

Carro-elétrico vs híbrido: Qual alternativa ambientalmente sustentável para o Brasil?

AILTON CONDE JUSSANI

USP - Universidade de São Paulo
ailtoncj@uol.com.br

GILMAR MASIERO

USP - Universidade de São Paulo
gilmarmasiero@gmail.com

UGO IBUSUKI

Centro Universitário da FEI
ugoibusuki@yahoo.com.br

Área Temática:

Gestão da Inovação: Política e Estratégia Tecnológica

Título:

Carro-elétrico vs híbrido: Qual alternativa ambientalmente sustentável para o Brasil?

Resumo

Os meios de propulsão para veículos compreendem motores ciclo *Otto* ou *Diesel*. Entretanto, nas motorizações híbrida ou puramente elétrica, os arranjos de *powertrain* podem ser configurados em uma vasta gama de novas possibilidades. As demandas de regime de trabalho e de desempenho específico de aplicações automotivas são agora impostas à motorização elétrica. O armazenamento de energia elétrica tem sido de interesse da ciência e da tecnologia pela multiplicidade de soluções que dependem dessa função. Os princípios teóricos evoluíram, bem como os recursos tecnológicos e o conhecimento dos materiais. Este estudo, de caráter exploratório, investiga os tipos de veículos leves urbanos nas versões elétrica e híbrida em desenvolvimento e suas principais características em termos de propulsão veicular buscando evidenciar os progressos alcançados por empresas tais como, Hyundai, KIA, Nissan e Toyota que já comercializam alguns modelos. Dados secundários são compilados a partir da literatura especializada e de publicações técnicas. Adicionalmente, consideram-se políticas públicas adotadas no Japão e Coreia do Sul em diferentes estágios e especificidades da cadeia de valor do carro-elétrico e híbrido. A partir deste estudo, espera-se contribuir para um maior mapeamento das possibilidades e alternativas de desenvolvimento sustentável da emergente indústria dos carros elétricos e híbridos no Brasil.

Palavras-chave: Carro-elétrico, Carro-híbrido, Indústria automotiva no Brasil.

Electric car vs Hybrid: What environmentally sustainable alternative for Brazil?

Abstract

The vehicle propulsion means comprise Otto engines or Diesel cycle. However, in hybrid or purely electric, powertrain arrangements can be configured in a wide range of new possibilities. The demands of working arrangements and specific performance automotive applications are now imposed on the electric engine. The energy storage has been of interest in science and technology by the multiplicity of solutions that depend on this function. The theoretical principles had evolved, as well as technological resources and knowledge of materials. This exploratory study investigates the types of urban light vehicles in electric and hybrid versions in development and its main characteristics in terms of vehicular propulsion to disclosing the progress made by companies such as Hyundai, KIA, Nissan and Toyota. Secondary data are compiled from the literature and technical publications. Additionally, one considers public policy in Japan and South Korea at different stages and characteristics of the value chain of the electric car and hybrid. From this study, it is expected to contribute to further mapping possibilities and alternatives for sustainable development of the emerging industry of electric and hybrid cars in Brazil.

Keywords: *Electric car, Hybrid car, Brazil automotive industry.*

1 INTRODUÇÃO

A eficiência no uso da energia, em especial a elétrica, está na pauta mundial desde os choques do petróleo na década de 1970, quando ficou patente que as reservas fósseis não seriam uma fonte de recursos economicamente viáveis para sempre. Visando diminuir a forte dependência do petróleo, o governo americano passou a estimular a produção de automóveis híbridos e o desenvolvimento de automóveis com tecnologia PHEV - *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, isto é, veículos híbridos equipados com baterias recarregáveis diretamente na rede de distribuição de eletricidade (BARAN; LEGEY, 2013).

Anos mais tarde, no Japão, como alternativa ao motor de combustão interna, investiu-se no desenvolvimento de carros elétricos e híbridos tais como o *Toyota Prius*, lançado em 1997. Os híbridos são vistos pela população como um avanço tecnológico capaz de reduzir a poluição atmosférica e a forte dependência do petróleo. Em complemento aos híbridos, carros elétricos não têm emissões locais de poluentes gasosos uma vez que a conversão da energia elétrica em mecânica não produz qualquer tipo de emissão.

No entanto, dependendo da forma como foi produzida a eletricidade, esta poderá apresentar emissões poluentes. Neste sentido deverá sempre ser associada uma parcela das emissões globais dependendo da fonte de produção elétrica. O consumo energético dos veículos elétricos varia entre 0,1 e 0,3 kWh/km, enquanto um veículo de combustão interna é da ordem de 0,9 kWh/km (ITAIPÚ, 2013).

Considerando-se as perdas da extração do combustível à roda (*well-to-wheel*), observa-se que ao se transformar o petróleo em *diesel* e utilizá-lo como combustível em um veículo de combustão interna, somente 15% da energia do processo será convertida em movimento, isto é, perde-se 85% da energia. No entanto, se a mesma quantidade de petróleo for utilizada em uma usina termelétrica para produção de energia a ser utilizada em um VE, o rendimento do processo alcançará 40% (ITAIPÚ, 2013).

Essas medidas de desempenho indicam que o problema do desenvolvimento de alternativas ambientalmente sustentáveis na indústria automotiva passam não só por critérios estritamente técnicos, mas também por análises macro políticas de sua viabilização. Considerando os dados acima, pode-se afirmar que o uso do petróleo para gerar energia elétrica destinada aos veículos elétricos é aproximadamente 2,5 vezes mais eficiente energeticamente que o uso do petróleo em veículos a combustão interna.

Independente da precisão dos dados, sobre eficiência energética dos diferentes tipos de combustíveis ou forças de propulsão, parece existir clara tendência na busca de alternativas para a substituição da atual frota de veículos automotores por veículos híbridos ou elétricos (OECD, 2013). Assim, além de prospectar e descrever os avanços já alcançados por alguns dos principais *players* mundiais como a Hyundai e a Toyota, no desenvolvimento de carros híbridos, o principal objetivo deste trabalho é considerar quais são as alternativas ambientalmente sustentáveis para o Brasil?

1.1 Objetivo do estudo e justificativa

O objetivo deste estudo é verificar quais as alternativas ambientalmente sustentáveis o Brasil pode adotar entre carro-elétrico ou híbrido e relacionar suas características em aplicação de propulsão veicular levando-se em consideração a cadeia global de valor. Assim, pretende-se contribuir com aspectos exploratório-qualitativos, sobre a indústria do carro elétrico,

evidenciando as possibilidades da sua produção em massa no Brasil e com suas respectivas novas formas de criar e capturar valor em emergentes cadeias produtivas.

Além dessa contribuição, é necessário considerar que políticas econômicas e industriais não se consolidam somente ao nível das indústrias, mas ao nível dos diferentes estágios, atividades, tarefas e especificidades de cada cadeia de valor. A mudança de unidade de análise não é trivial e torna mais complexa a tarefa de formular políticas, ainda mais se são considerados os incentivos concedidos por outros países para atrair investimentos das diversas empresas das cadeias globais de valor (IEDI, 2013).

Atualmente um dos principais gargalos do carro elétrico no mundo todo é o custo da bateria, que responde por aproximadamente de 40% a 50% do custo total do VE (PESQUISA FAPESP, 2012). Assim, fornecedores terão que ser capazes de se adaptar às exigências de novos modelos de negócios. Por exemplo: locação de baterias. O fornecedor não a vende para o cliente, mas aluga a bateria em uma base de longo prazo de forma que, em algum momento no futuro, a bateria será devolvida para reutilização ou para segundo uso (WELLS, 2010).

Para Wells (2010) o sucesso da produção, venda e utilização de veículos elétricos em larga escala exige um olhar da indústria para além dos limites tradicionais na criação de valor agregado. Nesta perspectiva, para a indústria automotiva, os veículos elétricos não são simplesmente outra tecnologia existente de fazer negócios, dado que são inúmeras as suas vantagens se contrastadas com o motor a combustão. Entre elas:

- O rendimento na conversão em energia mecânica é da ordem de 90% da energia elétrica e no motor de combustão interna a conversão é da ordem de 25% da energia da gasolina;
- Os custos de manutenção são menores, pois o motor elétrico tem menos peças móveis se comparado com o motor de combustão interna;
- No carro elétrico a energia que freia o carro pode ser convertida em energia elétrica e carregar a bateria através da frenagem regenerativa, que pode recuperar até 30% da energia inercial e potencial do veículo;
- O carro elétrico não consome energia quando fica parado no trânsito, ao contrário do carro convencional, cujo motor fica ligado;
- O carro elétrico tem elevado torque de partida. Já o carro convencional, que tem sistema de embreagem e cambio, dissipa até 20% da energia do motor;
- Menor ruído do veículo.

Estas são as principais vantagens da substituição do motor a combustão pela propulsão elétrica. Entretanto, existe outra categoria de veículos que ocupa posição intermediária entre o veículo puramente elétrico e o veículo movido a combustão interna, ou seja, os veículos híbridos - são assim chamados por combinarem um motor de combustão interna com um gerador, uma bateria e um ou mais motores elétricos. Sua função é reduzir o gasto de energia associado a ineficiência dos processos mecânicos se comparados aos sistemas eletrônicos (RASKIN; SHAH, 2006).

Os carros híbridos também apresentam vantagens em relação aos carros de combustão interna (CASTRO; FERREIRA, 2013). Entre elas, podem-se enumerar:

- Economia de combustível e, ao mesmo tempo, produz baixos níveis de gases tóxicos; um sistema híbrido pode desligar automaticamente o motor em caso de parada, enquanto no veículo convencional o motor a combustão continua funcionando.
- Dois motores - motor tradicional a gasolina e motor elétrico, que é alimentado por baterias. Os dois motores trabalham juntos, a fim de reduzir o consumo de combustível.
- Se for considerada sua vida útil, são mais baratos quando comparados aos carros convencionais. O consumo total de combustível de um carro híbrido é muito menor em relação ao de um carro convencional.
- Utiliza tecnologias de recarga da bateria, como frenagem regenerativa. Captura a energia liberada nas frenagens e a utiliza para carregar as baterias dentro do carro híbrido. Isso significa que não precisa ser carregado a partir de tomada elétrica.
- Pelo fato de jamais serem submetidas à descargas profundas, as baterias tem longa duração (cerca de 5 anos) e grande confiabilidade.

O desenvolvimento do carro híbrido tem também mobilizado volumosas quantias para a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias de produtos e processos. Resultantes desse esforço ganham destaque os modelos desenvolvidos pela Hyundai (*Sonata*), KIA (*Optima*), Nissan (*Leaf*), Toyota (*Prius*) entre outros. Alguns desses modelos já estão sendo comercializados em países desenvolvidos e, uma vez superadas as barreiras regulatórias, devem ser disponibilizados aos consumidores brasileiros.

O desenvolvimento de alternativas ao motor a combustão, seja com carro puramente elétrico ou alguma forma híbrida de propulsão tem atraído a atenção de inúmeros estudiosos e profissionais ligados ao setor automotivo (MELLO; MARX; SOUZA, 2013; PESQUISA FAPESP, 2012). Nesse setor, parece existir uma tendência não só de inovações em tecnologias propulsoras, mas também fortes pressões para a migração de um padrão baseado em *ownership* para um padrão baseado em *usership*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A história das baterias está relacionada à história dos carros elétricos - meados do século XIX. Foi em 1859 que o belga Planté realizou a demonstração da primeira bateria de chumbo-ácido, utilizada por diversos veículos elétricos desenvolvidos a partir do início da década de 1880 na França, Reino Unido e EUA. Paralelamente, em 1885, Benz demonstrou o primeiro motor de combustão interna (HOYER, 2007).

Em 1901, Thomas Edison, interessado no potencial dos veículos elétricos, desenvolveu a bateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento 40% maior que a bateria de chumbo. Entretanto, o custo de produção era muito mais elevado se comparado com o custo da bateria de chumbo. As baterias níquel-zinco e zinco-ar surgiram no final do século XIX.

Além das baterias, duas tecnologias desenvolvidas entre 1890 e 1900 contribuíram para melhorar o desempenho dos carros elétricos: a frenagem regenerativa, um equipamento capaz de transformar a energia cinética do automóvel em energia elétrica durante uma frenagem e o sistema híbrido a gasolina e eletricidade. No início do século XX, a tecnologia de propulsão do carro elétrico concorria no mercado de automóveis com a tecnologia de motores a combustão interna.

Décadas mais tarde - após a formação do Clube de Roma em 1968 - quando a opinião pública começou a se voltar para os problemas ambientais, os automóveis elétricos voltaram a atrair a atenção das grandes montadoras, pois o automóvel era e continua sendo considerado uma das principais fontes da poluição atmosférica nas grandes cidades. Desde então, realizam-se grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento para reduzir os preços das baterias, bem como encontrar alternativas de propulsão ambientalmente sustentáveis.

Segundo estudiosos do assunto, sabe-se que o custo da bateria de íon-lítio, utilizada atualmente na maioria dos veículos elétricos e híbridos, deverá cair significativamente até 2020 (HENSLEY; KNUPFER; PINNER, 2009). A Figura 1 apresenta o comportamento esperado de redução nos custos da bateria de íon-lítio em U\$ por kWh.

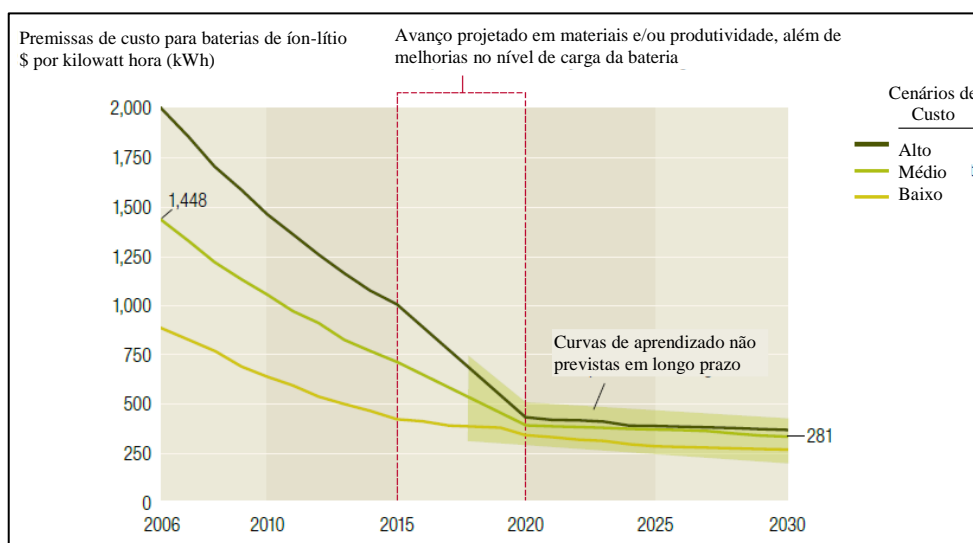


Figura 1 - Expectativa de redução do custo de baterias íon-lítio
 FONTE: Adaptado pelos autores de HENSLEY; KNUPFER; PINNER, 2009.

Como consequência deste contexto, o desenvolvimento de baterias foi alavancado com investimentos crescentes no desenvolvimento da tecnologia de carros elétricos e híbridos. A seguir, serão apresentados tipos de veículos urbanos, tipos de abastecimento de veículos e consequentemente os tipos de baterias para propulsão do carro elétrico, que fundamentam os motivos básicos de qual alternativa, se híbridos ou elétricos é mais sustentável para o caso brasileiro.

2.1 Tipos de Veículo Elétrico Urbano

Automóveis híbridos e elétricos não são tecnologias recentes. No início da história do automóvel, eles dominaram parcelas significativas do mercado, mas acabaram perdendo espaço para o veículo de combustão interna. Contudo, nos dias atuais o VE consiste em uma das formas de deslocamento alternativa e, assim, vale a pena enumerar alguns dos benefícios do uso do VE em âmbito mundial: redução do ruído e da poluição nas cidades, resultado da redução do uso de combustíveis fósseis.

Os VEs consistem essencialmente em veículos equipados com um conjunto de baterias, carregadas por energia da rede elétrica. Essa energia é fornecida ao motor elétrico, que se transforma em energia mecânica de propulsão. Os veículos elétricos podem ser de curto alcance (*Neighbourhood Electric Vehicle*) e urbano.

- **Veículos de curto alcance:** Carros dos campos de golfe, carros de malas e sinalização nos aeroportos. Esses veículos operam basicamente com velocidades de 30 a 40 km/h.
- **Veículos urbanos:** Atingem velocidade máxima de aproximadamente 140 km/h. Possuem autonomia de 180 km. São ideais para deslocamentos dentro de cidades, tais como monitoramento do trânsito em Abu Dhabi e Dubai. Para essa tarefa a polícia utiliza o veículo elétrico *Jetflyer*, desenvolvido em Berlim na Alemanha (E-VOLUTION, 2014).

Os veículos elétricos são extremamente silenciosos. Até os 25 km/h, o VE praticamente não produz nenhum barulho, o que resulta em riscos inesperados para pessoas que se guiam pelo barulho das coisas. No entanto, este tipo de risco pode ser minimizado através da emissão de sons de aproximação para aviso aos pedestres, ciclistas e pessoas com necessidades especiais de forma que se possa identificar a aproximação do veículo (AUDI, 2013).

2.2 Tipos de Abastecimento de Veículos Elétricos

Atualmente o abastecimento dos veículos elétricos é uma das maiores dificuldades tecnológicas, uma vez que não é utilizado o mesmo procedimento para carregar uma bateria e para encher um tanque com combustível. No entanto, existem vários modelos de abastecimento de veículos elétricos:

- **Recarga em casa:** Efetuada durante o período noturno, fazendo uma recarga total em aproximadamente 6 ou 8 horas. São necessários equipamentos para a ligação entre a rede elétrica doméstica e a bateria do carro, pois a ligação direta em uma tomada não reúne condições de segurança.
- **Recarga na rede pública:** Em parques de estacionamento público, parques de estacionamento dos centros comerciais, *malls*, etc. A recarga é sempre um processo demorado. Conforme o modelo de veículo, no entanto, há dois mecanismos, o normal (6 a 8 horas) e o rápido (20 a 30 min.). O normal é o preferencial e é utilizado no dia-a-dia pela maioria dos usuários, em casa ou na rede de acesso público. O rápido foi projetado para deslocamentos mais longos, cuja distância a percorrer seja superior ao raio de alcance das baterias, ou para carregamento de conveniência ou emergência.

Adicionalmente, uma inovação em modelo de negócio é a cobrança proporcional à utilização de carros elétricos em pequenos deslocamentos. O valor é cobrado na medida das necessidades de cada usuário e; ao final da utilização o VE é deixado disponível ao próximo usuário (CAR2GO, 2013; ZIPCAR, 2013).

2.3 Tipos de Baterias em Veículos Elétricos

A bateria é o componente central do veículo elétrico, uma vez que possui a função de armazenar a energia necessária para o deslocamento. Estimativas de fontes diversificadas indicam que a bateria representa mais de 50% do custo final do VE – atualmente um dos principais gargalos do carro elétrico no mundo todo (ITAIPÚ, 2013).

Existem vários tipos de baterias de utilização possível em um VE. Uma bateria destinada a tração do VE tem, características diferentes das tradicionais. Elas são dispostas em células, módulos (conjunto de células) ou em *packs*, isto é, mais de um módulo (CALSTART, 2010). Na Figura 2, verifica-se um exemplo de bateria para tração de VE. No modelo i-MiEV da Mitsubishi, por razões de segurança a bateria é distribuída ao longo do assoalho.

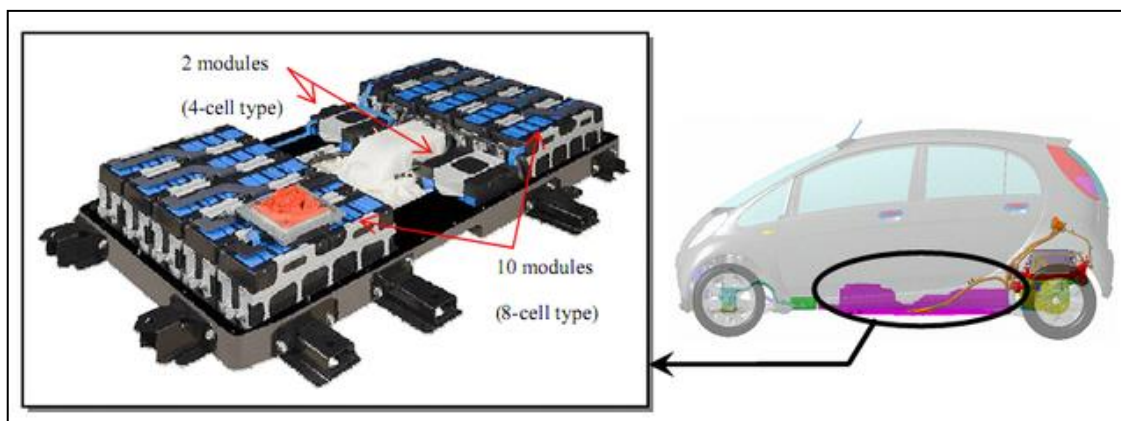


Figura 2 - Battery pack do i-MiEV
 FONTE: GCC, 2013.

No entanto, não há um padrão definitivo. Modelos de veículos elétricos já em comercialização utilizam baterias distintas umas das outras. Há quatro tipos de baterias que disputam a estabelecimento de um padrão para a indústria de VE: PbA (chumbo ácido); íon-lítio; NiMH (níquel, hidreto metálico) e as de sódio, também conhecidas como ZEBRA, *Zero Emission Battery Research Activity*, totalmente reciclável e que tende a ser mais barata do que as baterias à base de lítio (CASTRO; FERREIRA, 2013).

Em modelos híbridos e veículos puramente elétricos, é possível observar uma relativa variedade de categorias de baterias de íon-lítio. Por exemplo, o modelo Tesla *Roadster* utiliza baterias de íon-lítio NCA (níquel, cobalto, alumínio), enquanto que o modelo Nissan *Leaf* utiliza LMO/LTO (lítio, óxido de manganês / titanato de lítio). O modelo Toyota *Prius plug-in* utiliza baterias LFP (lítio, ferro, fosfato) (BATTERY UNIVERSITY, 2014).

Os veículos elétricos têm várias componentes semelhantes aos veículos de motor de combustão interna, distinguindo-se por duas principais: motor e “depósito” de energia. No caso dos motores elétricos este tipo de motor tem uma durabilidade igual ou superior a um motor de combustão, uma vez que tem menos desgaste, menos necessidade de manutenção e lubrificação. Assim, espera-se que o motor tenha maior durabilidade.

O componente que é menos durável é a bateria. As baterias possuem diferentes durabilidades; isto é, variam conforme a tecnologia usada (normalmente íon-lítio ou NiMH), o tipo de utilização e as condições de armazenamento. Os fatores que afetam a durabilidade das baterias são as temperaturas extremas, os excessos de recarga e as descargas completas das baterias. Fabricantes estimam a vida útil de uma bateria em 150.000 km e uma durabilidade de 5 anos. A Figura 3 mostra as etapas da cadeia de valor das baterias de veículos elétricos (DINGER *et al*, 2010).

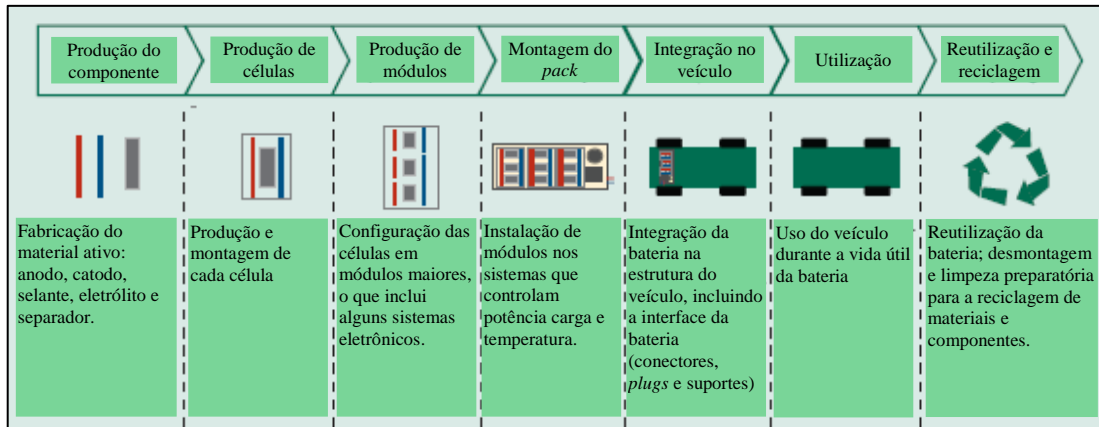


Figura 3 - Cadeia de valor das baterias de veículos elétricos

FONTE: DINGER *et al*, 2010.

Uma cadeia de valor representa todas as empresas e pessoas envolvidas na produção de um bem ou serviço, desde sua concepção até o consumo final. O processo envolve as atividades de formulação, produção, marketing, distribuição entre outras. O termo CGV, Cadeia Global de Valor, designa a dispersão das cadeias de valor pelo mundo, seja através da distribuição de estágios de produção de uma firma entre diversos países ou a terceirização de parte da cadeia de valor desta firma para parceiros externos (IEDI, 2013).

Como apontado anteriormente, o sistema de propulsão é o principal item de custos com potencial de viabilização dos carros elétricos ou híbridos para a indústria automotiva em geral e, em específico, a brasileira. A sistematização das percepções de técnicos especializados bem como de *policy makers* relativas a cada uma das etapas da cadeia de valor enumeradas por Dinger *et al* (2010), para o caso brasileiro, estão entre as principais preocupações destes autores, que desenvolvem projeto de pesquisa para sua investigação.

No presente texto, segue-se apresentando as incipientes iniciativas brasileiras de desenvolvimento de carros elétricos e/ou híbridos. Apresenta-se também uma síntese das políticas públicas japonesas e sul coreanas de incentivo ao desenvolvimento desta nova indústria. Metodologia, considerações finais e indicações de novos estudos concluem o trabalho.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Ao buscar uma metodologia para o desenvolvimento da pesquisa, deve-se procurar na literatura especializada o método mais adequado para resolver o problema escolhido. Assim, a pesquisa qualitativa foi considerada a mais adequada, pois não se pretende realizar análises numéricas por meio de instrumentos específicos, mas sim expressar uma visão exploratória sobre o tema estudado. De acordo com Castro (1977), fazer bom uso de uma técnica simples, é mais adequado ao invés de procurar técnicas sofisticadas apenas porque estão disponíveis.

A pesquisa qualitativa e exploratória estimula a se pensar livremente sobre um tema, objeto ou conceitos e é usada quando se busca percepções e entendimento sobre a natureza geral de uma questão, abrindo espaço para a interpretação de forma mais aprofundada (MARCONI; LAKATOS, 2005). Dado o estado embrionário da indústria de veículos elétricos e híbridos no Brasil, este parece ser o método mais adequado para a investigação do que está sendo proposto.

Dentro deste contexto, utilizou-se a pesquisa exploratória, descritiva, obtendo-se dados secundários, por meio de pesquisa bibliográfica em fontes secundárias tais como documentos, revistas, periódicos, manuais de produto e *sites* na *internet*, tanto na forma impressa quanto na forma eletrônica.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O carro elétrico já é realidade no mercado internacional com aproximadamente 4,5 milhões de veículos em circulação. Os carros híbridos são a maioria, respondem por 95% dessa frota. Os carros elétricos movidos puramente à bateria, os 5% restantes, já somam aproximadamente 200 mil unidades em todo o mundo com destaque para Japão, Estados Unidos e Europa. No Brasil, até o fim de 2013, pouco mais de 400 veículos híbridos e elétricos foram emplacados, todos importados (ABVE, 2013).

Assim, há uma inércia do governo em promover políticas públicas em favor do veículo elétrico no Brasil. A principal razão para haver tão poucos carros elétricos circulando no Brasil é a elevada carga de impostos que incidem sobre o preço final. São 35% de imposto de importação, mais 55% de IPI, mais 13% de PIS/COFINS, mais 12% a 18% de ICMS, dependendo do estado, fazendo com que a tributação que incide sobre os carros elétricos possa ultrapassar os 120% (*Ibid*).

4.1 Iniciativas de Desenvolvimento de Veículos Elétricos e Híbridos no Brasil

No Brasil, os veículos *flex-fuel* são bastante difundidos e respondem aproximadamente por 85% das vendas no país. Entretanto, os veículos elétricos e híbridos não contam com a mesma difusão. Sob esta perspectiva, destaca-se o desincentivo tributário na medida em que os veículos disponíveis são importados e não dispõem de categoria específica na Tabela do Imposto sobre Produtos Industrializados. Assim, esses veículos são tributados pela alíquota máxima (CASTRO, 2013). Entretanto, nos últimos anos, algumas iniciativas de desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos surgiram no país.

Desde 2006, o Brasil desenvolve tecnologia para veículos elétricos através de um projeto administrado pela Itaipu Binacional e pela controladora de hidrelétricas suíças Kraftwerke Oberhasli - KWO, em parceria com a também suíça MES DEA e a montadora italiana FIAT. A atual linha tem capacidade para montar entre 40 e 50 veículos Palio Weekend Elétrico por ano. O projeto conta ainda com o apoio de diversas outras instituições, tais como Eletrobras, Moura, WEG e PETROBRAS. A parceria entre ITAIPU e KWO inclui ações de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia na área de meios de transportes movidos à eletricidade ambientalmente corretos (VE, 2014).

Outra iniciativa foi promovida em 2013 entre Itaipu Binacional e a montadora francesa Renault. Essa iniciativa pretende desenvolver carros elétricos para o mercado brasileiro. O acordo de cooperação tecnológica prevê a montagem do modelo Twizy, minicarro de uso estritamente urbano, no Centro de Pesquisa de Desenvolvimento e Montagem de Veículos Elétricos de Itaipu, em Foz do Iguaçu, no Paraná. Com o acordo, a Renault passou a integrar o grupo de parceiros do Programa Veículo Elétrico, iniciativa liderada pela Itaipu Binacional e a empresa suíça KWO (*Ibid*).

Exceto algumas linhas de crédito do BNDES, o Brasil não possui uma política nacional de incentivos ao veículo elétrico. Entretanto, iniciativas estaduais começam a ser construídas.

Por exemplo, sete governos estaduais concederam isenção total de IPVA para veículos elétricos: Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Sergipe. Em outros três estados os veículos elétricos possuem alíquota diferenciada de IPVA: Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo. Vale lembrar que proprietários de veículos elétricos da cidade de São Paulo estão isentos do rodízio de veículos instituído desde 1997 (ABVE, 2013).

No que diz respeito aos carros híbridos o Brasil possui poucas iniciativas. Contudo, em 2013 o governo brasileiro criou o programa Inovar-Auto sob a responsabilidade dos ministérios do Desenvolvimento e da Fazenda. Este programa prevê incentivos fiscais na fabricação de carros híbridos ou movidos a eletricidade. Para que as empresas interessadas possam se habilitar ao novo regime automotivo, terão de se comprometer com um conjunto de metas no período de 2013-2017 e poderão obter os benefícios do crédito presumido do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) de até 30 pontos percentuais (INOVAR-AUTO, 2014).

Dentro deste contexto, um dos requisitos para que as montadoras possam se beneficiar do programa Inovar-Auto, é a melhoria obrigatória mínima de 12% em eficiência energética até 2017. Isto representa uma eficiência média de 1,82 MJ/km (Mega-Joules por quilômetro). Para se obter um desconto adicional, entre 1% e 2%, a montadora precisa reduzir o consumo médio entre 15,5% (1,75 MJ/km) e 18,8% (1,68 MJ/km) respectivamente (PASCOAL *et al*, 2014).

Atualmente, em 2014, pelo Programa Inovar-Auto, as montadoras já podem reduzir em até dois pontos percentuais o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), dependendo do investimento em inovação e desenvolvimento de engenharia no país (INOVAR-AUTO, 2014). Nesta direção, empresas brasileiras, como a Agrale, sediada no Rio Grande do Sul, desenvolve em parceria com a Itaipú Binacional o utilitário 4 x 4 Agrale Marruá 100% elétrico. Desenvolve também um ônibus híbrido diesel elétrico (*Hybridus*) que reduz o consumo de combustível em até 30% e a emissão de poluentes na mesma proporção.

Além da iniciativa do governo federal, a cidade de São Paulo, criou o Programa Ecofrota, que promove a difusão de veículos híbridos nas concessões de táxis no município. Entre os modelos em operação na cidade, destaca-se o Toyota *Prius* lançado no Brasil em 2012, com início de vendas em janeiro de 2013 (CASTRO, 2013).

Em síntese, não há produção de veículos leves híbridos no país. Os elétricos têm clientes corporativos, enquanto os modelos híbridos lançados destinam-se a um público de alta renda. Os custos associados à importação desses modelos influenciam a estratégia de lançamento dos modelos híbridos pelas montadoras no Brasil o que resulta na baixa difusão desses veículos no país.

4.2 Políticas Públicas no Japão e Coreia do Sul para o Veículo Elétrico e Híbrido

No Japão, por outro lado, políticas públicas já existentes induziram as empresas a investir em inovações tecnológicas. Além de uma política inicial de subsídios à compra de VEs, o Japão tem uma política de redução e isenção de impostos relacionada à eficiência energética e à redução de emissões veiculares: carros elétricos e híbridos estão isentos do imposto nacional, enquanto que aqueles movidos a combustíveis que atinjam antecipadamente ou superem as metas de redução de emissões pagam de 50% a 75% menos imposto (50BY50, 2009). Além disso, eliminou-se o imposto sobre VEs, equivalente ao IPVA brasileiro, em diversas províncias japonesas e na capital do país. Outras medidas foram adotadas tais como eliminar

ou minimizar a carga tributária sobre imóveis onde se produzam ou consertem veículos elétricos, ou onde se estabeleçam eletropostos (POHL; YARIME, 2012).

Neste contexto, o desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos no Japão e Coreia do Sul tem sido impulsionado pela necessidade de segurança energética, no sentido de reduzir as importações de petróleo. Outra razão, cuja importância parece variar entre os países e ao longo do tempo, é a contribuição desses veículos para um meio-ambiente sustentável, tanto no que diz respeito à poluição em megacidades asiáticas e também no que diz respeito à mudança climática global. Isso significa que estes países têm objetivos para produzir veículos elétricos e veículos híbridos a fim de migrar ao longo do tempo para uma frota nacional (GROWTH ANALYSIS, 2013).

Tabela 1 - Objetivos Nacionais para Veículos Elétricos e Híbridos

| Pais | Força Direcionadora | Objetivo |
|---------------|---|---|
| Coreia do Sul | <ol style="list-style-type: none"> 1. Carros elétricos e híbridos são componentes importantes para uma transformação estrutural sustentável da frota de veículos. 2. Fortalecimento da indústria automotiva nacional. 3. Os altos preços do petróleo no mercado internacional. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Redução das emissões de CO2 em 1,2 milhões de toneladas até 2020. 2. Metas de vendas domésticas de EV: 12% em 2015 e 22% em 2020. 3. Ser um dos quatro maiores países produtores de EV mundial até 2017 e obter 10% do mercado global até 2020 |
| Japão | <ol style="list-style-type: none"> 1. Desenvolvimento econômico futuro fortemente ligado aos carros elétricos e híbridos. 2. Diminuição da crescente demanda por petróleo após o tsunami de 2011. 3. Redução de emissões | <ol style="list-style-type: none"> 1. EV / PHEVs até 2020: 15-20%, 2030: 20-30%. 2. Instalação de 2 milhões de carregadores e 5.000 carregadores rápidos até 2020 3. Desenvolvimento de alta tecnologia magnética sem utilização do elemento terras-raras. |

FONTE: Adaptado de GROWTH ANALYSIS, 2013, p. 13.

Pela Tabela 1, observa-se que apesar de algumas diferenças, há um grande número de semelhanças no que diz respeito ao desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos entre Japão e Coreia do Sul. A segurança energética, oportunidade de exportação futura e limitar as emissões são fatores que têm impulsionado o desenvolvimento nestes países. Outro fator comum é o papel do governo como uma força motriz, em conjunto com a indústria nacional.

Entretanto, o fato de que a tecnologia de baterias provou ser mais difícil de dominar do que o esperado, além de uma falta de infraestrutura adequada, incluindo-se a normalização, têm sido obstáculos ao desenvolvimento do carro elétrico e híbrido. Assim, o que separa estes países mais distintamente um do outro é o quão longe eles vieram com desenvolvimento. O Japão se destaca como o país que tem mais avançado nesta indústria em um contexto global, seguido pela Coreia do Sul (GROWTH ANALYSIS, 2013).

4.3 Políticas Públicas no Japão

Atualmente, o mercado japonês para veículos elétricos é o mercado mais desenvolvido, bem como a implantação de infraestrutura. O Japão possui fabricantes de automóveis e fabricantes de baterias e é o país com o maior número de veículos elétricos (EVs) na Ásia. Veículos eficientes em termos ecológicos estão rodando nas estradas do Japão tais como, Toyota *Prius* desde 1997; i-MiEV da Mitsubishi e Nissan *Leaf* desde 2010.

O governo japonês tem apoiado ativamente a transição da frota nacional para veículos elétricos e híbridos por várias razões. Uma grande parte da economia do país e o crescimento econômico estão ligados ao sucesso futuro da indústria automotiva. Na carteira de competitividade do Japão além das áreas industriais e de pesquisa, encontra-se também a tecnologia de baterias - o artefato tecnológico chave que vai ajudar a saltar, ou dificultar, o desenvolvimento do veículo elétrico (*Ibid*).

O avanço de uma nova geração de veículos elétricos foi colocado no topo da agenda política do governo. Em documentos políticos japoneses, o conceito de Nova Geração de Veículos Elétricos engloba todos os possíveis substitutos, completos ou parciais, de um motor de combustão tradicional (NPU, 2012).

Dessa forma, na estratégia de crescimento nacional para 2020 vários objetivos quantitativos e qualitativos relacionados aos veículos de próxima geração foram apresentados. Esses objetivos estão relacionados com o desenvolvimento de veículos, infraestrutura e tecnologias específicas (GROWTH ANALYSIS, 2013). Os principais objetivos para 2020 são:

- Aumentar em 50% as vendas de carros novos considerados veículos de última geração;
- Instalação de dois milhões de carregadores comuns e 5.000 carregadores rápidos para EV e PHEV;
- Atingir 50% do mercado global de baterias de armazenamento;
- Desenvolvimento de ímã de alta performance com terras-raras, que tem o dobro da força magnética dos ímãs atuais e poderá ser usado em baterias para HEV / EV / PHEV.
- Melhoria do desempenho da bateria de íon de lítio para EV.
- HEV / EV / PHEV devem ser utilizados como fontes de energia elétrica para residências.

4.4 Políticas Públicas na Coreia do Sul

Os esforços da Coreia do Sul para apoiar o desenvolvimento EV teve origem em 2004 com a criação da Lei de Desenvolvimento e Implantação de Veículos Ecológicos. Esta Lei fornece uma base legal para políticas de desenvolvimento de veículos ecológicos e declara que a política deve ser revista a cada cinco anos. O esforço ganhou impulso, em 2008, com a introdução da política de Crescimento Verde (HWANG, 2012).

Esta política estabeleceu como meta a redução de emissões de CO₂ de 813 milhões de toneladas para 569 milhões de toneladas em 2020. Assim, redução de emissões de gases do efeito estufa e altos preços dos combustíveis fósseis são dois pontos importantes para o governo coreano promover o desenvolvimento do veículo elétrico (*Ibid*).

Dentro deste contexto, a KIA começou a produzir veículos de pequeno porte em 2012, com 2.000 veículos entregues ao setor público. Como decorrência deste esforço de desenvolvimento, 129 empresas colaboraram para viabilizar o veículo elétrico com 100% de peças nacionais. Em 2013, 500 veículos de pequeno porte foram entregues ao setor público e 6.000 para consumidores privados. Adicionalmente, duas metas ambientais diferentes foram definidas para os fabricantes de automóveis até 2015: eficiência de combustível e redução da emissão de gases de efeito estufa. As empresas têm a opção de alcançar qualquer uma delas (GROWTH ANALYSIS, 2013).

Além da política de Crescimento Verde, em 2010, novas iniciativas foram adotadas pelo governo sul coreano com a criação do *Green Car Forum*. Com base nas discussões deste evento, o governo definiu um *Green Car Roadmap*, com o compromisso de se tornar o quarto

maior produtor mundial de veículos elétricos até 2017. Outras metas numéricas definidas no *roadmap*:

- 10% do mercado global de veículos elétricos até 2020;
- 12% do mercado local de veículos elétricos até 2015;
- 22% do mercado local de veículos elétricos até 2020;
- Redução de 1,2 milhões de toneladas das emissões por difusão de EV até 2020.

O processo de elaboração de um novo *roadmap* prevê o envolvimento do Ministério da Economia e do Conhecimento, o Ministério do Meio Ambiente, o Ministério da Terra, Transportes e Assuntos Marítimos e do Ministério das Finanças. O novo *roadmap* será estabelecido com base no desenvolvimento das tecnologias e tendências políticas internacionais, visto que os fabricantes de automóveis coreanos dependem muito das exportações (*Ibid*).

Ao mesmo tempo, o governo define sua estratégia para o desenvolvimento da indústria do carro verde, que contempla políticas para incluir créditos fiscais, subsídios, bônus, suporte para instalações e infraestrutura na produção de veículos elétricos (LEE, 2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise apresentada tem como propósito dar início a uma série de investigações e discussões sobre qual a alternativa ambientalmente sustentável o Brasil deverá adotar entre carro-elétrico ou híbrido, levando-se em consideração a cadeia global de valor. Nela os avanços da indústria automobilística japonesa e sul coreana tem grande participação dado que estes dois países apresentam grande empenho de seus setores privados e públicos no desenvolvimento desta nova indústria.

No que se refere à viabilidade da indústria automotiva de baixo carbono, o carro puramente elétrico têm a bateria como sua única fonte de energia, com zero de emissão direta e aproveita as fontes alternativas de geração elétrica. Entretanto, nos dias de hoje, existem outros modelos viáveis de tração que utilizam em conjunto fontes de energia renováveis e outras fontes não renováveis, isto é, os veículos híbridos.

Verificou-se que o Japão e a Coreia do Sul possuem soluções tecnológicas, tanto de carro elétrico quanto de carro híbrido, disponíveis para comercialização em mercados internacionais. Ressalte-se que o Japão lidera a iniciativa deste desenvolvimento. Ambos os países possuem políticas públicas que favorecem a aquisição destes modelos. Contudo, condições necessárias de infraestrutura tais como eletropostos ou limitações tecnológicas tais como baterias com maior desempenho constituem-se em obstáculos para o veículo elétrico atingir o mercado.

A adoção e desenvolvimento das tecnologias relacionadas ao carro elétrico ou versões híbridas não podem desconsiderar o quarto maior consumidor de veículos automotores do planeta, que é o Brasil. Este por sua vez, necessita saber com maior clareza, onde melhor pode contribuir e explorar oportunidades na nova cadeia de valor que está se consolidando mundialmente. A principal razão para haver tão poucos carros elétricos circulando no Brasil é a elevada carga de impostos que incidem sobre o preço final.

Em síntese, o Brasil precisa, urgentemente, direcionar esforços no que diz respeito a definir políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento do veículo elétrico e híbrido. Desta forma, o país deve diagnosticar suas forças e fraquezas neste setor além de buscar parcerias

estratégicas com os países mais desenvolvidos tecnologicamente nesta área tais como Japão e Coreia do Sul.

Nesse sentido, entre as várias sugestões de pesquisas futuras, merecem destaque aquelas relacionadas com as seguintes indagações: Em que etapas da cadeia produtiva de veículos elétricos e híbridos o Brasil deve se especializar? Quais deles devem ser priorizados pelos atuais e novos players da indústria brasileira de veículos?

REFERÊNCIAS

50BY50. **Global fuel economy initiative**: Making cars 50% more fuel efficient by 2050 worldwide. FIA Foundation, IEA, ITF, UNEP: 2009.

ABVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 19/12/2013.

AUDI. Disponível em: <http://www.audi.com.br/br/brand/pt/vorsprung_durch_technik/etron-/the_glossary.html>. Acesso em: 03/04/2013.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos**: História e perspectivas no Brasil. BNDES Setorial 33, p. 207-224. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites-/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset>. Acesso em: 21/03/2013.

BATTERY UNIVERSITY. *Types of Lithium-ion batteries*. Disponível em: <http://battery-university.com/learn/article/types_of_lithium_ion>. Acesso em: 11/07/2014.

CAR2GO. **Welcome to car2go**. Disponível em: <<http://www.car2go.com>>. Acesso em: 22/02/2013.

CALSTART. **Energy storage compendium**: batteries for electric and hybrid heavy duty vehicles. Pasadena, CA: Calstart, mar. 2010. Disponível em <http://www.-evworkplace.org/>. Acesso em: 21/03/2013.

CASTRO, C. M. **A prática de pesquisa**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1977.

CASTRO, B. H. R; FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos**: Aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. BNDES Setorial 32, p. 267-310. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/-SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Transporte_Urbano/201009_8.html>. Acesso em: 11/08/2013.

CASTRO, B. H. R *et al.* **Baterias automotivas**: Panorama da indústria no Brasil. BNDES Setorial 37, p. 443-496. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites-/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset>. Acesso em: 21/03/2013.

DINGER, A. *et al.* **Batteries for electric cars**: challenges, opportunities, and the outlook to 2020. BCG, 2010.

E-VOLUTION. Disponível em: <<http://evolution-gmbh.com>>. Acesso em: 21/03/2014.

GCC. **Green car Congress**: Energy, Technologies, Issues and Policies for Sustainable Mobility. Disponível em: <<http://www.greencarcongress.com/2008/05/the-battery-pac.html>>. Acesso em: 31/03/2013.

GROWTH ANALYSIS. **Governance for electric vehicle innovation**: Lessons from South Korea, India, China and Japan. Swedish Agency For Growth Policy Analysis. mar, 2013.

HENSLEY, R.; KNUPFER, S.; PINNER, D. **Electrifying Cars**: How three industries will involve. McKinsey Quarterly, n. 3, p. 87-96, 2009.

HOYER, K. G. **The history of alternative fuels in transportation**: The case of electric and hybrid cars. Oslo: Elsevier, 2007.

HWANG, S. K. **Electric Vehicle in Operation**: Lessons from Transition in Urban Transport Policy. Korean Transport Institute. 2012.

INOVAR-AUTO. **Regime automotivo para o Brasil**. Disponível em: <<http://inovarauto.com.br>>. Acesso em: 20/02/2014.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - IEDI. **O Lugar do Brasil nas Cadeias Globais de Valor**. Disponível em: <http://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_578.html>. Acesso em: 20/07/2013.

ITAIPÚ. Disponível em: <https://planejamento.gov.br/cadastrros/noticias/2013/2/20/itaipuquer-desenvolver-cadeia-do-carro-eletrico>. Acesso em: 21/03/2013.

LEE, A. V. M. **Electric Vehicles in South Korea 2010**. Disponível em: <<http://www.finpro.fi/documents/10304/9b52fef5-e0d1-4938-8ec8-961ea6c87491>>.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MELLO, A. M.; MARX, R.; SOUZA, A. **Exploring scenarios for the possibility of developing design and production competencies of electrical vehicles in Brazil** International Journal of Automotive Technology and Management. v.13, n.3, p.289, 2013.

NATIONAL POLICY UNIT – NPU. **Nihon Saisei Senryaku**: Comprehensive strategy for the rebirth of Japan 2012. Disponível em: < <http://www.npu.go.jp/saisei/images/pdf>>.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **Industry and Globalization**: Challenges and opportunities for green car industry. Disponível em: <<http://www.oecd.org/sti/ind/45008864.pdf>>. Acesso em: 30/11/2013.

PASCOAL, E T.; CANDIDO, G. M.; IBUSUKI, U.; DELAMARO, M. C.; TSUKADA, O. **New Brazilian automotive policy and the increase of auto parts local content**: A critical analysis of the automotive supply chain. 22nd International Colloquium of GERPISA / Old and new spaces of the automotive industry. Kyoto, Japan, 2014.

PESQUISA FAPESP. **Energia elétrica**: Bateria de lítio desenvolvida em São Paulo começa a impulsionar caminhonetes. n. 199, p. 72 - 74, set. 2012.

POHL, H.; YARIME, M. Integrating innovation system and management concepts: The development of electric and hybrid electric vehicles in Japan. Technological Forecasting & Social Change. v. 79, n. 8, p. 1431 – 1446, 2012.

RASKIN, A.; SHAH, S. **The emergence of hybrid vehicles**: ending oil's stranglehold on transportation and the economy. AllianceBernstein Research on Strategy Change, jun. 2006. Disponível em: <http://www.evworld.com/library/PHEV_AllianceBernstein.pdf>. Acesso em: 11/08/2013.

VEÍCULO ELÉTRICO - VE. **Itaipu**: Projeto Veículo Elétrico. Disponível em: <<http://www2.itaipu.gov.br/ve>>. Acesso em 20/02/2014.

WELLS, Peter. **Creating new value-added configurations in the electric vehicle industry**. Shenzhen, China. World Electric Vehicle Journal, v. 4, p. 823-834, 2010.

ZIPCAR. **Car sharing**: an alternative to car rental and car ownership. Disponível em: <<http://www.zipcar.com>>. Acesso em: 11/10/2011.