demonstra a capacidade de redução da emissão de CO₂ por meio da utilização de energia elétrica, tendo em vista que este Cenário é o maior demandante de energia elétrica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou identificar, modelar e estimar possíveis cenários da eletromobilidade no Brasil, analisando a entrada de automóveis híbridos e elétricos no país e verificando o impacto no consumo de energia elétrica, gasolina e etanol, até o ano de 2050, com base em dados históricos e diferentes premissas estabelecidas. Além disso, fez-se uma avaliação quanto a participação da energia renovável e as emissões de CO₂, em cada um dos cenários estabelecidos.

Os resultados da pesquisa indicam que o Cenário 3 é o mais equilibrado no que diz respeito à 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. Ainda é importante 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 etanol poderia ser destinado para o transporte de carga, por meio da sua aplicação em substituição aos comerciais leves², micro-ônibus, caminhões leves e semileves do ciclo diesel. Como contribuição inovadora, aponta-se um estudo inédito no Brasil quanto a introdução de tecnologias alternativas (veículos elétricos e híbridos) para transporte de passageiros (individual). É importante destacar que, embora os resultados apresentados se refiram apenas aos veículos leves, todo o setor de transportes foi modelado, considerando todos os modos de transporte e tipos de atividade (passageiro e carga), pois impactam na atividade de transportes e conseqüentemente na demanda energética e emissões de GEE.

Portanto, os resultados deste estudo podem auxiliar no atendimento a NDC brasileira e pode nortear projetos como o da UNFCCC (2015), que visa apoiar países em desenvolvimento (África, Sul da Ásia, América do Sul, e Oriente Médio) e o plano de eletro mobilidade proposto na COP21 por meio da LPAA (2015), tendo em vista que poderão compreender melhor a realidade brasileira. Contudo, destaca-se que uma das limitações do estudo foi medir apenas emissão de uso final de CO₂ e não o ciclo de vida. Outra limitação foi de abordar apenas a introdução dos automóveis elétricos e híbridos de uso particular, não abordando veículos do transporte coletivo (micro-ônibus e ônibus urbano) e veículos de carga (comerciais leves e caminhões). Logo, como trabalhos futuros, sugere-se que seja realizado cálculo da emissão de CO₂ considerando todo o ciclo de vida dos veículos e todos os tipos de veículos do transporte rodoviário (cargas e passageiros).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANFAVEA, 2016. 2034 Uma Visão do Futuro. <http://automotivebusiness.anankecdn.net.br/pdf/pdf_264.pdf> (acesso em 27.01.2016)
- ANFAVEA, 2016. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>> (acesso em 10.11.2015).
- CCC – Committee on Climate CHange, 2008. Building a low-carbon economy – the UK’s contribution to tracking climate change – The First Report of the Committee on Climate Change
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional – 2015. Ano Base 2014, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil, 2015.
- Façanha, C., Blumberg, K., Miller, J., 2012. Global Transportation Energy and Climate. The International Council on Clean Transportation (ICCT).
- 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=aHR0cDovL3d3dy5mcm9zdC5jb20vc3JjaC9jYXRhbG9nLXNlYXJjaC5kbz9wYWdlU2l6ZT0xMiZz3J0Qnk9UiZxdWVyeVRleHQ9U3RyYXRIZ2ljK0FuYWx5c2lzK0JSQVpJTCZ4PTAmeT0wQH5AU2VhcmNoIFJlc3VsdHNAfkaXNDY1MzEyOTY2MDQx>> (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=9836-00-63-00-00&bdata=aHR0cDovL3d3dy5mcm9zdC5jb20vc3JjaC9jYXRhbG9nLXNlYXJjaC5kbz9wYWdlU2l6ZT0xMiZTcmM9U21hcnRNSSZxdWVyeVRleHQ9U21hcnQraG9tZSZwYWdlPTEyMEB%2BQFNlYXJjaCBSZXN1bHRzQH5AMTQ0MDQ1MzE5NjA3OQ%3D%3D>> (acesso em 07.06.2016)
- Greenpeace, Revolução Energética. Hawaii Gráfica & Editora, 2013.
- Greenpeace International, Global Wind Energy Council e Solar Power Europe, 2015. 5th Edition 2015 World Energy Scenario.
- Greenpeace Brasil (2016) Revolução energética – Rumo a um Brasil com 100% de energias limpas e renováveis.

² Os comerciais leves ciclo diesel são majoritariamente utilizados no transporte de carga, portanto este não foi considerado nos cenários apresentados.

- Gonçalves, D. N. S.; D'Agosto, M. A. Cenários prospectivos futuros para o uso de energia em transportes no Brasil e as emissões de GEE Cenário Business as Usual (BAU) - 2050. 2017.
- Hoyer, K. G. The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of electric and Hybrid Cars. Utilities Policy. S/l: Elsevier, 2008.
- IEA, 2016. Global EV Outlook 2016-Beyond one million electric cars [WWW Document]. URL (https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf)
- IES Brasil, 2015. Implicações econômicas e sociais de cenários de mitigação de gases de efeito estufa no Brasil até 2030.
- La Rovere *et al.* Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima/COPPE/UFRJ), 2016.
- Lévy, P. Z.; Drossinos, Y. and Thiel, C. (2017) The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost ownership. Energy Policy. N° 106, p. 524-533.
- LPAA – Lima-Paris Action Agenda, 2015. Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action, Paris.
- MMA, 2011. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- MMA, 2014. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- MME, 2013. 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.
- MME, 2016. Empresa de Pesquisa Energética. Estudo de Demanda de Energia 2050. Nota técnica DEA 13/14, Ministério de Minas e Energia, Brasil.
- Nissan, 2011. Leaf - Owner Manual.
- Shell, 2016. A better life with a healthy planet, Shell International BV, 2016.
- Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. J. Schauer, D. Sperling, 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.
- Sims, R., 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.
- Sindipeças, 2009. Credidio, J. & Serra, B. (coord). Estudo da frota circulante brasileira – Sindicato Nacional de Industria de Componentes para Veículos Automotores.
- 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)
- 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, pp.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, pp 82.