



AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE VEÍCULOS ELÉTRICOS E VEÍCULOS CONVENCIONAIS NO CONTEXTO DE MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019127-148

Mariana Cardoso Chrispim¹
Jhonathan Fernandes Torres de Souza²
André Felipe Simões³

RESUMO

Atualmente, os veículos elétricos (VE) têm sido apontados como tendência futura da indústria automotiva. Dentre as motivações dos países para isto estão: reduzir a dependência de petróleo e seus derivados, promover o uso mais eficiente de energia e causar menores impactos ambientais, em especial os correlatos à emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Os automóveis híbridos e elétricos não representam uma inovação tecnológica recente, apesar disso os mesmos contam com uma participação marginal na história do automóvel desde a década de 30. Aliás, vale ressaltar que os VE não são isentos de impactos ambientais, sobretudo na etapa de produção dos mesmos. Neste artigo, espera-se contribuir com informações acerca de características do desempenho ambiental de VE em relação aos veículos convencionais movidos à combustão interna (MCI), analisando quais suas vantagens e desvantagens, quais os impactos ambientais causados em todo o ciclo de vida e como essa tecnologia poderia contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, também se discute quais os impactos da expansão dos VE na demanda de energia final. Para tanto, empreendeu-se revisão da literatura sistêmica com base em pesquisas recentes e naquelas basilares focadas nos VE. Um dos resultados principais indicou que, quanto maior a participação de energias renováveis na oferta de energia elétrica, maior será a redução das emissões de GEE pelos VE, sendo que em alguns casos pode haver um aumento das emissões no balanço total do ciclo de vida desta tecnologia comparada à convencional.

Palavras-chave: Veículos elétricos. Mudanças climáticas. Impactos Ambientais. Ciclo de Vida. Energia.

¹ Bacharel em Gestão Ambiental na Escola de Artes, Ciências e Humanidades -EACH da Universidade de São Paulo. Mestre em Ciências, pelo Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, na área de concentração de Saúde Ambiental, da Faculdade de Saúde Pública da USP. Doutoranda em Sustentabilidade na EACH- USP (bolsista CAPES). E-mail: mariana.chrispim@usp.br >><<<http://orcid.org/0000-0001-9466-2846>

² Possui graduação em Gestão Ambiental pela Universidade de São Paulo. Mestrando pelo programa de Sustentabilidade (atual), com bolsa FAPESP. Universidade de São Paulo (USP)/ Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade. E-mail: jhonathan.souza@usp.br

³ em Engenharia Metalúrgica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1994), mestrado em Engenharia Metalúrgica - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1998), doutorado em Planejamento Energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2003) e pós-doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos pela Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (2006). USP. E-mail: afsimoes@usp.br

1 INTRODUÇÃO

O estímulo aos carros elétricos se junta com a política de transformação de uma economia do petróleo (ou fóssil) para uma economia sustentável, baseada em fontes de energia renováveis e tem se tornado uma tendência do futuro da indústria automotiva (LI; YANG; SONG, 2017). Podemos exemplificar essa afirmação citando a situação histórica dos Estados Unidos da América (EUA) em relação a esse tema.

Os EUA são o país que mais consome petróleo no mundo, particularmente no setor de transportes e, em 2009, mais de 95% da energia consumida foi oriunda do petróleo (BARAN; LEGEY, 2010). Grande parte do petróleo consumido pelos EUA é importada de outros países como Canadá e México, sendo que a gasolina é o derivado de petróleo mais consumido pelo setor de transportes nos EUA, compreendendo 64% da energia consumida. Como resposta a essa forte dependência do petróleo, o governo dos EUA, de modo mais incisivo desde fins da Década de 2000, vem estimulando a produção de automóveis elétricos e híbridos (BARAN; LEGEY, 2010).

A história dos carros elétricos não é recente e está ligada ao surgimento das baterias. A primeira bateria de chumbo-ácido foi desenvolvida em 1859 pelo belga Planté. Esta bateria veio a ser utilizada posteriormente, a partir de 1880, por vários veículos elétricos na França, EUA e Reino Unido (BARAN; LEGEY, 2010). No ano de 1881, Trouvé permitiu que o primeiro carro elétrico fosse alimentado por uma bateria secundária. Somente quatro anos depois, Benz demonstrou o primeiro veículo de motor de combustão interna (JUNIOR, 2014).

Portanto, os veículos elétricos (VE) não representam uma invenção tecnológica recente, e surgiram antes dos veículos baseados em combustíveis fósseis (SILVA, 2014). Porém, o veículo à explosão (combustão interna) acabou predominando como opção de transporte devido a alguns motivos, como: sua maior autonomia em quilômetros por litro de combustível; a inexistência de preocupação com emissões atmosféricas de veículos urbanos na época (início do Século XX, no caso); baixo preço de combustíveis fósseis; o fato de as baterias possuírem baixa eficiência e densidade de carga; o sistema produtivo de automóveis desenvolvido por Henry Ford, que permitiu que o preço final dos carros a gasolina fosse equivalente à metade do preço pago pelos elétricos. Além disso, na Década de 1920, as rodovias dos EUA já interligavam diversas cidades, o que demandava veículos capazes de percorrer longas distâncias, além da facilidade de comercialização de combustíveis com a rede

de distribuição de gasolina (LARMINIE; LOWRY; 2003 *apud* PUPO, 2012; EIA DOE, 2009 *apud* BARAN; LEGEY, 2010).

Com o passar do tempo foram desenvolvidas tecnologias que melhoraram o desempenho dos VE, a exemplo: bateria de níquel-ferro com 40% a mais de capacidade do que a de chumbo. Outros avanços foram a frenagem regenerativa, equipamento capaz de transformar a energia cinética do automóvel em energia elétrica durante uma frenagem, e o sistema híbrido, movido a gasolina e a eletricidade. O sistema de frenagem regenerativa é capaz de recuperar até 30% da energia do veículo (BARAN; LEGEY, 2010; LARMINIE; LOWRY, 2003 *apud* PUPO, 2012; SILVA, 2014).

No início do Século 19, havia concorrência entre os automóveis movidos a vapor, os elétricos e à gasolina. Havia também facilidade em se encontrar profissionais capazes de realizar a manutenção e conserto de veículos a gasolina devido à sua simplicidade. Por outro lado, havia poucos mecânicos que compreendiam o funcionamento dos motores elétricos e das baterias de automóveis elétricos e híbridos. Devido a esses fatores acima mencionados, a produção de VE e híbridos passou a diminuir a partir da Década de 1930 nos EUA e no Reino Unido. É interessante notar que houve picos de produção nesses países apenas durante as duas guerras mundiais, momentos em que houve racionamento de combustíveis (BARAN; LEGEY, 2010).

A partir da Década de 1960, quando houve uma maior conscientização pública acerca dos problemas ambientais e sobre os limites da exploração dos recursos naturais, principalmente os não-renováveis, os automóveis elétricos voltaram a ganhar a atenção das indústrias, tais como a Ford e a General Motors. Nesse período, os automóveis convencionais passaram a ser vistos como a principal fonte da poluição atmosférica nas cidades. Os automóveis elétricos, por outro lado, não geram emissões locais e permitem o uso de fontes de energia renováveis, o que acarretou em incentivos do governo estadunidense a pesquisas relacionadas à tecnologia de VE e híbridos. Outros países também passaram a investir nessa tecnologia. Em 1997, foi lançado no Japão o veículo híbrido Prius da fabricante Toyota, e a Audi na Europa criou o também híbrido Duo. Entretanto, vale pontuar aqui que na Década de 1990 as grandes companhias de petróleo, como Exxon, Shell e Texaco, contribuíram

financeiramente para campanhas de políticos contrários aos VE e financiavam propagandas contrárias a esse tipo de veículo (BARAN; LEGEY, 2010).

Trazendo a questão do transporte para a realidade brasileira, de acordo com a projeção realizada por Dargay, Gately e Sommer (2007), em 2030, a frota nacional seria a quinta maior do mundo, atingindo 83,7 milhões de automóveis. Em 2015, o Brasil contava com 49,8 milhões de automóveis (IBGE, 2015). Como consequência, a elevada concentração de veículos pode causar congestionamentos, principalmente nas grandes cidades brasileiras (o que já ocorre em megalópoles, como São Paulo e Rio de Janeiro). Além disso, o crescimento do número de automóveis no Brasil certamente demandará um aumento proporcional da demanda energética nos próximos anos¹, o que torna atrativo o uso da eletricidade no setor de transportes como alternativa aos combustíveis fósseis utilizados atualmente, especialmente a gasolina (BARAN; LEGEY, 2011). Uma maior adoção de VE, entretanto, pode gerar aumento da demanda de carga sobre o sistema elétrico e as redes de transmissão, que, eventualmente, necessitarão de investimentos para sua readequação (IPEA, 2015).

Dado esse cenário, se questiona sob que circunstâncias a entrada de veículos leves eletrificados é estratégica tanto do ponto de vista do planejamento energético, como no contexto da transição para uma economia de baixo carbono (BRAJTERMAN, 2016). Em relação à mitigação das mudanças climáticas, as transições tecnológicas oferecem a principal possibilidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) (MIGUEZ; OLIVEIRA; MENDES, 2010). Todavia, é improvável que se possa atingir a estabilização atmosférica de GEE através da adoção de apenas um tipo de tecnologia, sendo necessário um portfólio de tecnologias, adequáveis a diversos setores econômicos, para se atingir as metas de mitigação almejadas (SOCOLOW; PACALA, 2004; MIGUEZ; OLIVEIRA; MENDES, 2010).

Nesse contexto, algumas questões abordadas nesse artigo são: Até que ponto os VE podem ser considerados sustentáveis? Estes veículos de fato contribuem para a mitigação de mudanças climáticas? Quais são os impactos gerados na vida útil de um VE e de um veículo convencional? Quais os resultados quando comparamos os VE e os veículos convencionais? Existe infraestrutura suficiente e adequada à

¹ Segundo os dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2017), o consumo energético total do setor rodoviário vem aumentando em média 1,4% ao ano, considerando o período de 2010 a 2016.

mobilidade de VE? Por fim, o presente artigo discute se a expansão da produção e uso de VE constitui-se, de fato, em estratégia menos energo-intensivas e carbono-intensiva face aos veículos convencionais. Para embasar essa discussão, realizou-se uma comparação em relação ao ciclo de vida produtivo desses dois grupos de veículos, quais sejam: os elétricos e os convencionais.

2 DISCUSSÃO

2.1 Tipos de veículos

Os veículos podem ser divididos nas seguintes categorias (IEA, 2011; DOUCETTE; MCCULLOCH, 2011; ABVE, 2013; PBMC, 2014; SILVA, 2014; BRAJTERMAN, 2016):

1. Veículo convencional: Veículo convencionalmente comercializado, com motor a combustão interna (MCI) de ciclo Otto. Abrange os veículos que rodam apenas com gasolina ou apenas com etanol e veículos dotados de tecnologia *flex fuel* que funcionam com gasolina e etanol.
2. Veículo convertido a gás natural veicular (GNV): Veículo de qualquer tecnologia que foi convertido para utilizar gás natural veicular.
3. Veículo Híbrido (*Hybrid Electric Vehicle* - HEV): Veículo com dois motores, sendo um motor elétrico, alimentado por uma bateria elétrica, e um motor a combustão interna. A bateria do HEV é recarregável exclusivamente por meio do sistema de frenagem regenerativa (não é conectado à rede elétrica). Um veículo só é classificado como totalmente híbrido se puder ser movido, pelo menos parte do seu tempo, somente pelo motor elétrico. Um dispositivo capaz de acumular energia e que tem sido aplicado em veículos comerciais híbridos é o ultracapacitor, capaz de acumular muito rapidamente grande quantidade da carga elétrica recuperada na hora da frenagem, por exemplo, para liberá-la posteriormente de maneira instantânea. Possui maior autonomia que o veículo elétrico à bateria.
4. Plug-in Híbrido (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle* - PHEV): Veículo híbrido, que também conta com um MCI a combustível líquido e um motor elétrico. A sua bateria, no entanto, é recarregável tanto via frenagem regenerativa quanto via

conexão a um sistema elétrico. Aliado aos *smart grids* permite que os automóveis elétricos funcionem como buffers da rede de distribuição, carregando suas baterias nas horas de baixa demanda e descarregando-as nos horários de pico.

5. Veículo elétrico à bateria (*Battery Electric Vehicle* - BEV): Veículo baseado em um motor elétrico, unicamente. O veículo é alimentado por uma bateria, que pode ser recarregada na rede elétrica local e também através do sistema de frenagem regenerativa, que aproveita a energia liberada durante as frenagens.
6. Veículo elétrico com Células a Combustível: usa a energia gerada por uma célula a partir do Hidrogênio para a movimentação do veículo ou o carregamento da bateria.

De acordo com a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL ENERGIA, 2017) existem basicamente três tipos de carregamento de veículos elétricos: lento, no qual o tempo de carregamento é de 6 a 8 horas (recomendado para uso em residências e empresas); semirrápido, no qual o tempo de carregamento é entre 1 a 2 horas (recomendado para uso em espaços públicos, centros comerciais, estacionamentos, etc.); e rápido, no qual o tempo de carregamento é de 30 minutos para atingir 80% de carga e 1 hora para 100% da carga (recomendado para uso em pontos públicos, como: rodovias). A Figura 1 ilustra alguns dos modelos em circulação no Brasil.

Figura 1- Alguns modelos de carros elétricos que estão em circulação no Brasil.



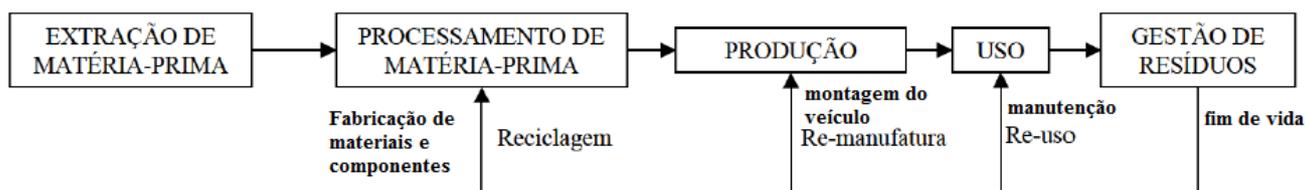
Fonte: CPFL Energia (2017).

Um exemplo de utilização no Brasil para transporte de cargas são veículos elétricos movido a puxão, que são usados para a coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis por catadores em Foz do Iguaçu (LAZZARI, 2010).

2.2 Comparação do ciclo de vida dos veículos elétricos e dos veículos convencionais

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite quantificar os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto desde a extração de matérias-primas até a sua destinação final (EGEDE *et al.*, 2015), conforme ilustra a Figura 2. Entretanto, realizar esta estimativa é uma tarefa desafiadora. Neste contexto, nesta subseção são apresentados e comparados resultados de estudos que utilizaram esse instrumento para avaliar, comparativamente, diversos tipos de VE e MCI.

Figura 2- Etapas da Avaliação de Ciclo de Vida



Fonte: Adaptado de Rubin (2001) *apud* Souza (2015).

Os impactos ambientais de VE podem ser influenciados por vários fatores. A análise sob a perspectiva *Cradle-to-grave* e *Well-to-wheel* (WTW) consideram todo o ciclo de vida e podem ser úteis para avaliar a contribuição dos VE para a redução das emissões de GEE (FARIA *et al.*, 2013; EGEDE *et al.*, 2015). Os veículos movidos à gasolina e a diesel em operação poluem a atmosfera (LI, YANG, SONG, 2017). Já o VE permite emissões nulas durante a fase de uso. No caso brasileiro, onde predomina a geração hidrelétrica no sistema interligado nacional (SIN), o VE permite reduções de emissões totais de GEE (desde a geração de energia elétrica até o uso do veículo e outros processos que demandam energia) muito expressivas, quando se compara o BEV com seu equivalente convencional MCI.

No entanto, os VE não estão livres de emissões de GEE em seu ciclo de vida, por exemplo: exigem energia para recarregar os veículos, e na geração da eletricidade existe um nível de emissão maior ou menor, a depender da matriz elétrica do país

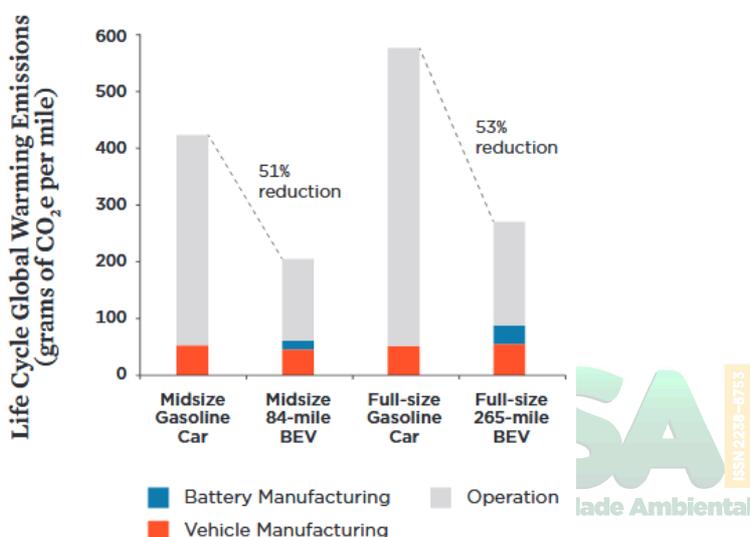
(UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2015). Um estudo de ACV desenvolvido pela 'Union of Concerned Scientists' (2015), analisou as emissões de gases poluentes inerentes às diferentes etapas da produção, operação e disposição de BEV e as comparou com as emissões de veículos movidos à gasolina. Esse estudo constatou que, em média, um veículo elétrico gera metade das emissões de GEE de um carro regular (movido à gasolina) ao longo de sua vida útil, mesmo quando incluídas as emissões causadas pelo processo de fabricação das baterias. A ampliação do uso de VE tem potencial para reduzir as emissões de GEE, especialmente quando recarregado por eletricidade gerada por fontes renováveis. Foi feita comparação desde as matérias-primas para se fabricar um carro, sua produção, uso, destinação e/ou reciclagem. O estudo considerou os modelos mais populares em vendas nos EUA: *Nissan LEAF* e o *Tesla Model S*. Considerando os locais onde esses carros são vendidos atualmente (nos EUA), as emissões do processo de produção são compensadas no período de 6 a 16 meses de uso dos veículos elétricos. As emissões de GEE associadas ao uso do veículo elétrico não são insignificantes e vão depender das fontes de energia utilizadas para recarregar a bateria do veículo e da eficiência do mesmo. Os resultados mostraram que dirigir um carro elétrico gera menos emissões de GEE do que dirigir um carro à gasolina que consegue fazer 12,3 km/l (UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2015).

As emissões dos VE tendem ainda a diminuir, visto que, nos EUA, a participação do carvão na geração de energia elétrica diminuiu de 49% em 2006 para 30% em 2016, em detrimento das fontes renováveis, sobretudo energia eólica e solar (EIA, 2017). No Brasil, 83% da geração elétrica advieram de fontes renováveis em 2016 (EPE, 2017). Em uma rede composta por 80% de eletricidade renovável, fabricar um carro elétrico resultará em 25% de redução de emissões na produção e 84% de redução de emissões relacionadas ao uso (UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2015).

A etapa de fabricação de veículos elétricos gera mais emissões do que a fabricação de veículos movidos à gasolina devido aos materiais utilizados. Cerca de 85 a 90% das emissões no ciclo de vida de veículos movidos à gasolina estão na etapa de operação, sendo que a etapa de fabricação possui menor porção de emissões (UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2015; SOUZA, 2015; SAMARAS; MEISTERLING, 2008). Já um VE gera maior quantidade de emissões (cerca de 70%)

em sua etapa de fabricação do que o veículo à gasolina, considerando um veículo que faça 426 km por carga. Isso varia dependendo do modelo. Porém se considerarmos no balanço total (fabricação + operação), o veículo elétrico irá gerar 53% menos emissões de GEE do que o veículo equivalente à gasolina (Figura 3). Já um veículo elétrico de tamanho médio (*midsized*) causa uma redução de emissão de cerca de 29 toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e) em comparação a um veículo similar movido à gasolina.

Figura 3- Ciclo de Vida de emissões de GEE das fases de fabricação e operação de veículos à gasolina e veículos elétricos



Fonte: Union of Concerned Scientists (2015).

Nota: O modelo *Midsize* equivale a 135 km por carga e o modelo *Full-size* a 426 km por carga. Foi considerado que um consumidor que comprasse o veículo elétrico dirigiria o mesmo em quilometragem que um consumidor que comprasse o veículo à gasolina.

Considerando um veículo médio e comparando-o com um veículo à gasolina similar levaria em torno de 7.884 km dirigindo o veículo elétrico para atingir o *payback* (compensar as emissões extras do processo de fabricação do veículo elétrico). Essas emissões podem ainda ser reduzidas com ações como: reciclagem de baterias de íon lítio no processo de fabricação e uso de fontes renováveis de energia.

Um fator importante é que, quanto maior a autonomia do VE, maior será o peso de sua bateria. Ainda no que se refere à etapa de fabricação do veículo, o peso e a composição dos materiais (como o cobre) determinarão as emissões de GEE que serão geradas (UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2015). Atualmente, muitos cientistas estão pesquisando modelos de baterias e eletrodos com maior estabilidade

de ciclo para veículos elétricos através da nanotecnologia. Estão sendo usadas para testes baterias de íon de lítio e baterias de alumínio (LI, YANG, SONG, 2017).

Dependendo também do processo de extração do recurso natural, haverá maior ou menor emissão. Samaras e Meisterling (2008), realizaram comparação entre PHEV e o veículo convencional (considerando ciclo de vida de 240.000 km rodados), e concluíram que o PHEV gera uma redução de 32% das emissões de GEE em relação ao veículo convencional em todo o ciclo de vida.

Há também impactos que ocorrem após a vida útil do veículo elétrico. O desmonte do veículo, a reciclagem de seus materiais e a disposição da bateria podem gerar emissões. As emissões de GEE relacionadas à manutenção e à disposição do veículo representam menos de 10% do total de emissões (FARIA *et al.* 2013). Nesse aspecto vale ressaltar que a maioria dos materiais que compõem o veículo elétrico pode ser reciclada, assim como acontece para o veículo à gasolina. Reuso, reciclagem ou aterro são as opções disponíveis para a disposição da bateria de lítio. No reuso, a bateria pode ser usada para armazenar energia de outras fontes renováveis, como a eólica e a solar, já que possui cerca de 75% de sua capacidade original, e pode postergar a fase de reciclagem reduzindo custos e resíduos (JIAO; EVANS, 2016). Na reciclagem, alguns componentes, como metais, podem ser aproveitados para a produção de novas baterias. Vale ressaltar que a reciclagem requer energia e produz emissões, as quais podem ser reduzidas em comparação com o uso de novos materiais. Os processos de reciclagem da bateria de íon-lítio devem ser estudados e aprimorados de forma a reduzir o consumo de energia, a geração de resíduos sólidos e as emissões de poluentes. A última opção (disposição no aterro) é a pior dentre as três, e pode gerar poluição (FARIA *et al.*, 2013; UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2015; SOUZA, 2015).

Outro estudo (FALCÃO; TEIXEIRA; SODRÉ, 2017) demonstra que as emissões de CO₂ de veículos elétricos são 4,6 menores do que veículos a diesel. Silva (2014) estimou que, caso houvesse substituição total da frota brasileira de veículos MCI por uma frota de VE, reduziria em 7,34 vezes as emissões de GEE (tCO_{2e}) provenientes dos automóveis a passeio no Brasil.

No Brasil, existe um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) chamado “Emotive” que estuda os impactos da utilização dos veículos elétricos. Esse projeto é financiado com recursos do programa de P&D da Agência Nacional de Energia

Elétrica (ANEEL) e envolve o Instituto CCR, o Programa de Mobilidade Elétrica da CPFL Energia, e conta com parceria da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e outras instituições. A pesquisa iniciou em 2013 e na fase atual (2018) o projeto ampliou a frota de veículos elétricos para 16 carros e instalou 10 eletropostos públicos. Em relação aos custos, dados levantados por esse projeto mostram que o valor do quilômetro rodado de um automóvel a combustão é de aproximadamente R\$ 0,30, ao passo que esse custo no veículo elétrico é de R\$ 0,10, ou seja, um terço do gasto com um carro convencional (CPFL, 2016).

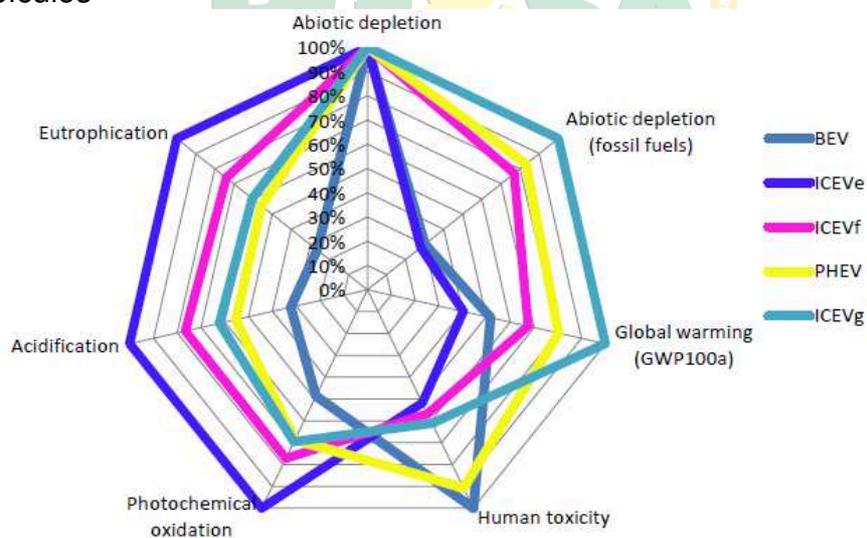
Outra pesquisa, realizada através de projeções iniciais da CPFL Energia, aponta que o uso da tecnologia de veículos elétricos ampliaria o consumo de energia entre 0,6% e 1,6% no SIN em 2030, quando as previsões indicam que a frota de carros elétricos pode alcançar entre 4 milhões e 10,1 milhões de unidades. Ou seja, a expansão dos VE influenciaria pouco a demanda por energia (CPFL, 2016). Cabe ressaltar que, caso os ciclos de carregamento adotados pelos usuários dos veículos elétricos sejam realizados de forma descontrolada ou sem planejamento, isso poderia trazer impactos negativos ao sistema de distribuição da concessionária de energia, aumentando a demanda por energia nos horários de pico (SILVA, 2014).

Nesse contexto, o estudo de Silva (2014), simulou o impacto do veículo elétrico no sistema de distribuição, considerando o horizonte de tempo entre 2013 e 2020, e concluiu que o horizonte para que o estresse da rede seja atingido é distante. Caso a chegada dos VE cresça no ritmo planejado, as concessionárias terão tempo razoável para se adequarem à introdução dessa nova carga. Quanto ao impacto dos VE na matriz energética nacional, resultados desse mesmo estudo apontam que caso a penetração de VE atinja 50 ou 100% de participação na frota nacional de automóveis, a demanda de energia iria representar respectivamente 3,89% e 7,77% da potência planejada para 2020. Frisa-se que, atualmente (2018), algumas importantes cidades brasileiras, em caráter experimental ou não, já contam com frotas (por enquanto, de pequena monta) de ônibus integralmente movidos à eletricidade; poder-se-ia citar, em especial, neste contexto, Santos, Curitiba, Rio de Janeiro e São Paulo.

Souza (2015), utilizou a ACV para comparar vários tipos de veículos incluindo: veículo MCI movido a diesel, veículo MCI movido a gasolina, PHEV, BEV, veículo MCI movido a etanol, e veículo *flexfuel*. Segundo seus resultados, o veículo que possui o menor impacto nas emissões de GEE é o movido a etanol. Isso é devido

principalmente aos benefícios da captação do CO₂ durante a produção da cana-de-açúcar. Além disso, eletricidade usada pra produção de etanol é produzida a partir do bagaço da cana. Vale notar que a utilização de dados referentes à matriz elétrica brasileira, que possui uma base energética renovável e conseqüentemente uma menor emissão de GEE na etapa de produção da energia influenciou o resultado. A etapa de produção da bateria de íon de lítio do BEV correspondeu a 35% das emissões em CO₂e. A produção do automóvel (BEV) é responsável por cerca de 50% da emissão total de CO₂e, enquanto que a reciclagem do automóvel é responsável por cerca de -5,5% e a reciclagem da bateria por -3,5%. A Figura 4 apresenta a comparação geral dos resultados dessa ACV. Ressaltam-se os elevados valores de impacto de toxicidade humana do BEV e PHEV relacionados à produção da bateria de íon lítio. Hawkins *et al.* (2013), em sua ACV mencionaram que a toxicidade de VE também pode ser associada à disposição de resíduos sulfídricos e resíduos da mineração de carvão.

Figura 4- Comparação Geral dos resultados da ACV para várias categorias de veículos



Fonte: Souza (2015)

Nota: Veículos à combustão interna movidos à etanol (ICEVe), flexfuel (ICEVf) e à gasolina (ICEVg).

Uma das vantagens dos VE é que são silenciosos, ou seja, não geram poluição sonora, além disso, não consomem energia quando estão parados no trânsito, ao contrário do veículo convencional (SILVA, 2014). Também, o fato de os elétricos circularem em velocidade mais baixa do que os automóveis convencionais pode auxiliar a reduzir a quantidade e a gravidade de acidentes de trânsito (PUPO, 2012).

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.127-148, jan/mar. 2019.

O uso de VE também contribui para aumentar a eficiência energética, já que o motor elétrico tem eficiência da ordem de 90%, contra 40% do motor de combustão (SILVA, 2014).

A análise WTW vem sendo utilizada por alguns estudos e analisa o VE sob o ponto de vista da produção da fonte energética de propulsão do veículo (que alimenta a bateria). Isso é interessante uma vez que a tecnologia de geração da eletricidade influencia seus impactos energéticos e ambientais. Ke *et al.* (2017), fizeram a análise WTW para Beijing (cidade com grave problema de poluição do ar) e, baseado em testes em rodovia e nos dados relatados pelos motoristas de BEV, estimaram que os BEV causavam redução significativa de emissões de CO₂ em 32% para o ano de 2015 em comparação com veículo convencional à gasolina. Os HEV e PHEV poderiam anualmente reduzir o consumo de petróleo em 43 e 56% respectivamente, e os BEV poderiam eliminar o consumo de petróleo.

Brajterman (2016), analisou como os setores elétrico, sucroalcooleiro e energético do Brasil reagiriam à expansão da introdução dos veículos elétricos no país e concluiu que a maior penetração de VE na frota de veículos leves proporciona um menor consumo de energia primária pelo sistema energético. Porém, em um cenário em que políticas de mitigação paralelas não sejam adotadas, esta maior penetração provocaria uma elevação no consumo de carvão e uma redução no consumo de bagaço, o que, conseqüentemente causaria uma elevação nas emissões nacionais de GEE.

Hawkins *et al.* (2013), reportaram que, considerando a média de emissão da matriz de geração de eletricidade, os VE na Europa ajudariam a reduzir as emissões de GEE em 10 a 24% em comparação com os veículos convencionais (considerando vida dos veículos de 150.000 km rodados). Woo, Choi, Ahn (2017), consideraram a matriz de geração de energia de cada país, e analisaram os efeitos ambientais da expansão do uso de VE em 70 países. Esses autores concluíram que os BEV tiveram menores emissões de GEE do que os veículos MCI na maioria dos países e regiões. No Brasil, as emissões causadas por BEV seriam menores do que as emissões de veículos movidos à gasolina ou a diesel. Porém, na África do Sul (onde há 92% de uso de combustível fóssil para geração de energia) as emissões de GEE seriam maiores no uso de BEV do que em veículos MCI (WOO, CHOI e AHN, 2017).

Por outro lado, é importante discutir os pontos negativos relacionados aos veículos elétricos. Os críticos apontam o processo de produção intensiva de energia necessária para a fabricação de veículos elétricos, pois a etapa de produção de veículos elétricos gera mais emissões do que a produção de veículos MCI, principalmente por causa das baterias de íon de lítio. Grande parte deste impacto é proveniente da mineração de metais utilizados na produção desses veículos e baterias- que podem ser compostas geralmente por: lítio, ferro ou alumínio (LI, YANG, SONG, 2017). Vale ressaltar que veículos à gasolina também exigem muitos destes mesmos metais. Portanto, melhorar as baterias utilizadas em veículos elétricos pode diminuir o impacto de seu processo de fabricação, tornando os carros mais sustentáveis ao longo de suas vidas. O custo de produção da bateria de íon lítio é alto devido à limitada reserva de lítio na superfície terrestre. Portanto, há pesquisas avaliando a substituição de lítio por outros metais. O alumínio é um substituto promissor, que apresenta mais reservas e com custo mais baixo. O desafio atual é como melhorar a rápida degradação do desempenho do ciclo das baterias, e isso está sendo foco de pesquisas que abordam novos tipos de bateria e eletrodos com maior capacidade e melhor desempenho de ciclo (LI, YANG, SONG, 2017).

Um importante risco ambiental do carro elétrico está associado à bateria, que deve ser reciclada ao final de sua vida útil (impacto pós-uso). Poucas empresas têm agora a tecnologia para reciclar as baterias de íon de lítio usadas em carros elétricos, especialmente de uma maneira econômica, então isso precisa ser aprimorado também. A necessidade de substituição das baterias (preço elevado) e os longos tempos de recarga, também podem ser apontados como desvantagens em relação aos veículos MCI (PBMC, 2014; IPEA, 2015; LI, YANG, SONG, 2017).

Outra questão relevante é o preço elevado dos VE em comparação aos veículos convencionais. O custo de um veículo elétrico é cerca de 2,5 vezes maior que o de um veículo a diesel, sendo que o *payback* do investimento em um veículo elétrico em comparação com um convencional pode demorar alguns anos. A compra do veículo e a bateria representam a maioria dos custos de um veículo elétrico (FALCÃO, TEIXEIRA, SODRÉ, 2017, IPEA, 2015). Faria *et al.* (2013), compararam os custos totais de veículos elétricos (BEV e PHEV) com MCI e obtiveram que os custos dos veículos elétricos foram menores devido à uma manutenção mais simples e devido ao menor custo da eletricidade em relação ao preço do combustível (gasolina

ou diesel). Silva (2014) analisou em sua pesquisa, através de uma projeção para o ano de 2020, que a redução do preço da bateria em 50% pode ocorrer com 30-69% de probabilidade e a probabilidade de reciclagem de mais de 90% dos componentes da bateria foi considerada alta.

Outro aspecto é o peso dos veículos elétricos. Suas baterias ainda são muito mais pesadas do que um tanque de combustível e sua limitada capacidade de estocagem energética restringe a autonomia veicular.

Assim, os principais esforços do desenvolvimento de veículos elétricos têm se concentrado nas baterias, a fim de melhorar seu desempenho (autonomia), segurança e durabilidade. Além disso, também se faz necessário a criação de infraestrutura para recarga das baterias. Teixeira e Calia (2013), realizaram pesquisa com entrevistas em empresas vendedoras de ônibus, trólebus, bicicletas e *scooters* elétricas e estas reportaram falta de incentivos do governo brasileiro nesse mercado, e barreiras legais com altas taxas de importação.

2.3 Contribuição dos veículos elétricos para a mitigação de GEE: potenciais de acordo com a composição da matriz elétrica



O setor de transportes é um setor-chave para gestão energética e de muita importância para estratégias de economia de baixo carbono nos próximos anos. Mundialmente, emissões antrópicas anuais de GEE aumentaram em 10 bilhões de tCO_{2e} entre 2000 e 2010, sendo que esse aumento vem diretamente de abastecimento de energia (475), indústria (30), transporte (11%) e setor de construção civil (3%) (IPCC, 2014). No cenário de emissões de GEE podemos destacar a expressiva contribuição do setor de transportes, cujas emissões devem aumentar até 2021 (MME; EPE, 2012).

Em termos de emissões de GEE, o setor de transporte é responsável por cerca de 14% das emissões mundiais (IPCC, 2014). Para reverter ou estabilizar a quantidade de emissões algumas medidas como investimentos em eficiência energética, maior reciclagem de materiais, e combustíveis com menor conteúdo de carbono serão necessários (PBMC, 2014). O 4º Relatório de Avaliação (*Assessment Report - AR4*) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), defendeu a utilização de veículos elétricos híbridos e à bateria para auxiliar na

mitigação das mudanças climáticas e destacou que a eficiência energética desempenha um papel importante neste cenário. Os veículos elétricos e híbridos avançados com baterias e fontes energéticas mais confiáveis são listados como tecnologias de mitigação no setor de transporte.

Brajterman (2016), conclui que a entrada de veículos elétricos é positiva do ponto de vista climático, mas apenas seria vantajosa se acompanhada de políticas de incentivo à produção de energia elétrica de baixa intensidade de emissões.

Teixeira e Sodré (2015), realizaram simulações para o veículo MCI e para um VE e encontraram resultados referentes ao consumo de energia e emissões de CO₂. Do ponto de vista de consumo de energia, o veículo elétrico consumiu cerca de oito vezes menos que o veículo MCI. Os resultados das simulações foram comparados aos fatores de emissão de CO₂ provenientes da geração de energia elétrica no SIN brasileiro para o ano de 2014 e mostraram que um veículo elétrico analisado emite cerca de 14 vezes menos emissões de CO₂ que um veículo com motor de combustão interna. Uma limitação foi que este estudo analisou somente a fase de operação do veículo.

Países como: Portugal, Áustria, Espanha, Suécia e Bélgica apresentam elevado potencial para incorporar os veículos elétricos devido às suas baixas emissões de GEE associadas à geração de eletricidade (CASALS *et al.* 2016). Portanto, a expansão do uso de VE e híbridos e a substituição dos convencionais podem auxiliar os países (inclusive o Brasil) a atingirem suas metas nacionais de redução de emissões previstas, como a Contribuição Nacionalmente Determinada no Acordo de Paris, durante a 21^a Conferência das Partes em 2015 (BRASIL, 2015).

Cabe ressaltar ainda que, mesmo nos casos em que a eletricidade é gerada a partir de combustíveis fósseis, o VE traz a vantagem de concentrar as emissões tanto de GEE como de outros poluentes nas fontes geradoras de energia, que são passíveis de serem reguladas, e não nos pontos de consumo, que são numerosos, dispersos e de difícil controle (BARAN; LEGEY, 2010). Assim, os VE podem ser utilizados conjuntamente com tecnologias como a Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) nas usinas de geração elétrica. Tal tecnologia é inviável de ser introduzida em fontes de emissão difusas, como são os veículos MCI.

Entretanto, mesmo se o consumo de veículos elétricos aumentasse, levaria décadas para que isso acarretasse em resultados significativos nas balanças

energéticas nacionais. No Brasil, caso fosse implementada uma política de incentivo à utilização de VE em larga escala, em relação ao carro convencional, isso traria benefícios estratégicos e ambientais efetivos somente em longo prazo. Porém, mesmo com o sucesso de inovação da tecnologia, o tempo necessário para uma nova tecnologia promover um impacto global significativo nas emissões de GEE pode ser considerável (MIGUEZ; OLIVEIRA; MENDES, 2010). Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia (BRASIL; MME; EPE, 2017), não há previsões otimistas para o aumento dos VE na frota brasileira de veículos leves até 2026, sendo que os incentivos de mitigação de GEE no setor de transportes hão de ser, preferencialmente, endereçados ao fomento da produção e consumo de biocombustíveis – em especial, o etanol e o biodiesel.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os HEV podem servir como uma tecnologia de ponte, facilitando a transição entre a gasolina e a eletricidade no setor de transportes. Para que os veículos elétricos possam se tornar uma opção de tecnologia sustentável, são necessários avanços para melhorar o processo de fabricação, com o uso de materiais alternativos, redução do peso, aumento da capacidade das baterias, redução do custo, e avanços no processo de reciclagem.

Conforme os estudos analisados no presente trabalho, afirma-se que, em média, um VE gera menos emissões de um veículo MCI (movido à gasolina) ao longo de sua vida útil. Todos os trabalhos consultados que utilizaram ACV concordam que, se a produção global de eletricidade tiver predominância de fontes renováveis, os VE podem ter amplo potencial no que concerne à mitigação das mudanças climáticas. É importante ressaltar que os benefícios ambientais do desenvolvimento de veículos elétricos vão depender fortemente da matriz energética do país e das condições de carregamento dos veículos elétricos.

Considerando os desafios energéticos atuais, os veículos elétricos parecem ser a direção futura a ser explorada, principalmente, em centros urbanos, pois, em comparação com os veículos convencionais, causam menores emissões considerando todo o seu ciclo de vida. Ressalta-se que a expansão de veículos elétricos deve ser combinada a outras iniciativas como veículos movidos a

biocombustíveis, veículos híbridos, incentivo ao uso de transportes coletivos, veículos mais eficientes, diversificação da matriz de transporte, incluindo de forma mais significativa outros modais que não o rodoviário (no caso do Brasil, por exemplo, há necessidade premente de ampliação da capacidade de uso do modal ferroviário). O uso de energia renovável deve ser priorizado para que se possa reduzir a quantidade de emissões associadas ao ciclo de vida dos veículos elétricos.

Outra conclusão importante é de que, ao contrário do senso comum, a expansão dos veículos elétricos acarretaria em um aumento da demanda de energia elétrica (porém, pouco significativo, segundo as projeções inerentes aos diversos estudos consultados).

Por fim, baseado nos dados anteriores, conclui-se que a expansão da produção de veículos elétricos representa uma estratégia efetiva em relação aos veículos convencionais no que concerne à mitigação das mudanças climáticas globais, porém, isso depende da matriz elétrica de cada país, não sendo possível generalizar os resultados. Para que haja essa expansão e efetiva adoção dos veículos elétricos pelos consumidores, são necessários maiores incentivos governamentais para o setor elétrico e para o setor automobilístico.



COMPARATIVE EVALUATION BETWEEN ELECTRIC VEHICLES AND CONVENTIONAL VEHICLES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE MITIGATION

ABSTRACT

Currently, the electric vehicles (EV) have been considered as the future trend in the automotive industry. Among the countries' motivations for this are: reducing the dependence on oil and its derivatives, promoting more efficient energy use and causing lower environmental impacts, especially those related to the emission of greenhouse gases (GHG). Hybrid and Electric vehicles do not represent a recent technological invention; however these vehicles account to a marginal contribution in the vehicle history since 30's decade. Moreover, it is worth to note that EV is not released from environmental impacts, mainly through its production phase. In this paper, we expect to contribute with information about the characteristics of EV's environmental performance in comparison with conventional vehicles powered by internal combustion engine, analyzing which are their advantages and disadvantages, the environmental impacts caused through all the life cycle and how this technology could contribute to mitigate the climate change. In addition, it is also discussed the impacts of the electric and hybrid vehicles expansion on the final energy demand. In

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.127-148, jan/mar. 2019.

order to do so, a systemic review of the literature was undertaken based on recent research and those fundamental focused on the EV. One of the main results indicated that, the higher the renewable energy share on grid, the higher the reduction of GHG emissions by electric vehicles, being that, in some cases, there may be an increasing on total emission balance of its lifecycle in relation to conventional technology.

Keywords: Electric vehicle. Climate Change. Environmental Impacts. Life-cycle Assesment. Energy.

REFERÊNCIAS

ABVE. **O futuro dos carros elétricos- Um artigo para eu ler daqui a dez anos.** 2013. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

BARAN, R.; LEGEY, L. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil.In: **XIII Congresso Brasileiro de Energia**, 2010, Brasil, n. XIII, p. 207–224, 2010. Disponível em: <http://www.bndespar.com.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3306.pdf>, Acesso em: jun. 2017.

BRAJTERMAN, O. **Introdução de veículos elétricos e impactos sobre o setor energético brasileiro.** 154 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro-COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. **Intended Nationally Determined Contribution**, 2015. Disponível em: <[http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published Documents/Brazil/1/BRAZIL iNDC english FINAL.pdf](http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published Documents/Brazil/1/BRAZIL iNDC english FINAL.pdf%0Ahttp://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published Documents/Brazil/1/BRAZIL iNDC english FINAL.pdf)> Acesso em: jun. 2017

BRASIL; MME; EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026.** Brasília: MME/EPE, 2017.

CASALS, L.C. *et al.* Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO2 emissions reduction. **Journal of Cleaner Production**, v. 127, p. 425–437, 2016.

CPFL Energia. **Veículos elétricos trazem economia de até 84% nos gastos com combustível.** Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/releases/Paginas/veiculos-eletricos-trazem-economia-de-ate-nos-gastos-com-combustivel.aspx>> Acesso em: maio 2017.

CPFL ENERGIA. **Emotive Mobilidade elétrica.** 2016. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/sites/mobilidade-eletrica/emotive/Paginas/default.aspx>> Acesso em: maio 2017.

DARGAY, J., GATELY, D. E SOMMER, M. **Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030.** Energy Journal, 2007.

DOUCETTE, R.T., MCCULLOCH, M.D. Modeling the CO₂ emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries. **Energy Policy**, v. 39, p. 803–811. 2011.

EGEDE, P.*et al.* Life Cycle Assessment of Electric Vehicles – A Framework to Consider Influencing Factors. **Procedia CIRP**, v. 29, p. 233–238, 2015.

EIA. Table 3.1.A. **Net Generation by Energy Source: Total (All Sectors), 2006-2016.** [on-line] Disponível em: <https://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_03_01_a.html>. Acesso em: jul. 2018.

EIA DOE. **Annual Energy Review**, 2009. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html>>. Acesso em: 20 de março de 2018.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016.** Rio de Janeiro: EPE, 2017

EPE. BEN - **Séries Históricas completas. Capítulo 8 (Dados Energéticos Estaduais) 1970-2016.** [arquivo xls] TABELA 8.1.e - Geração de Eletricidade por Fonte. [on-line] 2017 Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>>. Acesso em: jul. 2018.

FALCÃO, E. A. M.; TEIXEIRA, A. C. R.; SODRÉ, J. R. Analysis of CO₂ emissions and techno-economic feasibility of an electric commercial vehicle. **Applied Energy**, v. 193, p. 297–307, 2017.

FARIA, R.; MARQUES, P.; MOURA, P.; *et al.* Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 271–287, 2013.

HAWKINS, T. R.; SINGH, B.; MAJEAU-BETTEZ, G.; STROMMAN, A. H. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 1, p. 53–64, 2013.

IEA. **Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles.** Paris: International Energy Agency, 2011.

IBGE. **Infográficos- Frota municipal de veículos.** Brasília, 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>> Acesso em: maio 2017.

IPEA. **Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in: uma revisão da literatura.** Texto para discussão, Brasília: 2015.

IPCC. **Climate change 2014: mitigation of climate change: Working Group III contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Edited by O. Edenhofer et al. New York: Cambridge University Press, 2014.

JIAO, N.; EVANS, S. Business Models for Sustainability: The Case of Second-life Electric Vehicle Batteries. **Procedia CIRP**, v. 40, p. 250–255, 2016.

JUNIOR, H. A. A. **Análise Comparativa de Veículos Elétricos e Veículos com**
R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.127-148, jan/mar. 2019.

Motor de Combustão Interna. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

KE, W.*et al.*. Well-to-wheels energy consumption and emissions of electric vehicles: Mid-term implications from real-world features and air pollution control progress. **Applied Energy**, v. 188, p. 367–377, 2017.

LAZZARI, M. A. **Avaliação ambiental de um veículo elétrico coletor de resíduos sólidos urbanos recicláveis.** 247 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná –Campus Curitiba, Curitiba, 2010.

LI, Y.; YANG, J.; SONG, J. Design principles and energy system scale analysis technologies of new lithium-ion and aluminum-ion batteries for sustainable energy electric vehicles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, n. December 2016, p. 645–651, 2017.

MIGUEZ, J.D.G., OLIVEIRA, AD., MENDES, T.A. O desafio das novas tecnologias de mitigação da mudança do clima no contexto do desenvolvimento sustentável. **Parc.Estrat.** Ed. Esp. Brasília, v. 15, n.31, p.211-234, 2010.

MME; EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021.** Rio de Janeiro: MME/EPE, 2012.

NORDELOF, A.*et al.* Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles-what can we learn from life cycle assessment? **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 11, p. 1866–1890, 2014.

PBMC. **Mitigação das mudanças climáticas.** Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Bustamante, M. M. C., Rovere E.L.L, (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014. 463 p.

PUPO, A. S. Análise de possibilidades para a introdução de veículos elétricos no tráfego urbano da cidade de São Paulo: uma abordagem por meio da análise morfológica. **Future Studies Research Journal**, v.4, n.2, p. 03-20, 2012.

SAMARAS, C.; MEISTERLING, K. Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 9, p. 3170–3176, 2008.

SILVA, J.P.N. **Avaliação de impactos da inserção dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP ESCELSA.** 121f. Dissertação (Mestrado em Ciências-Sistemas de Potência)-Universidade de São Paulo-École Polytechnique, São Paulo, 2014.

SOCOLOW, R.; PACALA, S. Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next Half-Century with Technologies Available Today. **Science (New York, N.Y.)**, v. 305, n. 5686, p. 968–972, 2004.

SOUZA, L. L. P. **Avaliação do ciclo de vida do sistema veículo/combustível no Brasil**. 2015. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) –Universidade Federal de Itajubá-Instituto de Engenharia de Energia, Itajubá, 2015.

TEIXEIRA, A.C.R.; SODRÉ, J. R. **Comparação das emissões de CO₂ e consumo de energia de um veículo elétrico e um veículo com motor de combustão interna**. SAE International, 2015.

TEIXEIRA, I. G. DA R.; CALIA, R. C. Gestão da Inovação, desenvolvimento e difusão de Veículos Híbridos e Elétricos mitigadores da poluição urbana: um estudo de caso múltiplo. **Revista de Administração e Inovação - RAI**, v. 10, n. 2, p.199-218, 2013.

UNION OF CONCERNED SCIENTISTS. **Cleaner Cars from Cradle to Grave: How Electric Cars Beat Gasoline Cars on Lifetime Global Warming Emissions. Cleaner Cars from Cradle to Grave**, p. 1-54, 2015. Disponível em: <<http://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/11/Cleaner-Cars-from-Cradle-to-Grave-full-report.pdf>> Acesso em: jun. 2017.

WOO, J. R.; CHOI, H.; AHN, J. Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions for electric vehicles based on electricity generation mix: A global perspective. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 51, p. 340–350, 2017.

