

Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades

Bernardo Hauch Ribeiro de Castro
Tiago Toledo Ferreira*

Resumo

Quase um século após serem superados por modelos propulsionados por motores a combustão, os veículos elétricos reapareceram no cenário automotivo mundial. Esse movimento deverá ser responsável pela substituição parcial dos motores a combustão interna por motores elétricos como fonte de força motriz veicular em parcela significativa da frota nas próximas décadas.

Motivados por fatores como a superação de entraves tecnológicos, as preocupações ambientais e a segurança energética dos países, vários governos têm apoiado a solução, levando praticamente todas as montadoras de automóveis a investir em projetos de veículos elétricos. O panorama de lançamentos é bastante rico e, embora ainda concentrado em países

* Respectivamente, engenheiro do Departamento de Indústria Pesada da Área Industrial e economista do Departamento de Transportes e Logística da Área de Infraestrutura do BNDES. Os autores agradecem os comentários de Paulo Castor de Castro, Filipe Lage e Patrícia Zendron, isentando-os da responsabilidade por erros remanescentes.

como Japão e Estados Unidos, a tendência é de aceleração da difusão por outros países.

O objetivo do presente artigo é apresentar, analisar e discutir os aspectos básicos dos veículos elétricos, seu estágio atual e as perspectivas para o seu desenvolvimento futuro. Conclui-se, ao final, que o tema deve ser alvo de políticas públicas, que serão cruciais para determinar a inserção da indústria local na nova realidade.

Introdução

Quase um século após serem superados por modelos propulsionados por motores a combustão, os veículos elétricos reapareceram no cenário automotivo mundial. Esse movimento deverá ser responsável pela substituição parcial dos motores a combustão interna por motores elétricos como fonte de força motriz veicular em parcela significativa da frota nas próximas décadas. Os lançamentos e anúncios de desenvolvimentos realizados recentemente indicam a proximidade dessa realidade.

No começo do século XX, os veículos elétricos dominavam o mercado norte-americano.¹ Os menores níveis de ruídos, a ausência de vibrações e a inexistência de marchas eram as principais vantagens desses veículos. Em uma época caracterizada por uma malha viária precária, com as melhores vias concentradas nos perímetros urbanos, a autonomia era um atributo menos valorizado.

A crescente disponibilidade a baixo custo de derivados de petróleo e a legislação ambiental leniente, associadas a um estágio mais primitivo das baterias, foram fundamentais para o fracasso da eletrificação veicular, apesar do maior conforto proporcionado ao usuário. Avanços tecnológicos, como a partida elétrica, e a melhoria das vias de rodagem aumentaram a atratividade dos veículos a combustão. E, desde a década de 1910, os veículos elétricos foram superados, ficando relegados a aplicações especiais.

Entretanto, nesse início de século XXI, as preocupações ambientais, a volatilidade do mercado de petróleo e o desenvolvimento das baterias reabilitaram o veículo elétrico, que voltou a figurar como alternativa

¹ “By the turn of the century, America was prosperous and the motor vehicle, now available in steam, electric, or gasoline versions, was becoming more popular. The years 1899 and 1900 were the high point of electric vehicles in America, as they outsold all other types of cars” [U.S DOE (2010)].

ao veículo a combustão. Por ser o principal consumidor de petróleo e representar uma das principais fontes geradoras de gases causadores do efeito estufa, o setor automotivo é um dos principais alvos das políticas energéticas e ambientais.

O objetivo do presente artigo é apresentar, analisar e discutir os aspectos básicos dos veículos elétricos, seu estágio atual e as perspectivas para o seu desenvolvimento futuro. Para tanto, o trabalho foi organizado em sete seções, considerando esta introdução e a conclusão. Inicialmente, na segunda seção, a discussão circunscreve-se aos fatores responsáveis pelo renascimento dos veículos elétricos. A terceira seção expõe os aspectos técnicos dos veículos elétricos. Na seção seguinte, a quarta, os modelos são apresentados e as perspectivas, como lançamentos futuros e projeções de vendas, são apontadas. Então, na quinta seção, a discussão volta-se aos desafios de curto e médio prazos, obstáculos à eletrificação da frota. Na sexta seção, o tema é o apoio do setor público no Brasil. Por fim, as considerações finais consolidam os principais pontos debatidos no trabalho.

Fatores impulsionadores dos veículos elétricos

Há três fatores principais responsáveis pelo crescente interesse nos veículos elétricos: a superação de entraves tecnológicos, as preocupações com o meio ambiente e com a segurança energética dos países. Muitas das preocupações materializam-se em ações governamentais, como se verá.

Desenvolvimento tecnológico

Do ponto de vista tecnológico, o desenvolvimento das baterias foi fundamental para viabilizar o ressurgimento dos veículos elétricos. Esse desenvolvimento ocorreu na esteira do rápido avanço dos setores de informática e telecomunicações na década de 1990, quando os dispositivos móveis – telefones celulares e *laptops* – foram difundidos. A maior mobilidade exigia a redução do peso e o aumento da energia armazenada, necessidades que induziram a realização de pesquisas responsáveis por consideráveis melhorias nas baterias. Ao ampliar a densidade energética, as novas baterias aumentaram a autonomia do veículo, que constitui um dos atributos fundamentais de um meio de transporte. Em um primeiro

momento, enquanto a infraestrutura destinada à recarga for deficiente, a autonomia será mais valorizada pelos potenciais consumidores.

O atendimento à autonomia de 50 milhas – cerca de 80,5 km – representa o requisito para satisfazer as necessidades básicas de cerca de 80% dos motoristas norte-americanos, conforme demonstrado na Tabela 1. No entanto, em função dos múltiplos propósitos do veículo, que pode ser utilizado em viagens ou compartilhado por vários motoristas, a autonomia demandada pelos consumidores tende a ser superior à sua média diária de deslocamento. Esses fatores explicam o maior sucesso dos híbridos, os esforços no desenvolvimento de baterias e a focalização dos projetos em áreas urbanas. Por se tratar de tema crucial e representar o principal desafio colocado ao setor, as baterias serão discutidas mais detalhadamente em seção posterior.

Tabela 1 | Média de milhas diárias dos motoristas norte-americanos durante os dias da semana (em %)

	Frequência	Frequência acumulada
Menos ou igual a 5	10	10
Maior que 5 e menor ou igual a 10	12	23
Maior que 10 e menor ou igual a 20	21	44
Maior que 20 e menor ou igual a 30	16	60
Maior que 30 e menor ou igual a 40	11	71
Maior que 40 e menor ou igual a 50	8	79
Maior que 50 e menor ou igual a 60	5	84
Maior que 60	16	100

Fonte: Sandalow (2009).

Meio ambiente

Se as baterias viabilizaram tecnologicamente os veículos elétricos, as questões energéticas e ambientais serão responsáveis pela definição de sua taxa de penetração nos mercados.

O setor de transportes é responsável por parcela significativa das emissões de CO₂, que atualmente estão em níveis insustentáveis. Segundo IEA (2009),² mantendo-se a progressão atual de emissões de gases causadores

² International Energy Agency ou Agência Internacional de Energia.

do efeito estufa, a expectativa é de que nas próximas décadas haja forte elevação da temperatura.

According to our analysis, the greenhouse-gas concentration implied by the Reference Scenario would result in an eventual global mean temperature rise of up to 6° C. According to the studies summarised by the IPCC, this could lead to hundreds of millions of people being displaced from their homes, massive water and food shortages, widespread mortality of ecosystems and species, and substantial human health risks [IEA (2009, p. 113)].

O relatório não ignora as medidas recentes, que, na visão da instituição, seriam insuficientes para conter a trajetória atual.³ Alarmante, essa visão recebeu apoio na comunidade internacional. No ano de 2007, a Fundação Nobel concedeu seu prêmio na categoria Paz ao Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e a Al Gore, que, na época, vinha realizando diversas palestras e lançou um documentário alertando para os problemas decorrentes das mudanças climáticas.

Além dos elevados níveis, as emissões do setor de transporte apresentaram forte expansão.

In 2004, transport was responsible for 23% of world energy-related GHG emissions with about three quarters coming from road vehicles. Over the past decade, transport's GHG emissions have increased at a faster rate than any other energy using sector [Kahn Ribeiro *et al.* (2007, p. 3)].

E, dado o elevado potencial de expansão do setor nos países em desenvolvimento, essa participação pode aumentar no longo prazo. A Tabela 2 discrimina essa participação nas emissões e sua taxa de crescimento.

Mesmo considerando o crescente investimento na expansão da produção e no consumo de biocombustíveis, cuja redução na emissão de gases de efeito estufa é considerável, especialmente no caso do bioetanol de cana-de-açúcar, sua participação na oferta total primária de energia no mundo ainda é baixa e limitada pelas áreas agricultáveis. Alternativas com

³ “While greenhouse-gas emissions in this year’s Reference Scenario are lower than in WEO-2008, current policies are insufficient to prevent a rapid increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere, with very serious consequences for climate change” [IEA (2009, p. 112)].

Tabela 2 | Emissões de CO₂ relacionadas à energia por setor (Mt)

	1990	2007	Variação (%)
Geração de eletricidade	7.471	11.896	59,23
Outros setores de energia	1.016	1.437	41,44
Indústria	3.937	4.781	21,44
Transporte	4.574	6.623	44,80
Rodoviário	3.291	4.835	46,92
Residencial	1.891	1.877	-0,74
Serviços	1.066	878	-17,64
Agricultura	405	433	6,91
Uso não energético	581	900	54,91
Total	20.941	28.825	37,65

Fonte: IEA (2009, p. 185).

outros cultivares não têm o mesmo impacto sobre a redução da emissão de gases [BNDES e CGEE (2008)].

Naturalmente, por sua relevância e exposição, o setor automotivo é alvo de ações para combater as emissões de gases causadores do efeito estufa. Adicionalmente, o setor também é responsável por emissões de outras substâncias, que afetam a qualidade do ar nas grandes cidades. As soluções envolvem aumento de eficiência, redução de potência e modificações nos combustíveis, como o forte incentivo aos biocombustíveis. Entretanto, em função do aumento esperado da frota de veículos nos próximos anos, há espaço para modificações disruptivas. Os desenvolvimentos tecnológicos modernos possibilitaram a emergência da eletrificação veicular em escala comercial como uma solução promissora.

Energia

Fortemente relacionada à questão ambiental, a temática energética é outra importante indutora dos veículos elétricos. IEA (2009), em seu cenário de referência, projeta um crescimento médio anual da demanda mundial de energia de 1,5% entre 2007 e 2030, ao passo que, no mesmo período, a oferta de petróleo deve ter expansão média anual de 1,0%. Em termos acumulados, o aumento da demanda energética será de 40,7% contra 25,7% da oferta de petróleo. Essas projeções apontam a necessidade de desaceleração do crescimento da demanda por petróleo.

A alta volatilidade do preço do petróleo nos últimos anos, com tendência de encarecimento do barril, indica a percepção desse desequilíbrio pelos mercados. O preço do barril,⁴ na casa dos US\$ 77 em julho de 2007, alcançou a marca de US\$ 144 um ano depois, pouco antes do recrudescimento da crise financeira internacional. Este caiu a cerca de US\$ 40 no fim de 2008 e, desde então, vem se recuperando, chegando próximo a US\$ 88 no início de maio de 2010. Entretanto, a exacerbação da incerteza, em função dos problemas fiscais enfrentados por algumas economias europeias, levou o preço do barril de petróleo a retroceder a cerca de US\$ 67 no fim do mesmo mês. Salvo eventos isolados de curta ou média duração, o preço passou a superar sistematicamente a barreira dos US\$ 30 desde 2004.

O setor de transporte, que consome de cerca de 61,3% desse combustível fóssil,⁵ é responsável por ditar a evolução de sua demanda. A dependência dos meios de transporte é uma fonte de vulnerabilidade das economias nacionais de países importadores de petróleo. Os formuladores de políticas procuram ampliar a segurança energética, definida como o acesso, a um preço razoável, à fonte energética demandada, provida por produtores confiáveis. A dependência em relação a poucos produtores, organizados em cartel, e a grande volatilidade dos preços do barril de petróleo alimentam questionamentos acerca da segurança energética dos países dependentes da importação de petróleo.

O segmento automotivo absorve cerca de 77,3% da energia⁶ direcionada ao setor de transporte e é o principal alvo de ações que visem ao rebalanceamento da matriz energética de determinada economia. Nesse caso, as necessidades energéticas coincidem com as ambientais. No entanto, a eletrificação do *powertrain*⁷ apresenta uma vantagem adicional. A multiplicidade de fontes geradoras de energia elétrica possibilita a formulação de uma estratégia mais adequada à dotação de fatores naturais e aos anseios políticos, permitindo, por exemplo, a constituição de uma matriz energética que cause menos impactos negativos ao meio ambiente.

⁴ Fonte: Ipeadata. Preço por barril do petróleo bruto Brent (FOB). No original: Europe Brent Spot Price FOB.

⁵ Ver IEA (2009).

⁶ WBCSD *apud* Kahn Ribeiro (2007, p. 328).

⁷ O termo *powertrain* denomina o conjunto de componentes responsáveis pela geração de energia e transmissão às rodas. Entre esses componentes, destacam-se o motor e a transmissão.

Assim, superada ou reduzida a dependência, os países ampliariam bastante a sua segurança energética.

A questão da segurança energética tem como grande marco a crise do petróleo. Desde 1973, quando vários países árabes exportadores de petróleo decidiram reduzir a produção em retaliação ao apoio concedido pelas potências ocidentais a Israel, o elevado poder de mercado dos membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) ficou evidenciado. Entre 1972 e o fim de 1974, o preço nominal do petróleo, que estava estável desde o fim da Segunda Guerra Mundial, quadruplicou. A aceleração da inflação e os desequilíbrios das contas externas penalizaram grande parte das economias importadoras de petróleo na década de 1970. Em resposta, foram instituídos programas para reduzir a dependência do petróleo, que buscaram diminuir o consumo de derivados por meio da fixação de metas de eficiência para os veículos. Um caso emblemático é o programa brasileiro Proálcool, que procurou substituir a gasolina por etanol. No fim da década, houve nova alta de preços do barril de petróleo, dessa vez em decorrência da Revolução Iraniana e da invasão do Iraque a esse país. No entanto, nos anos subsequentes, a retração dos preços arrefeceu as metas de diversos programas.

Os recentes movimentos do preço do barril de petróleo e os alarmantes diagnósticos acerca do aquecimento global recolocaram o consumo energético dos meios de transporte na agenda política. Além de acelerar metas dos programas existentes, como realizado pelos Estados Unidos no CAFE,⁸ os países instituíram ações para fomentar uma mudança paradigmática, incentivando a introdução de veículos elétricos.

Ação governamental

Nesse momento de transição, os incentivos são essenciais para acelerar a penetração desses veículos. Além de não gozarem de economias de escala, os veículos elétricos enfrentam elevados custos de baterias, desconfiança dos consumidores e carência de infraestrutura. O preço médio⁹ de um Ford Fusion, um dos sedans mais vendidos nos Estados Unidos, é

⁸ *Corporate Average Fuel Economy* (CAFE) é uma medida de eficiência média do consumo de combustível dos veículos leves vendidos por determinada montadora. Instituído em 1975, é gerenciado pelo National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).

⁹ Cotações obtidas no sítio <http://www.edmunds.com>, em 6.7.2010, que desconsideram os benefícios concedidos pelo governo.

inferior a US\$ 20 mil, enquanto o preço esperado do GM Volt, o veículo híbrido, está na casa de US\$ 41 mil. O Nissan Leaf, outro veículo elétrico que será lançado em breve, deverá custar cerca de US\$ 33 mil.

Há, basicamente, cinco tipos de ações governamentais de incentivo à difusão do carro elétrico: bônus aos compradores de veículos elétricos, descontos em tributos, adoção de restrições à utilização de veículos convencionais, auxílio à pesquisa e implantação de infraestrutura. Esse apoio foi fortalecido recentemente, quando diversos países aproveitaram os pacotes de benefícios introduzidos durante a crise econômica mundial para promover uma discriminação em favor dos veículos híbridos e elétricos.

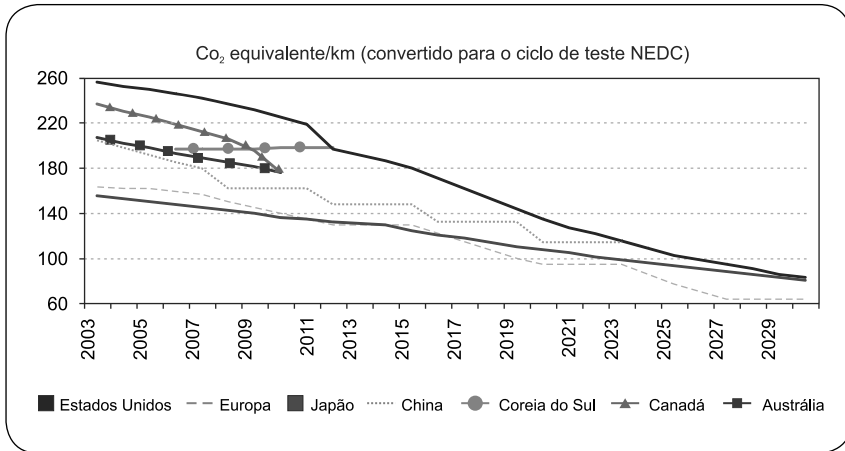
Tendo em vista que o preço de um carro elétrico ainda o inviabiliza comercialmente, em comparação com as alternativas do motor a combustão, vários países têm subsidiado parte do custo de aquisição de um carro, fornecendo um bônus ao comprador. Os Estados Unidos, por exemplo, fornecem um bônus de até US\$ 7.500,00 para o consumidor. Existem ainda ações regionais, nos estados norte-americanos, que podem ampliar esse bônus. França e Alemanha oferecem bônus similares. No Japão, atinge o equivalente a US\$ 10.000,00 [Dinger *et al.* (2010)], enquanto a China oferece o equivalente a US\$ 8.780,00. No Reino Unido, o incentivo será de até 25% do preço do carro, com teto de £ 5.000,00, válido entre 2011 e 2014 [UK DFT (2010)]. Há bônus também em outros países europeus.

O uso de descontos nos tributos também tem sido utilizado. Algumas das províncias do Canadá dão descontos de até US\$ 2.000,00 em impostos na aquisição de um veículo elétrico [EMC (2009)]. Os Estados Unidos dispõem de um programa de créditos tributários desde dezembro de 1993, com dedução inicial de até US\$ 4.000,00 [SAIC (2002)]. No Reino Unido, há um desconto na taxa de circulação e isenção de cobrança de estacionamento no centro de Londres.

Como mencionado anteriormente, uma das grandes motivações para a adoção do carro elétrico é a redução de emissões de poluentes. Em função disso, vários países têm adotado medidas regulatórias nesse sentido, que, em geral, são cumpridas por meio de melhorias nos motores a combustão e em outros sistemas veiculares. O veículo elétrico tem como grande vantagem a baixa emissão de poluentes, o que acaba configurando uma

forma de atender previamente a um possível endurecimento da legislação. O Gráfico 1 apresenta a evolução da legislação ambiental em diversos países selecionados, com a adoção sistemática de limites de emissão de CO₂ cada vez mais restritivos.

Gráfico 1 | Legislação ambiental dos países



Fonte: CSM.

O auxílio à pesquisa, tanto pública quanto privada, também tem sido fornecido pelos governos. Os Estados Unidos têm utilizado recursos que atingiram mais de US\$ 2,4 bilhões para P&D de veículos e baterias. O Reino Unido também tem financiado pesquisas voltadas para o desenvolvimento de veículos de baixa emissão de carbono, nos quais o veículo elétrico tem papel importante. Mostra-se, no fim do artigo, que o Brasil também dispõe de algumas ações de apoio à pesquisa para o desenvolvimento de veículos elétricos.

Por fim, os governos têm papel central no estímulo à implantação de infraestrutura de recarga para os carros elétricos. Há países de menor extensão territorial, como Israel e Japão, que têm implantado postos de recarga rápida em todo o território. O Reino Unido pretende instalar postos de recarga por meio da concessão dos serviços, com o uso de financiamento público parcial de até 50% do custo [Cenex (2010)]. A Tabela 3 resume as principais iniciativas de incentivo à difusão do veículo elétrico no mundo.

No Brasil, até o presente momento, os veículos elétricos não recebem tratamento diferenciado, embora algumas medidas estejam em estudo. No caso do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), os veículos elétricos

Tabela 3 | Síntese de alguns incentivos à adoção do veículo elétrico

País/região	Resumo dos principais incentivos
EUA	Bônus para consumidores de até US\$ 7.500,00 e mais de US\$ 2,4 bilhões em P&D de veículos e baterias. Outras ações regionais, em especial na Califórnia.
China	Bônus para consumidores de até 60 mil iuanes (US\$ 8.780,00) e anúncio de plano para a instalação de pontos de recarga nas principais cidades.
Reino Unido	Bônus para consumidores de até £ 5 mil, desconto na taxa de circulação e isenção da cobrança de estacionamento no centro de Londres.
União Europeia	15 países oferecem incentivos monetários aos consumidores de carros elétricos.
Outros países	Incentivos relevantes também são existentes em Israel, no Japão e no Canadá.

Fontes: ACEA (2009), UK DFT (2010) e informações colhidas em diversos periódicos.

são enquadrados na categoria “outros”, sobre a qual incide a alíquota mais elevada. Um automóvel elétrico, por exemplo, tem alíquota de 25%. Entretanto, há várias medidas isoladas em curso no país. As de maior destaque são a criação de um grupo de trabalho liderado pelo Ministério da Fazenda e um acordo assinado entre a prefeitura de São Paulo e o grupo Renault-Nissan.¹⁰ Por causa da relevância do tema, o apoio governamental ao veículo elétrico no Brasil será alvo de seção específica.

A eletrificação veicular é uma alternativa promissora que não elimina a busca por combustíveis alternativos ao petróleo. Além de alimentarem a frota movida a motores a combustão, eles poderão ter espaço nos modelos híbridos, em máquinas estacionárias e na geração de energia elétrica.

Aspectos técnicos

Um veículo elétrico é aquele tracionado por pelo menos um motor elétrico. Enquanto os veículos com motor a combustão interna podem ter um motor elétrico, só nos elétricos é que ele estará direta ou indiretamente ligado à tração do veículo. Os motores elétricos em veículos a combustão interna normalmente estão ligados a sistemas periféricos, como o acionamento de vidros elétricos.

¹⁰ Publicada no Exame.com em 13.4.2010. Disponível em: <<http://portalexame.abril.com.br/meio-ambiente-e-energia/noticias/prefeitura-sao-paulo-alianca-renault-nissan-assinam-hoje-acordo-ecologico-548753.html>>.

De modo simplificado, podem-se classificar os veículos elétricos em duas categorias: híbridos e puros.

Os veículos híbridos

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 à ineficiência dos processos mecânicos se comparados aos sistemas eletrônicos [Raskin e Shah (2006)].

Boa parte da ineficiência energética vem da geração de calor causada principalmente pelo atrito entre as partes móveis do motor de combustão interna. Estima-se que apenas 15% da energia potencial de um combustível em um automóvel é efetivamente utilizada para movimentá-lo.

Em um veículo híbrido, há quatro fatores que ajudam a aumentar sua eficiência:

- *Assistência do motor elétrico ao de combustão interna:* a menor variação em sua operação permite atingir um nível de eficiência muito mais elevado pela adoção de motores com menor perda, como os do ciclo Atkinson-Miller em vez do difundido ciclo Otto.
- *Desligamento automático:* um sistema híbrido pode desligar automaticamente o motor em caso de parada, enquanto no veículo convencional o motor a combustão continua funcionando.
- *Tecnologias de recarga da bateria, como frenagem regenerativa:* no caso dos motores a combustão, embora a aplicação seja possível, a armazenagem da energia gerada para fins de movimentação não é, ficando restrita ao consumo de periféricos (como ar condicionado, luzes etc.).
- *Otimização da transmissão:* o paradigma mecânico permite apenas um número limitado de combinações de rotação e potência, que limitam a eficiência do conjunto. Já com sistemas eletrônicos, as possibilidades de combinações são muito maiores. A Toyota, por exemplo, desenvolveu um sistema de transmissão eletrônica que permite um número infinito de combinações. Seu sistema é extensivamente patenteado, o que leva os competidores a licenciar essa tecnologia ou a utilizar sistemas menos eficientes, baseados em combinações amplas, mas não infinitas.

Há duas formas básicas de arranjo dos componentes de um sistema híbrido, que resultam em arquiteturas diferentes dos automóveis. Nos sistemas em série, o motor a combustão interna é ligado a um gerador e não diretamente ao trem de acionamento. O motor elétrico é que movimenta as rodas. Já no sistema em paralelo, tanto o motor elétrico quanto o motor a combustão podem movimentar as rodas, conjunta ou independentemente.

Há ainda um terceiro sistema que conjuga os dois anteriores, incorporando a possibilidade de recarga da bateria pelo motor a combustão mesmo quando ele estiver tracionando o veículo.

Os veículos elétricos puros

Os veículos puramente elétricos não têm um motor a combustão. São integralmente movidos por energia elétrica, seja provida por baterias, por células de combustível,¹¹ por placas fotovoltaicas (energia solar) ou ligados à rede elétrica, como os *trólebus*. Entre esses, a maioria dos lançamentos das grandes montadoras tem se concentrado em veículos movidos a bateria.

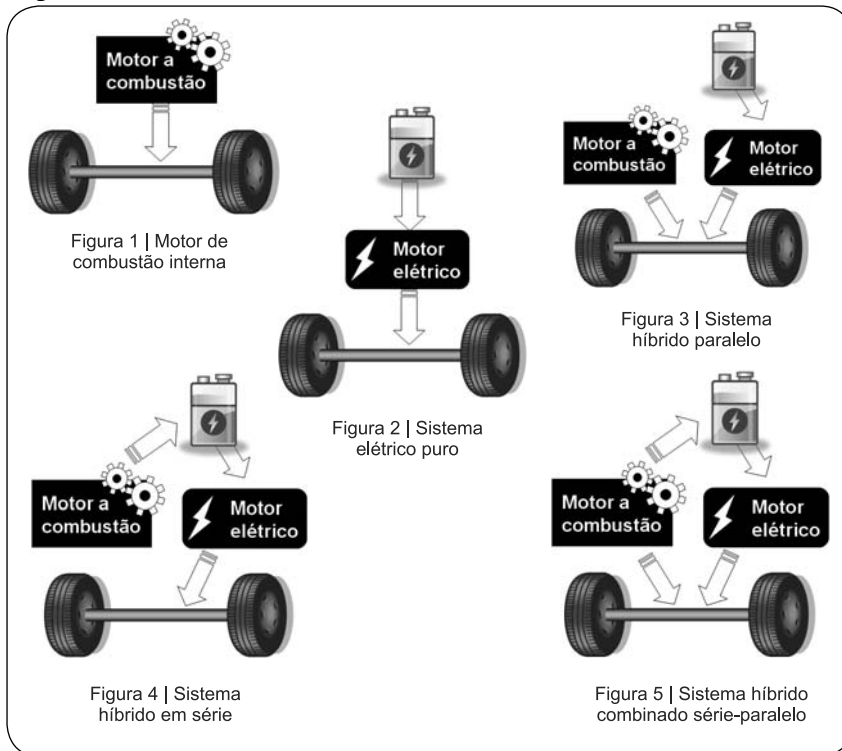
Percebe-se uma clara distinção entre os veículos elétricos puros e os híbridos em relação a dois aspectos: a autonomia, que atualmente é maior nos híbridos justamente pela utilização acessória de um motor a combustão, e o peso do conjunto de baterias. Os demais parâmetros são similares para os modelos estudados.

As Figuras 1 a 5 trazem, de forma simplificada, um desenho esquemático da arquitetura dos sistemas apresentados, bem como do sistema tradicional.

Com um sistema elétrico puro (Figura 2), há poucos modelos em comercialização, com destaque para o Tesla Roadster. Representantes do sistema híbrido paralelo (Figura 3) são os modelos comercializados pela Honda, como o Insight e o Civic. Um exemplo de uso de um sistema híbrido em série (Figura 4) será o GM Volt. Por fim, o sistema híbrido combinado série-paralelo (Figura 5) é o que equipa o Toyota Prius, o

¹¹ Células de combustível (*fuel cells*) são células eletroquímicas (como as pilhas) que convertem combustível em eletricidade. Apesar da possibilidade de utilizar diferentes combustíveis, há um forte apelo pelo uso do hidrogênio, que resultaria em veículos praticamente não poluentes.

Figuras 1 a 5



veículo híbrido mais vendido no mundo. Mais adiante, apresenta-se uma análise dos modelos disponíveis no mercado ou com lançamento previsto.

Componentes

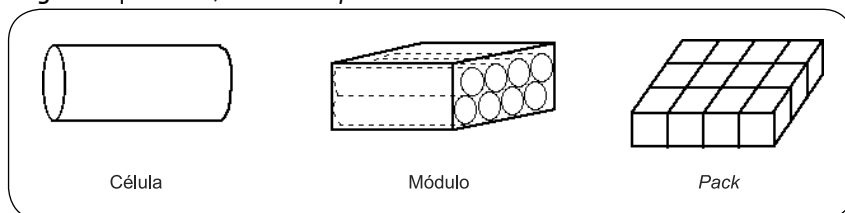
Os componentes dos veículos elétricos têm algumas diferenças em relação aos dos veículos com motor a combustão interna. A mais significativa é a inclusão de uma bateria, que responde por uma parte importante do custo de um veículo elétrico. Estimativas apontam que a bateria representa mais de 50% do custo do veículo.¹² Há ainda outros componentes incorporados, que serão detalhados a seguir, assim como componentes eliminados ou reduzidos, como o tanque de combustível.

¹² As reportagens disponibilizadas nos *links* a seguir apresentam estimativas de custos das baterias: <<http://www.wired.com/autopia/2009/07/ev-moon-shot/>> e <<http://green.autoblog.com/2010/05/15/nissan-leaf-profitable-by-year-three-battery-cost-closer-to-18/>>.

Baterias

A bateria é um componente central em veículos elétricos. Sua função é de armazenagem de energia. Embora exista em veículos de combustão interna, uma bateria destinada à tração do veículo tem, além da função, características diferentes das tradicionais. Elas são dispostas em módulos (mais de uma célula de bateria) ou em *packs* (mais de um módulo), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 | Células, módulos e *packs* de baterias



Fonte: Gaines e Couenca *apud* Calstart (2010).

Existem vários tipos de baterias de utilização possível em um veículo elétrico. No entanto, não há um padrão definitivo. Como se verá adiante, modelos de veículos elétricos já em comercialização utilizam baterias distintas umas das outras.

Há quatro tipos que disputam o estabelecimento de um padrão para a indústria automobilística: as de chumbo-ácido (PbA), as de níquel-hidreto metálico (NiMH), as de sódio e as de íon-lítio.

As baterias automotivas mais frequentes são as de chumbo-ácido, utilizadas nos veículos com motor a combustão interna para o acionamento de partes elétricas, como ignição eletrônica, injeção eletrônica, ar condicionado, vidro elétrico, computador de bordo, alarme, trava elétrica e som automotivo. Porém, também podem ser utilizadas para fins de tração. Elas têm como principais desvantagens o custo e o curto ciclo de vida. Por conter componentes perigosos (chumbo e ácido sulfúrico), há normas ambientais que disciplinam seu recolhimento, descarte e eventual reciclagem. Segundo o Cempre (2010), “em 2008, o Brasil atingiu 99,5% de reciclagem das baterias de chumbo-ácido. Como o Brasil não é autossuficiente em chumbo, é preciso importar cerca de 40% dele, o que faz com que a procura pelo reciclado seja muito grande”. Em função disso, grande parte dos fabricantes requer a devolução da bateria usada, quando efetua uma venda.

As de níquel-hidreto metálico constituem a tecnologia dominante para os veículos elétricos em fabricação atualmente. As principais vantagens são a confiabilidade e a vida útil, estimada em 10 anos, enquanto suas desvantagens são o custo, principalmente por causa do alto conteúdo de níquel, o peso relativamente alto, a eficiência ainda não ideal, pois há ainda bastante perda de energia na forma de calor, e o fato de não poderem descarregar completamente [Lache *et al.* (2008)]. Essa última característica é imprescindível em veículos elétricos puros, mas não relevante em veículos híbridos, nos quais há fontes alternativas de energia. Há dois fabricantes relevantes de baterias desse tipo para veículos, ambos de origem japonesa: a Panasonic, que equipa os híbridos Toyota Prius e Honda Insight, e a Sanyo [ABVE (2007)].

Exemplos de outros modelos híbridos que utilizam esse tipo de bateria incluem os da Honda (Civic), da GM (Malibu, Silverado e Tahoe), da Ford (Fusion, Escape) e da Nissan (Altima), entre outros [EERE (2010)].

É interessante enfatizar que um veículo como o Toyota Prius, o híbrido mais vendido atualmente, utiliza duas baterias. Uma delas é similar às utilizadas nos veículos convencionais para gerenciamento elétrico do automóvel, de chumbo-ácido. A segunda é específica para veículos elétricos, de níquel-hidreto metálico.

As de sódio, “zebra” ou ainda de “sal fundido” são uma tecnologia relativamente madura, mas que têm como limitação a necessidade de aquecimento para cerca de 270° C para funcionamento, o que consome bastante energia. Sua vantagem é não conter materiais tóxicos, como as de chumbo-ácido. É a alternativa utilizada no protótipo de caminhão leve Daily Elétrico, construído no âmbito da parceria entre as empresas Iveco e Itaipu Binacional, e do Palio Weekend Elétrico, da parceria entre a Fiat e a Itaipu. As baterias são fornecidas pela empresa suíça FZ Sonick, *joint-venture* formada em 2010 pelas empresas FIAMM e MES-DEA.

As de uso mais promissor e que já incorporam alguns veículos são as de íon-lítio. Tais baterias compreendem, na verdade, uma família de baterias, com suas vantagens e desvantagens.

As baterias são formadas por um catodo (+) e um anodo (-). O catodo é o maior determinante da energia, da segurança, da vida útil e do custo de uma bateria. Assim, as principais diferenças das famílias de baterias residem nos catodos. Os anodos são feitos, usualmente, de grafite, embora

haja experiências utilizando outros materiais, como titanato de lítio (LTO), grafite com superfície modificada ou carbono [Lache *et al.* (2008)].

Exemplos de tipos de baterias de íon-lítio são os seguintes: LCO (óxido de lítio-cobalto), NCA (lítio-níquel-cobalto-alumínio, ou LiNiCoAl), NMC (lítio-níquel-manganês-cobalto, ou LiNiMnCo), LMO/LTO (lítio-manganês spinel) e LFP (fosfato de ferro-lítio, ou LiFePO₄) [Dinger *et al.* (2010)]. A mais presente em aplicações comerciais é do tipo LCO, que equipa os telefones celulares e *laptops*, por exemplo.

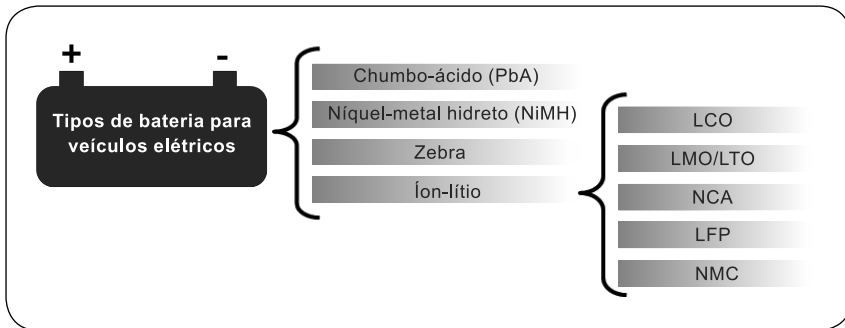
De forma geral, as baterias de íon-lítio, quando comparadas com as de NiMH, têm como vantagens maior capacidade por volume, maior eficiência e menor custo do metal (lítio, quando comparado com o níquel). Constituem ainda desafios para essas baterias a segurança, a *performance* em condições extremas de temperatura, a durabilidade e o custo total da bateria.

A empresa americana A123 Systems e a chinesa BYD produzem baterias de íon-lítio do tipo LFP. Há vários projetos de montadoras para lançamento de veículos com base nessa tecnologia. Já a empresa Compact Power Inc. (CPI), subsidiária da LG Chem, produz as do tipo LMO, que devem equipar o GM Volt. A empresa Johnson Controls produz baterias do tipo NCA e as empresas EnerDel, Toshiba e AltairNano, as do tipo LMO/LTO. As do tipo NMC ainda não são produzidas em escala, mas deverão equipar o modelo Nissan Leaf [Loveday (2009)]. Várias empresas de baterias também estão trabalhando com o NMC. O Tesla Roadster, um veículo elétrico puro já em comercialização, utiliza lotes de baterias de íon-lítio do tipo LCO. Há ainda outros fabricantes relevantes, como as asiáticas Cobasys, Nec, Hitachi e Samsung, as europeias Fiamm e Exide e as norte-americanas Valence Technologies, Axion Power e Advanced Lithium Power [Impinnisi (2010)].

A Figura 7 mostra um diagrama esquemático dos principais tipos de baterias encontrados nos atuais veículos elétricos. Há uma série de outros tipos de baterias em desenvolvimento ou apenas sendo consideradas para a utilização em veículos elétricos.

Em geral, sete parâmetros são relevantes para a escolha de uma bateria veicular e se mantêm como alguns gargalos tecnológicos a superar: a segurança, a vida útil (quantos ciclos de carga e descarga e a idade), a *performance* (desempenho em baixas temperaturas, medições e gerenciamento térmico), a capacidade (quanta energia ela pode armazenar), a potência

Figura 7 | Diagrama esquemático de tipos selecionados de baterias para veículos elétricos



específica, o peso e o custo [Dinger *et al.* (2010) e Calstart (2010)]. Segundo estudo da consultoria BCG [Dinger *et al.* (2010)], nenhuma das tecnologias de baterias íon-lítio tem, atualmente, bom desempenho em todas as dimensões.

Ao comparar alguns tipos de baterias quanto a determinadas variáveis selecionadas, observa-se que as de íon-lítio obtêm melhor desempenho, embora tenham custo mais elevado e problemas de segurança. Já as de PbA obtêm desempenho pior, mas custo mais baixo, enquanto as difundidas de NiMH figuram em posição intermediária quanto a desempenho e custo. Por fim, as Zebra têm como principal limitante o fato de serem desenvolvidas apenas por uma empresa, enquanto há várias empresas pesquisando as alternativas. A Tabela 4 apresenta um comparativo resumido entre os principais tipos de baterias para veículos elétricos.

Tabela 4 | Comparativo entre baterias, segundo variáveis selecionadas

		Energia (Wh/kg)	Vida útil (ciclos)	Custos	Segurança	Problemas
PbA		30-50	200-300	X	Estável	Baixa energia
NiMH		60-80	300-500	3X	Estável	Opção intermediária. Não lidera em custo, nem em desempenho.
Zebra		100-110	>1.000	3X	Estável	Desenvolvimento limitado a uma empresa
Íon-lítio	NCA	100-130	>800	5X	Necessitam de proteção	Custo e segurança
	NMC	100-130	>1.000			
	LFP	90-110	>2.000			

Fonte: Adaptado de Impinnisi (2010).

Atualmente, as montadoras têm constituído parcerias para desenvolvimento ou fornecimento de baterias com fabricantes ou com outras montadoras. Exemplos de parcerias anunciadas são as seguintes: Toyota e Panasonic [Primearth (2010)], Ford e Magna [Ford (2009)], Volkswagen e BYD [Rauwald e Shirouzu (2009)], Daimler e BYD [Daimler (2010)], Renault-Nissan e Daimler [Renault-Nissan e Daimler (2010)], Toyota e Tesla Motors [Motavalli (2010)], Mitsubishi e PSA-Peugeot-Citröen [Hagiwara (2010)], e Toyota e Mazda [Roberti (2010)].

Como ainda não há uma definição quanto ao tipo de bateria que equipará os veículos elétricos, várias são as alternativas pesquisadas. No futuro, há a possibilidade de que, com o amadurecimento das tecnologias e a definição de um padrão, a bateria possa se tornar uma *commodity* [Impinnisi (2010)].

Outros componentes

Além das baterias, os veículos elétricos têm outros componentes que não fazem parte dos veículos com motor a combustão interna. Da mesma forma, componentes relacionados ao motor a combustão, como o sistema de exaustão e o tanque de combustível, não fazem parte de um veículo puramente elétrico.

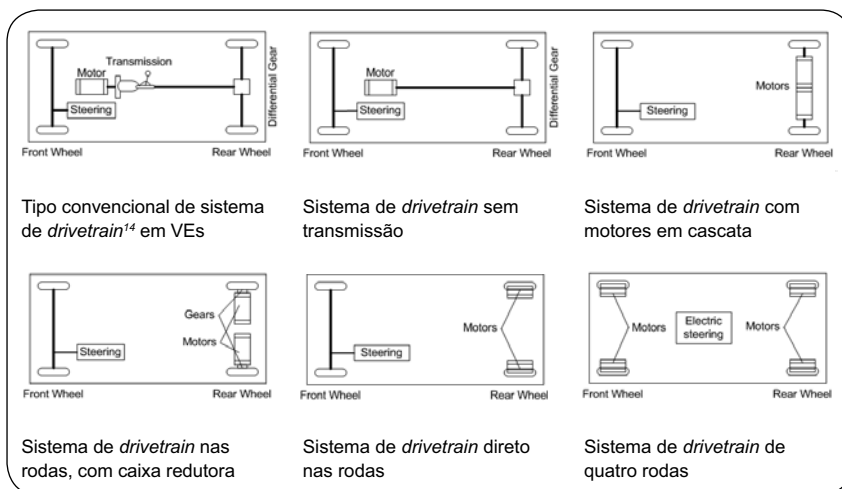
Entre os novos componentes, um motor elétrico, um inversor de potência, uma transmissão de velocidade única e um carregador embarcado passarão a constituir parte relevante do custo de um automóvel.¹³

Ainda que o motor elétrico tenha um apelo diferente do motor a combustão interna presente nos veículos convencionais, nos quais ele é fator importante de desempenho, e constitua um dos principais elementos para uma segmentação de mercado de automóveis, a tendência é de que, nos veículos elétricos, ele seja mais comoditizado. O princípio de funcionamento é o mesmo de motores elétricos tradicionalmente utilizados.

Há algumas configurações possíveis para o motor elétrico em um automóvel. Ele pode ser centralizado, assumindo um papel similar a um motor de combustão interna, ou junto a cada uma das rodas, o que reduz as perdas de transmissão. O Toyota Prius é um exemplo de configuração com motor centralizado, enquanto o Mitsubishi i Miev tem motores nas rodas. A Figura 8 ilustra algumas configurações possíveis.

¹³ Electrification Coalition (2009).

Figura 8 | Diferentes configurações possíveis para o motor elétrico em um automóvel



Fonte: Xue *et al.* (2008).

Há quatro tipos de motores em aplicação nos veículos elétricos. O primeiro é o motor de corrente contínua com escovas,¹⁵ que, embora de baixa eficiência e alto peso, tem custo inferior, sendo uma alternativa ainda considerada. Normalmente é utilizado nos veículos convencionais como motor de arranque e para funcionamento dos limpadores dos vidros. Já os motores de indução são de simples construção, baixa manutenção, confiáveis e de baixo custo. No entanto, seus controladores são muito caros. Os motores de corrente contínua sem escovas são os que equipam os modelos Toyota Prius e Honda Insight. Embora mais eficientes, são mais caros e pesados que os anteriores. Por fim, existem os motores de relutância comutada, que têm o menor peso de todos e são de fácil refrigeração, embora mais caros [Xue *et al.* (2008)].

Os inversores de potência servem para transformar a corrente contínua em corrente alternada, o que permite o acionamento do motor elétrico e o funcionamento de alguns equipamentos eletrônicos no automóvel.

¹⁴ *Drivetrain* é “o sistema que leva a potência do motor às rodas para produzir movimento. Compreende transmissão, unidade de transferência (em modelos 4x4), cardan, diferencial e eixo de rodas” [Toyota (2010)].

¹⁵ Escovas, também chamadas de carvão, são componentes de motores elétricos que conduzem a energia das bobinas ao rotor. São desgastadas por atrito, o que leva a uma perda gradual de eficiência.

Os carregadores embarcados são dispositivos que permitem o carregamento da bateria em qualquer tipo de tomada.

Há ainda componentes inovadores que podem fazer parte dos veículos elétricos. O Toyota Prius, por exemplo, tem um equipamento chamado de *power-split*, que gerencia a potência do motor a combustão entre a movimentação direta do veículo e a geração de energia para o carregamento da bateria.

Outro componente bastante comum nos veículos elétricos é o sistema de frenagem regenerativa. Conforme definição da ABVE (2010):

A frenagem regenerativa permite a um veículo recapturar e armazenar parte da energia cinética que seria convertida em calor (nas lonas ou discos nas rodas) durante a frenagem por atrito no veículo convencional. Na frenagem regenerativa, quando o motorista pisa no freio para reduzir a velocidade do veículo elétrico, o(s) motor(es) elétrico(s) de tração é(são) chaveado(s) para atuar como gerador(es) de eletricidade acionado(s) pela(s) roda(s) ou eixo da(s) roda(s). A energia elétrica gerada com a frenagem do veículo é armazenada na(s) bateria(s). Para possibilitar uma frenagem rápida e abrupta, os veículos elétricos são providos também dos freios tradicionais.

Tais dispositivos são aplicáveis também a veículos convencionais, com motor a combustão interna. Exemplos de aplicação estão nos carros de Fórmula 1, em que algumas equipes os adotaram a partir da temporada de 2009. Estima-se que as perdas de energia com as frenagens representem cerca de 5,8% do total consumido por um veículo convencional. Os dispositivos de frenagem regenerativa visam reduzir essa perda.

Síntese

Em resumo, os veículos elétricos trazem algumas mudanças, ao substituir o paradigma mecânico pelo eletrônico. Assim, alguns sistemas eletroeletrônicos já presentes nos veículos com motor a combustão tendem a mudar de status, assumindo uma importância mais central no veículo elétrico. Podem-se esperar mudanças na cadeia de suprimentos de veículos automotores, como já ocorre com a entrada de competidores na área de baterias. Porém, o desenvolvimento de componentes ainda é um desafio para uma ampla difusão dos veículos elétricos.

As montadoras de veículos e fornecedores de baterias e de sistemas eletrônicos têm liderado o desenvolvimento tecnológico, conforme levantamento realizado pelo Escritório Japonês de Patentes. Foram levantadas as patentes registradas no período de 1995 a 2006 em cinco mercados (Estados Unidos, Japão, Europa, China e Coreia do Sul) quanto ao desenvolvimento relacionado a veículos elétricos, híbridos e de células a combustível. O resultado mostra que mais de 70% das patentes eram de empresas japonesas. O total saltou de 9.034 patentes, entre 1995 e 2000, para 16.670, entre 2001 e 2006. A Tabela 5 ilustra as empresas com mais patentes em cada mercado.

Tabela 5 | Registros de patentes na área de veículos elétricos entre 1995 e 2006

	Japão		EUA		Europa		China		Coreia do Sul
Toyota	3407	Toyota	463	Toyota	600	Toyota	278	Hyundai	292
Nissan	1902	Honda	418	Honda	359	Nissan	108	Toyota	87
Honda	1150	Nissan	256	Siemens	283	Honda	80	Nissan	51
Hitachi	759	Hitachi	173	Nissan	223	Hitachi	53	Honda	40
Toshiba	474	Ford	117	Daimler	180	Siemens	37	Hitachi	33

Fonte: Akasaka (2009).

Percebe-se que, no período, havia predominância de desenvolvimentos realizados por empresas japonesas e concentradas no mercado japonês. Com a expectativa de lançamento de veículos híbridos por montadoras americanas no fim desta primeira década do século XXI, espera-se que haja um progressivo aumento da participação destas no registro de patentes no mundo.

Em síntese, o padrão dominante de veículo elétrico ainda é uma incerteza. Há muitas variantes, desde indefinições quanto ao tipo de bateria e motor elétrico a utilizar até a própria arquitetura dos modelos. Dois modelos de veículos elétricos podem trazer diferenças substanciais entre si. O desenvolvimento de fornecedores em trabalho conjunto com as montadoras pode acelerar o estabelecimento de alguns padrões que, por sua vez, podem permitir o surgimento de novos fornecedores relevantes globalmente.

Modelos, perspectivas e mercado de veículos elétricos

Há alguns modelos de veículos elétricos em comercialização no mundo e vários com lançamento previsto. A seguir, descrevem-se alguns modelos, sobretudo de automóveis, presentes no mercado ou em desenvolvimento, considerando os sistemas híbrido e puramente elétrico.

Um exemplo de veículo com sistema híbrido é o Toyota Prius, lançado em 1997 no Japão e em 2000 em outros mercados, como os Estados Unidos e a Europa. Atualmente em sua terceira geração, é considerado o primeiro veículo híbrido produzido em massa e lançado globalmente. Ele evoluiu do sistema híbrido paralelo para o combinado. Em 2009, atingiu um acumulado de dois milhões de veículos vendidos desde o seu lançamento [Toyota (2010)].

Outro exemplo, o GM Volt, funciona com um sistema híbrido em série, com recarga feita por sistema *plug-in*¹⁶ e baterias de íon-lítio. Com o conceito apresentado em 2007, tem previsão de lançamento comercial em 2011.

Para ilustração, são veículos elétricos puros o Nissan Leaf, com lançamento previsto para 2010, e o Mitsubishi i MiEV, à venda no mercado. Ambos utilizam baterias de íon-lítio, sendo que o i MiEV tem três motores elétricos em vez de um, sendo um para cada roda dianteira e outro para o conjunto traseiro.

No Brasil, entre os projetos em desenvolvimento, pode-se citar o Projeto VE, iniciado em 2006, da Itaipu Binacional, em cooperação com a empresa suíça Kraftwerke Oberhasli (KWO), controladora de hidrelétricas suíças, e a montadora Fiat, além de outras empresas e instituições de pesquisa. São dois veículos em desenvolvimento, o Palio Weekend Elétrico e o caminhão leve Iveco Daily Elétrico. Ambos são veículos elétricos puros, sendo que o Palio utiliza uma bateria de níquel e o Daily, três baterias, de sódio, níquel e cádmio. Do Palio, são produzidos, em caráter experimental, quatro unidades por mês atualmente.

Há também projetos em fase mais embrionária, como o do Triciclo Pompéo, em desenvolvimento por uma empresa na incubadora tecnológica da

¹⁶ A denominação *plug-in* indica que a bateria do veículo pode ser recarregada por um *plug* conectado a uma fonte externa de energia elétrica.

Itaipu Binacional, que utiliza baterias de íon-lítio e motor elétrico fornecido pela empresa Weg. Tem lançamento previsto para 2011.

Em escala comercial, encontram-se no Brasil as motocicletas do tipo *scooter* elétricas, produzidas pelas empresas Motor Z, em São Bernardo do Campo (SP), Bramont, em Manaus (AM), e GPS Electric Movement, em Natal (RN) [Scooters (2009)], e ônibus urbanos com tração elétrica, fornecidos pela empresa Eletra, e a célula de hidrogênio, fabricados pela Tutto Trasporti. A Eletra afirma ter 300 *trolebus* e 45 ônibus híbridos em operação na Grande São Paulo [Eletra (2010)]. Há ainda um ônibus urbano híbrido (diesel-elétrico) recém-lançado pela empresa Agrale [Riatto (2010)]. Além disso, há veículos elétricos fabricados no Brasil para transporte em áreas particulares (ambientes fabris, centros de distribuição, campos de golfe etc.) por algumas empresas como Jacto e Agix.

A Tabela 6 ilustra alguns modelos de automóveis híbridos em comercialização, como o Toyota Prius e o Honda Insight, e com lançamento previsto (GM Volt), além de alguns modelos puramente elétricos, como o Mitsubishi i MiEV, o Nissan Leaf e o protótipo Fiat Palio Weekend Elétrico. Para fins de comparação, foram acrescentados dois modelos convencionais, com motor a combustão interna: o Palio Weekend fabricado no Brasil, para fins de comparação com seu similar elétrico, e o Toyota Corolla fabricado para o mercado norte-americano, escolhido como padrão para comparação.

Percebe-se que os dados relativos a tópicos de desempenho, como aceleração e velocidade máxima, são bastante similares entre os modelos. Há diferenças perceptíveis no consumo, que é menor nos veículos híbridos, embora a autonomia seja similar à dos veículos convencionais. Curiosamente, mesmo com baterias bem pesadas, o peso total do veículo mantém-se em patamar similar, independentemente do tipo de veículo. Por fim, cabe mencionar que a autonomia dos veículos puramente elétricos ainda é bem menor que as dos demais tipos.

As vendas de modelos puramente elétricos ainda são muito restritas, em função de haver poucos modelos lançados comercialmente. O Tesla Roadster, por exemplo, um automóvel voltado a um nicho esportivo, vendeu 937 unidades de 2008 até o fim de 2009 [Tesla (2010)].

Já os híbridos têm um histórico maior de vendas, com modelos lançados há mais de uma década. As vendas são amplamente dominadas pela

Tabela 6 | Comparativo de alguns modelos de veículos elétricos

	Híbridos						Puramente elétrico				Motor a combustão		
	Toyota Prius			Honda Insight			GM Volt		Nissan Leaf	Mitsubishi i MIEV	Pálio Elétrico (Itaipu/Fiat)	Pálio Weekend ELX 1.4 (Brasil)	Toyota Corolla S 1.8i (EUA)
	Geração 1 (Japão)	Geração 1 (Mundo)	Geração 2	Geração 3	Geração 1	Geração 2	Geração 1	Geração 2					
Lançamento/ano	1997-1999	2000-2003	2003-2009	2010	1999-2006	2010	2010	2011	2010	2010	n.d.	2010	2010
Potência do motor a combustão (HP)	58	70	76	98	64	98	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	n.a.	85	132
Potência do motor elétrico (HP)	40	44	67	80	13	13	71	71	63	107	20	n.a.	n.a.
Aceleração 0-96 km/h (s)	14,1	12,5	10,1	9,8	10,6	12,2	n.d.	n.d.	n.d.	9	28 ³	13,4 ³	10,1
Peso das baterias (kg)	57	52	45	44	22	29	180	180	165	200	165	n.a.	n.a.
Peso do veículo (kg)	n.d.	1.254	1.317	1.380	889	1.250	1.580	1.580	1.080	n.d.	1.029	1.091	1.280
Autonomia (km)	n.d.	579 ²	547 ²	n.d.	950 ²	644 ²	64 ¹ / 483 ²	64 ¹ / 483 ²	160	160	120	403	637
Velocidade máxima (km/h)	n.d.	159	178	n.d.	180	180	160	160	130	140	110	167	n.d.
Consumo médio (km/l)	n.d.	17,4	19,5	21,2	22,1	17,4	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.	n.a.	7,9 ⁴	12,7
Preço (US\$)	--	--	--	22.800	--	19.800	41.000	41.000	47.500	33.000	80.217 ⁵	22.865 ⁵	16.520

Fontes: Zapata e Nieuwenhuis (2007), GM (2010), Mitsubishi (2010), Nissan (2010), Toyota (2010), Honda (2010), U.S. DOE e U.S. EPA (2010), INL (2010), Fiat (2010) e Grieco (2008). Elaboração própria. Preços não incluem subsídios governamentais diretos.

Notas: ¹ Exclusivamente a bateria; ² utilizando também o motor a combustão; ³ 0-100 km/h; ⁴ média entre o consumo urbano (6,4 km/l) e o na estrada (9,4 km/l); ⁵ R\$/US\$ 1,8076 (30.6.2010).

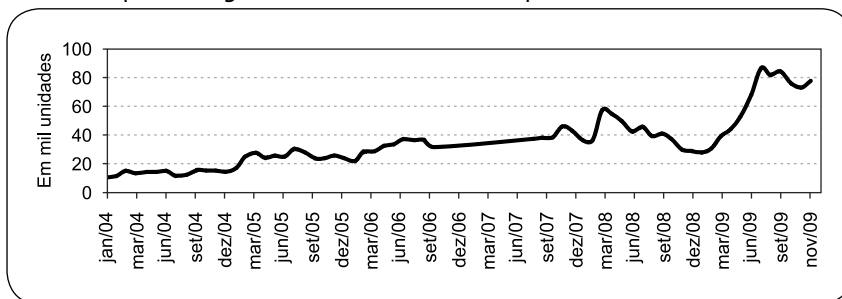
n.d. = não disponível; n.a. = não aplicável

Toyota, que concentra cerca de 70% do volume, e em seu modelo Prius, que responde por mais de metade das vendas globais. O modelo liderou as vendas no Japão em 2009, com cerca de 209 mil unidades, quantidade semelhante às vendas do modelo Fiat Palio Flex no Brasil.

Do total de automóveis produzidos no mundo, a participação dos veículos híbridos subiu de 0,59%, em 2006, para 1,23%, em 2009. As vendas têm se concentrado fortemente nos Estados Unidos e no Japão, com cerca de 84% do volume total, enquanto países como Canadá, Alemanha, França, Holanda e Reino Unido respondem pela quase totalidade restante.

O Gráfico 2 mostra a evolução das vendas globais de veículos híbridos, por mês, enquanto a Tabela 7 ilustra as vendas globais anuais.

Gráfico 2 | Vendas globais de veículos híbridos, por mês



Fonte: Elaboração própria, com base em MarkLines (2010).

Tabela 7 | Evolução das vendas globais de veículos automotores (em mil unidades)

Ano	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Híbridos	165,9	292,3	377,9	509,4	502,1	744,9
Total	n.d.	n.d.	63.528,1	66.222,7	64.116,3	60.519,3
%	n.d.	n.d.	0,59	0,77	0,78	1,23

Fonte: Elaboração própria, com base em MarkLines (2010), Cooke (2009) e ACEA (2010).

De fato, as vendas anuais saltaram de 166 mil, em 2004, para 745 mil, em 2009. Embora ainda constituam números pouco representativos, um indicativo de que a tendência é de aumento da participação dos híbridos é o fato de que a grande maioria das montadoras tem modelos já lançados ou com lançamento previsto (Tabela 8).

Tabela 8 | Relação de alguns modelos de veículos híbridos lançados ou com lançamento previsto

Em comercialização	Com lançamento previsto			Sem data prevista para lançamento
	2010	2011	Após 2011	
BMW • ActiveHybrid X6	Ford • Lincoln MKZ	BMW • BMW 5-Series ActiveHybrid	Fiat • Ferrari Hybrid	Hyundai • Hyundai Accent
BYD • BYD (F3DM, F6DM)	GM • GM Volt	Honda • Honda CR-Z	Ford • Ford Plug-in Hybrid	VW • VW New Compact Coupé
Ford • Ford (Fusion, Escape) • Mercury (Mariner, Milan)	Mercedes-Benz • Mercedes E Class	Hyundai • Hyundai Sonata	Volvo • Volvo Plug-in Hybrid	
GM • Cadillac Escalade • Chevy (Tahoe, Silverado) • GMC (Yukon, Sierra) • Saturn (Aura, VUE)	VW • Porsche Cayenne S	Infiniti • Infiniti M35		
Honda • Honda (Insight, Civic)		PSA • Peugeot Diesel Hybrid		
Mercedes-Benz • Mercedes (S400, ML450)		Toyota • Lexus CT 200h Hatchback		
Nissan • Nissan Altima		VW • Audi (A8, Q5 Crossover)		
Toyota • Toyota (Prius, Camry, Highlander) • Lexus (LS, GS, HS, RX)		• Suzuki Kizashi		

Fonte: Elaboração própria, com base em EDTA (2010) e *sites* das montadoras.

No caso dos modelos puramente elétricos, ainda há poucas montadoras com veículos lançados, a maior parte pequenas, havendo muitas empresas com veículos ainda em fase de desenvolvimento (Tabela 9).

Tabela 9 | Relação de alguns modelos de veículos puramente elétricos lançados ou com lançamento previsto

Em comercialização	Com lançamento previsto			Sem data prevista para lançamento
	2010	2011	Após 2011	
BYD • BYD e6	Ford • Ford Battery Electric Van	Ford • Ford Battery Electric Small Car	Fiat • Fiat 500 minicar	BMW • Mini E
Elbil Norge • Buddy	Nissan • Nissan LEAF	GM • Opel Ampera	Ford • Ford Focus	Ford • Volvo C30
Mitsubishi • Mitsubishi iMiEV	PSA • Citroën C-Zero	PSA • Peugeot Urban EV	Renault • Renault (City Car, Urban EV)	Tata Motors • Tata Indica Vista EV
Tesla • Tesla Roadster	Coda • Coda Automotive Sedan	Renault • Renault (Kangoo Z.E., Fluence Z.E.)	Tesla • Tesla EV	
Think • Think City		Tesla • Tesla Model S	VW • Audi E-tron • VW E-Up	

Fonte: Elaboração própria, com base em EDTA (2010) e *sites* das montadoras.

Percebe-se um movimento relevante de lançamentos de modelos híbridos pelas maiores montadoras de automóveis no mundo. No caso dos puramente elétricos, o movimento é mais lento, havendo várias montadoras ainda em fase de desenvolvimento de seus modelos.

Considerando-se os modelos levantados na pesquisa, estima-se que leve pelo menos três anos para que o número de modelos de automóveis puramente elétricos lançados atinja o número atual de modelos híbridos. Um dos motivos para essa diferença no lançamento dos modelos híbridos e puramente elétricos é justamente a necessidade de superar desafios como o da bateria, que ainda apresenta baixa autonomia, o que inviabiliza a grande disseminação dos puramente elétricos.

Como já mencionado anteriormente, é importante notar que a demanda por veículos elétricos ainda parece ser bastante dependente da existência de incentivos governamentais. O elevado custo dos modelos, em comparação com seus similares convencionais, aliado a problemas tecnológicos ainda presentes nos modelos lançados, tais como baixa autonomia e elevado tempo de recarga, e de infraestrutura, que ainda é bastante restrita, tem levado o poder público dos países a adotar diversas medidas para assegurar a entrada dos veículos elétricos como alternativa comercialmente viável. Em todos os países em que as vendas de veículos elétricos são relevantes, encontram-se iniciativas governamentais que financiam sua comercialização.

Nas próximas décadas, a imposição de limites de emissões veiculares mais severos, expostos no Gráfico 1, tende a acelerar a penetração dos veículos híbridos e elétricos. A evolução dos motores a combustão e a maior utilização de biocombustíveis não deverão ser suficientes para atender aos requisitos a partir de determinados limites, o que provavelmente induzirá a eletrificação veicular. O desenvolvimento tecnológico e a constituição de uma rede de infraestrutura podem acelerar a taxa de penetração dos veículos híbridos e elétricos, ao remover os entraves existentes à difusão dos veículos elétricos. Dado o estágio incipiente, as projeções são muito variáveis. Em comum, pelo menos para as próximas décadas, é esperada uma coexistência entre os veículos híbridos/elétricos e os tradicionais veículos propulsionados por motores a combustão interna. O Quadro 1 apresenta duas projeções realizadas recentemente.

Quadro 1 | Projeções sobre a participação nas vendas globais e na frota de veículos híbridos e elétricos (em %)

Projeção IEA (vendas)					
	2007	2020		2030	
		Cenário de referência*	Cenário 450*	Cenário de referência*	Cenário 450*
Veículos a combustão	99	93	52	93	42
Híbridos	1	7	32	7	29
Híbridos <i>plug-in</i>	0	0	12	0	21
Veículos elétricos	0	0	4	0	7

Fonte: IEA (2009).

Projeção Deutsche Bank				
Híbridos/elétricos como % das vendas totais	2010	2015	2020	2030
EUA	4,2	10,2	26,7	75,8
China	0,4	7,7	25,8	78,3
Global	1,7	6,2	19,9	66,0
Híbridos/elétricos como % da frota	2010	2015	2020	2030
EUA	0,9	3,0	8,8	39,8
China	0,1	3,5	15,4	63,1
Global	0,3	1,8	6,6	35,6

Fonte: Deutsche Bank (2009).

Nota: * Na projeção da IEA, o cenário de referência baseia-se no ambiente existente na época de elaboração das projeções, enquanto o cenário 450 considera ações dos governos para limitar a concentração de gases causadores do efeito estufa a 450 partes por milhão dos equivalentes do dióxido de carbono.

Observa-se que, mesmo considerando o cenário mais conservador, estima-se um crescimento nas vendas globais de veículos elétricos de mais de cinco vezes nos próximos 10 anos, podendo atingir mais de metade das vendas até 2030.

Desafios e oportunidades

As transformações decorrentes da produção e das vendas de veículos elétricos representam desafios e oportunidades. Além das mudanças na cadeia fornecedora, caracterizadas pela incorporação de novos componentes, será necessário constituir uma infraestrutura voltada aos veículos. Há também espaço para a introdução de novos serviços.

Infraestrutura

A alimentação energética será realizada de forma completamente diversa da atual. Mesmo nos híbridos, que contam com a opção do abastecimento tradicional, há a opção de recarga por meio da rede de energia elétrica, que deverá se tornar predominante ao longo do tempo. Uma tendência dos novos modelos, a presença do *plug* será responsável pela interface com a rede elétrica.

Essa mudança afetará toda a rede, abrangendo da instalação de tomadas de força nas garagens das residências à instalação de pontos de recarga rápida ao longo das principais vias. Além de mudanças na rede básica, a eletrificação veicular cria oportunidades para novos modelos de negócios.

Antes de discutir os impactos sobre a rede elétrica, o ponto básico envolve a geração de energia elétrica, mais especificamente a capacidade de prover a energia adicional demandada pelos veículos elétricos. Salvo algum evento extraordinário, a introdução dos veículos elétricos será gradual, sendo a demanda inicial acomodada pelas margens de segurança existentes em grande parte dos sistemas elétricos. No entanto, no longo prazo, a migração do padrão de uma grande parcela da frota veicular demandará a construção de novas usinas de geração de energia elétrica. Como afirmam Yang e McCarthy (2009, p. 17), “if each of the 240 million registered vehicles in the United States charged 5-10 kWh per day, this would require an additional 12–23% electricity generation.” Essa necessidade pode ser reduzida consideravelmente de acordo com a distribuição do carregamento ao longo do dia.

Em termos de transmissão e distribuição, uma mudança importante ocorrerá em nível local. Os efeitos sobre a rede serão condicionados pelo tipo de carregador e pela forma como esse carregamento será realizado. Entretanto, independentemente desses fatores, a eletrificação veicular deverá aumentar consideravelmente o consumo de energia de uma residência.

The addition of a PHEV¹⁷ with 5-10 kWh of useable battery capacity that is charged once per day could add an additional 21-43% (2.200-4.600 kWh) per year to the household electricity load, comparable to average central air conditioning and refrigeration loads [Yang e McCarthy (2009, p. 19)].

¹⁷ *Plug-in hybrid electric vehicle*, ou veículo elétrico híbrido *plug-in*.

Em decorrência dessa maior demanda, os transformadores das ruas seriam sobrecarregados, o que ilustra a necessidade de mudança da infraestrutura em todos os níveis.

O dispositivo de alimentação dos veículos elétricos (EVSE)¹⁸ é segmentado conforme a potência instalada, o que determina o tempo necessário para o carregamento da bateria. Na literatura, a terminologia adotada segmenta os dispositivos nos níveis I, II e III. A Tabela 10 consolida os principais aspectos relacionados aos dispositivos.

Tabela 10 | Principais atributos dos EVSE

Atributo	Nível I	Nível II	Nível III
Tensão elétrica (V)	120	240	480
Corrente elétrica (Amps)	12-20	40	>100
Potência (kW)	1,44	3,3 a 6,6	50
Tempo de recarga de uma bateria de 24 kWh	16 horas	4 a 8 horas	30 minutos
Custo total ¹⁹ (US\$)	833 a 878	1,5 a 2,1 mil	25 a 50 mil

Fontes: U.S. DOE (2008), Electrification Coalition (2009) e Nissan (2010).

Por conta da menor energia requerida, o dispositivo do nível I vem sendo empregado nos primeiros híbridos, sendo fundamental para a difusão dos veículos eletrificados. No entanto, nos modelos mais sofisticados, nos quais a propulsão ficará restrita ao motor elétrico e as baterias serão maiores, a solução oferecida pelos dispositivos do nível I não é satisfatória, em função do elevado tempo exigido para a recarga. Nesse sentido, os dispositivos de nível II despontam como principal aposta dos analistas para os próximos anos. Entretanto, uma redução significativa no tempo de recarga, que o tornaria próximo ao tempo gasto atualmente nos postos de combustíveis, exigiria pontos do nível III.

Além dos custos diretos envolvidos na aquisição, há dispêndio de recursos em intervenções necessárias para adequar o ambiente aos dispositivos. No nível I, por exemplo, é sugerida a criação de um circuito dedicado, a fim de evitar uma sobrecarga no circuito existente.

¹⁸ Em inglês: *electric vehicle supply equipment*.

¹⁹ O custo total considera os gastos adicionais exigidos. Os valores referentes aos níveis I e II foram extraídos de DOE (2008), enquanto o valor relativo ao nível III foi obtido em Electrification Coalition (2009).

No nível II, em que também é necessária a instalação de um painel elétrico, esses custos superam o montante de US\$ 2 mil. No nível III, as estimativas existentes são muito divergentes. No entanto, há relativo consenso acerca do elevado montante, que restringiria seu uso a aplicações comerciais, como eletropostos.

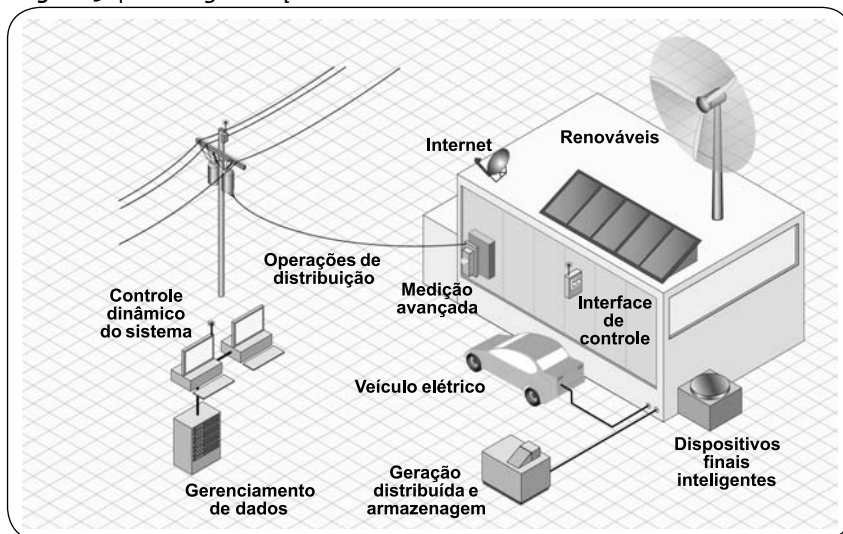
Os veículos elétricos precisam de estruturas novas, que possibilitem a recarga em vias públicas. Esses pontos viabilizariam a realização de viagens e a aquisição dos veículos por indivíduos que não têm garagem privativa. Adicionalmente, a existência de pontos de recarga públicos confere maior liberdade aos usuários, que não precisam ficar restritos aos carregadores domésticos. Assim, seria facilitada a criação de mecanismos que incentivem a distribuição da carga ao longo do dia, evitando, assim, uma sobrecarga nos horários de pico.

Diversos mecanismos podem ser formatados para induzir os proprietários de veículos elétricos a distribuir a carga, sendo a tarifa hora-sazonal a de mais fácil implementação. Tarifas mais baixas nas madrugadas levariam vários consumidores a carregar seus veículos nesse período.

O *smart grid*, ao possibilitar a otimização do uso da rede elétrica, desponta como tecnologia promissora nesse contexto. Mais do que simplesmente otimizar os fluxos, o *smart grid* modifica o relacionamento entre o usuário e a rede elétrica, ampliando a interatividade. A grande energia acumulada nas baterias abre novas possibilidades. O veículo pode atuar como um *no-break*, alimentar a residência ou devolver energia à rede, arbitrando o fluxo de acordo com o diferencial de tarifas de energia. O uso de baterias pode viabilizar a geração de energia elétrica em escala reduzida, com base em fontes não firmes, como fotovoltaica, por conta do armazenamento, e reduz as perdas de transmissão. A introdução do *smart grid* amplia o apelo dos veículos elétricos. No entanto, os elevados investimentos necessários o relegam a um futuro distante. A Figura 9 apresenta o *smart grid* esquematicamente.

Cadeia produtiva

As transformações derivadas da eletrificação veicular afetam todo o setor automotivo e atingem da cadeia produtiva aos provedores de serviços dedicados, o que representará uma profunda reestruturação setorial. As modificações na base tecnológica demandarão esforços das empresas

Figura 9 | *Smart grid* esquematizado

Fonte: Duvall e Mossé (2007).

existentes na constituição de capacitação. Em alguns casos, essa capacitação é detida por empresas de outros segmentos. A indústria de baterias, por exemplo, é fortemente relacionada ao setor de serviços de informação, constituído por tecnologia, mídia e telecomunicações.

Na indústria, as mudanças estão relacionadas aos novos componentes. Apesar de sua permanência nas configurações híbridas, o motor a combustão tende a ser relegado à função auxiliar, como um gerador de energia para carregar a bateria. Assim, o sistema denominado *powertrain*, composto pelo motor a combustão e pela transmissão, será substituído por um novo sistema, composto por motor elétrico, inversor e bateria. A energia acumulada na bateria, utilizada nos veículos tradicionais para partida do automóvel e para os itens de eletrônica embarcada (injeção eletrônica, ABS, *airbag*, trio elétrico, ar condicionado, alarme etc.), terá de alimentar o motor de tração, exercendo função realizada pelo tanque de combustível nos modelos convencionais.

No atual estágio tecnológico, a bateria representa o principal desafio. Conforme discutido em seção anterior, o padrão íon-lítio, grande aposta da indústria para os próximos anos, ainda apresenta diversos contratempos relacionados a peso, custo e segurança. Por ser um componente crítico –

determinante para a autonomia e o custo do automóvel –, as montadoras vêm investindo fortemente no produto, inclusive por meio de parcerias estratégicas com empresas do setor. As baterias do Toyota Prius são da Panasonic, enquanto as baterias do GM Volt são da CPI, uma subsidiária da LG Chem.

No rearranjo da cadeia, vão surgir oportunidades para novos entrantes, apesar dos esforços empreendidos pelas empresas do setor em desenvolver capacitação. O sucesso das empresas BYD e Tesla ilustram essa possibilidade. Ambas se relacionam a empresas tradicionais do setor automotivo, como Toyota e Daimler. Além das mudanças enfrentadas na cadeia produtiva, o setor de serviços auxiliares também sofrerá modificações consideráveis.

Serviços

No setor de serviços, o campo mais promissor está relacionado à alimentação energética do veículo, atualmente realizada por meio de postos fornecedores de combustíveis fósseis. À medida que a principal fonte de alimentação for a energia elétrica, modelos alternativos de alimentação energética serão gestados.

A transformação parcial dos atuais postos em eletropostos é uma das alternativas, na qual as bombas de combustíveis coexistiriam com os EVSE de nível III. Nesse caso, os custos tendem a ser menores, já que parte da estrutura existente seria aproveitada. Entretanto, no estágio atual de desenvolvimento da tecnologia, o tempo de recarga ainda é elevado. Assim, há forte aposta em serviços de troca de baterias. Nele, o cliente trocava sua bateria por uma nova, carregada. A empresa Better Place é o principal expoente desse novo modelo de negócios.

A empresa aposta em parcerias com grandes empresas e o poder público. Após firmar parcerias em sete países diferentes, a Better Place espera lançar suas operações em escala comercial em 2011. O grande destaque dos projetos é a estação de troca de baterias. A bateria seria trocada em menos de três minutos por um processo automatizado. A primeira estação foi lançada em Tóquio, no Japão. Orçadas em cerca de US\$ 500 mil, as estações resolveriam o problema decorrente do longo período de recarga. Considerando seu elevado custo, as baterias seriam arrendadas em esquemas de *leasing* aos proprietários dos veículos. A propriedade

seria das empresas donas das estações. O modelo interessa bastante aos distribuidores de energia elétrica, que, além de diversificar seus negócios, empregariam as baterias para outras aplicações – como *no-breaks*, por exemplo –, quando elas perdessem *performance*. Ao reduzir o custo dos veículos, esse modelo impulsionaria a venda de veículos elétricos.

Apoio governamental – Brasil

No estágio atual de desenvolvimento de tecnologia, as ações do setor público são fundamentais para determinar a velocidade de penetração dos veículos elétricos nos próximos anos. Além de estipular padrões para emissões veiculares, o setor público dispõe de fundos para o financiamento de pesquisas, de instituições financeiras e de instrumentos de política econômica (determinação das alíquotas dos tributos, por exemplo), o que lhe permite construir políticas setoriais abrangentes e efetivas.

Um grupo interministerial formado por representantes dos Ministérios da Fazenda, do Desenvolvimento, da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, além de representantes da indústria, tem discutido as bases de um plano de incentivo ao veículo elétrico.²⁰ No entanto, atualmente, o apoio governamental praticamente se restringe ao incentivo à pesquisa.

Em março de 2010, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) anunciou a formação de uma rede temática de pesquisa de tópicos relacionados ao veículo elétrico no âmbito do Sistema Brasileiro de Tecnologia (Sibratec). Segundo o MCT (2010):

O Sibratec é um instrumento que promove a articulação e aproximação da comunidade científica e tecnológica com as empresas nacionais. Por sua vez, as redes temáticas de centros de inovação (um dos três eixos que compõem o Sibratec) têm como objetivo gerar e transformar conhecimentos científicos e tecnológicos em produtos, processos e protótipos com viabilidade comercial.

Os investimentos nessa rede estão orçados em R\$ 10 milhões, com o objetivo de desenvolver e aperfeiçoar matérias-primas e materiais aplicáveis à cadeia produtiva dos veículos elétricos, modernizar o abastecimento do veículo com energia externa, desenvolver sistemas embarcados de conversão de energia, melhorar os motores elétricos e seus componentes,

²⁰ Sobre algumas possibilidades de atuação do governo brasileiro, vide Barbosa *et al.* (2010).

além dos sistemas mecânicos como chassis, suspensão, engrenagens e sistema de freios.

Algumas linhas de pesquisa também são financiadas com recursos públicos, sendo principalmente direcionadas a veículos de célula a combustível. O MCT instituiu em 2002 o Programa Brasileiro de Sistemas de Célula a Combustível (PROCaC) com o objetivo de promover ações integradas e cooperadas, que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de sistemas de célula a combustível [MCT (2002)].

No âmbito desse programa, destacam-se dois projetos ligados ao desenvolvimento de veículos. O primeiro trata de um projeto de ônibus de célula a combustível hidrogênio para transporte urbano no Brasil desenvolvido por um consórcio formado pela Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A. (EMTU/SP), o Ministério de Minas e Energia (MME), o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud), a financiadora Global Environment Facility (GEF), EPRI International, Finep e as empresas Eletropaulo, Ballard Power Systems, Marcopolo, Hydrogenics Corporation, Nucellsys, BR Distribuidora e TuttoTrasporti [Zundt (2008) e Oliveira (2009)]. O total investido estava orçado em R\$ 38 milhões, sendo R\$ 22 milhões oriundos do Pnud, R\$ 8 milhões da MME/Finep, R\$ 3 milhões da EMTU/SP e o restante do setor privado.

O outro projeto trata do desenvolvimento de ônibus elétrico híbrido a hidrogênio pela COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, em parceria com a Petrobras, a Caio-Induscar, a Eletra e o Lactec. O projeto, protagonizado pelo Laboratório de Hidrogênio, contou com financiamento de R\$ 3 milhões da Finep [COPPE (2004; 2010)].

Estima-se que os investimentos nos últimos anos na área de hidrogênio e células a combustível, incluindo aplicações não veiculares, somaram R\$ 112 milhões, sendo a maior parte em recursos de instituições ligadas ao governo federal (Finep, CNPq, Aneel e Petrobras) e ao governo do Estado de São Paulo (Fapesp e EMTU/SP). O restante foi oriundo de organismos internacionais e empresas privadas [Rezende (2009)].

Na parte de baterias, segundo o MCT, há uma rede de pesquisa e desenvolvimento em baterias de alta capacidade em formação no Brasil. Foi anunciada também a concessão de um financiamento da Finep de R\$ 30 milhões para a Itaipu Binacional, com o objetivo de desenvolver um similar nacional das baterias Zebra para o carro elétrico [Frias (2010)].

Em agosto de 2010, a Finep lançou uma seleção pública de projetos empresariais para financiamento de produtos, processos e serviços inovadores por meio de subvenção econômica. Um dos temas era destinado ao “desenvolvimento de sistemas de tração elétrica, baterias e capacitores aplicados a veículos elétricos automotores, inclusive em versão híbrida”. Os valores solicitados pelas empresas para projetos de até três anos poderiam variar entre R\$ 500 mil e R\$ 10 milhões, dentro do orçamento total de R\$ 90 milhões, que incluía outros temas.

Além do incentivo à pesquisa, a montagem de veículos elétricos de três ou quatro rodas para circulação em ambientes restritos tem Processo Produtivo Básico (PPB) aprovado para industrialização na Zona Franca de Manaus desde maio de 2009, o que permite às empresas que o sigam fazer uso dos benefícios fiscais da região, contribuindo para a criação de capacitação fabril no país.²¹

Além disso, alguns governos estaduais dão isenção (por exemplo, CE, MA, PE, PI, RN, RS e SE) ou redução (por exemplo, MS, RJ e SP) do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) (por exemplo, RJ) a veículos elétricos.

Principal provedor de crédito de longo prazo e agente relevante no mercado de capitais brasileiro, o BNDES deverá desempenhar papel de destaque na introdução dos veículos elétricos no Brasil.

Um paralelo pode ser traçado com a atuação do Banco no apoio aos combustíveis alternativos. No campo industrial, o Banco financiou do desenvolvimento do sistema *flex fuel* à implantação de linhas de montagem dos modelos que incorporaram essa tecnologia.

A divulgação do veículo elétrico como uma solução tecnológica possível constitui um dos principais focos de ação do BNDES nesse estágio inicial. Um exemplo foi o apoio institucional ao VE 2009, o maior evento de veículos elétricos do país, realizado em Campinas (SP). No primeiro semestre de 2010, o Banco organizou uma oficina de trabalho, que procurou ampliar a integração dos agentes relevantes. Ainda na esfera não financeira, o BNDES está presente nos principais debates, participando de grupos de trabalho no setor público e de reuniões com organizações

²¹ Portaria Interministerial MDIC/MCT 94, de 30.4.2009.

que congregam as empresas do setor automotivo. Em decorrência dessas ações, procura-se identificar oportunidades para o desenvolvimento da indústria nacional.

Em termos mais tradicionais, para apoiar a introdução dos veículos elétricos no país, o Banco dispõe de diversos instrumentos para pronta aplicação. As linhas abrangem desde a etapa de desenvolvimento tecnológico até a implantação de linha produtiva, considerando pequenas, médias e grandes empresas, além de instrumentos voltados ao apoio à implantação de infraestrutura e de serviços. Como exemplo, a aquisição de ônibus elétricos para sistemas integrados de transporte urbano, via BNDES Finame, tem condições diferenciadas de prazo.

Além dos pesados investimentos em desenvolvimento tecnológico e implantação de unidades produtivas, são esperadas operações de consolidação de empresas e entrada de novos *players*, que eventualmente podem contar com a participação do Banco, por intermédio da BNDESPAR, subsidiária do BNDES responsável pelas operações da instituição no mercado de capitais.

Considerações finais

Nos últimos anos, o Brasil alcançou uma posição de destaque na indústria automotiva, sendo o sexto maior produtor mundial em 2009. A perspectiva de manutenção do crescimento deverá alçar o mercado brasileiro ao quarto posto em breve. Nesse contexto de mudança, com a entrada dos veículos elétricos no mercado, a indústria local precisa acompanhar o movimento iniciado em nível global, a fim de manter sua relevância.

Os anúncios recentes indicam apostas de governos e das empresas nos veículos elétricos, que devem ampliar sua participação nos mercados ao longo dos próximos anos. O sucesso do veículo elétrico exige a superação de obstáculos, como logística, infraestrutura e custo.

Como demonstrado neste artigo, as questões energética e ambiental, aliadas ao desenvolvimento tecnológico de componentes e à ação direta dos governos, têm promovido uma inserção cada vez maior dos veículos elétricos nas vendas. Ainda que atualmente ocupem um percentual reduzido das vendas, é clara a aposta dos governos como parte de sua estratégia quanto às questões energética e ambiental.

A análise realizada permitiu identificar que, mesmo que não represente a superação do padrão atual, baseado em veículos propulsionados por motores a combustão, a indústria automotiva deverá sofrer um profundo rearranjo. A eletrificação veicular modifica a base técnica de parte dos componentes, incorporando empresas de outros setores à indústria automotiva. A abertura desse espaço a novos entrantes representa uma oportunidade de entrada em uma indústria tradicional. Os exemplos citados neste artigo, sobre as experiências brasileiras de desenvolvimento de veículos elétricos, dão uma amostra disso. Empresas geradoras de energia elétrica têm se interessado pelo tema, assim como empresas fornecedoras de equipamentos eletroeletrônicos. Há ainda várias questões técnicas a definir nos veículos elétricos, o que cria oportunidades também para o Brasil.

Uma grande difusão dos veículos elétricos híbridos pode constituir ainda uma oportunidade para o bioetanol brasileiro. Na medida em que é esperada uma redução na demanda por combustíveis fósseis, consequente do menor consumo dos veículos híbridos, a adoção do bioetanol em escala global se tornaria mais atrativa.

Assim, as políticas públicas serão cruciais para determinar a inserção da indústria local na nova realidade imposta pelo tema. Ao elaborar políticas, o governo deve procurar explorar a capacitação da engenharia nacional para aproveitar as oportunidades existentes. A eficácia das ações depende de um projeto articulado, com horizonte temporal extenso.

Referências

ABVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. *O que é frenagem regenerativa?* Disponível em: <<http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0009>>. Acesso em: 22.6.2010.

———. *Mercado de baterias para veículos elétricos será maior que o de automotivas até 2015*. ABVE, 27.4.2007. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/destaques/destaque62.shtml>>. Acesso em: 16.6.2010.

ACEA – EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS ASSOCIATION. *Overview of tax incentives for electric vehicles in the EU*. Bruxelas: ACEA, abr. 2010. Disponível em: <http://www.acea.be/images/uploads/files/20100420_EV_tax_overview.pdf>. Acesso em: 21.6.2010.

———. *The automobile industry pocket guide*. Bruxelas: ACEA, mai. 2010. Disponível em: <http://www.acea.be/images/uploads/files/20100520_Pocket_Guide_updated.pdf>. Acesso em: 25.6.2010.

AKASAKA, M. Survey: Japan accounts for 70% of EV/HEV/FCV patent applications. *Tech-On!*, 20.4.2009. Disponível em: <http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20090420/169001/>. Acesso em: 22.6.2010.

BARBOSA, N. *et al.* Carro elétrico: desafio e oportunidade para o Brasil. In: VELLOSO, J. P. R. (coord.). *Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil. Cadernos Fórum Nacional*, v. 10. Rio de Janeiro: INAE, 2010, p. 58-78.

BNDES, CGEE (org.). *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

CALSTART. *Energy storage compendium: batteries for electric and hybrid heavy duty vehicles*. Pasadena, CA: Calstart, mar. 2010.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. *Bateria chumbo-ácido: o mercado para reciclagem*. Fichas Técnicas. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_bateria_chumbo_acido.php>. Acesso em: 16.6.2010.

CENEX – CENTRE OF EXCELLENCE FOR LOW CARBON AND FUEL CELL TECHNOLOGIES. *Infrastructure grant program*. Disponível em: <<http://www.cenex.co.uk/programmes/igp/faqs>>. Acesso em: 30.6.2010.

COOKE, P. N. *The United Kingdom automotive industries: status, economic recovery and expectations – a report for SMMT*. Buckingham: The University of Buckingham, mai. 2009.

COPPE. COPPE desenvolve primeiro ônibus brasileiro movido a hidrogênio. *Planeta COPPE – Notícias*, 15.12.2004. Disponível em: <<http://www.planeta.coppe.ufrj.br/artigo.php?artigo=554>>. Acesso em: 24.6.2010.

———. *Linhas de pesquisa do Laboratório de Hidrogênio* (site). Disponível em: <<http://www.labh2.coppe.ufrj.br/pesquisa.php>>. Acesso em: 24.6.2010.

COUTINHO, L. G. *et al.* Veículo elétrico, políticas públicas e o BNDES: oportunidades e desafios. In: VELLOSO, J. P. R. (coord.) *Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil. Cadernos Fórum Nacional*, v. 10. Rio de Janeiro: INAE, 2010, p. 30-49.

DAIMLER. BYD Company Limited and Daimler AG sign joint venture contract to develop electric vehicles in China. *Company News*, 27.5.2010. Disponível em: <<http://www.daimler.com/dccom/0-5-7153-1-1298502-1-0-0-0-0-16694-0-0-0-0-0-0.html>>. Acesso em: 22.6.2010.

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

DUVALL, Mark; MOSSÉ, Archer. *Electric transportation – An utility perspective*. Apresentação realizada no seminário VE 2007, Rio de Janeiro, out. 2007.

EDMUNDS.COM (*site*). Disponível em: <http://www.edmunds.com>. Acesso em: 6.7.2010.

EDTA – ELECTRIC DRIVE TRANSPORTATION ASSOCIATION. *Vehicle announcements*, update 24 de março de 2010. Disponível em: <<http://www.electricdrive.org/index.php?ht=d/sp/i/11551/pid/11551>>. Acesso em: 17.6.2010.

EERE – ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. *Clean cities 2010: vehicle buyer's guide*. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, 2010. Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/afdc/pdfs/46432.pdf>>. Acesso em: 16.6.2010.

ELECTRIFICATION COALITION. *Electrification roadmap: revolutionizing transportation and achieving energy security*. Electrification Coalition, nov. 2009.

EMC – ELECTRIC MOBILITY CANADA. *Hybrid and electric vehicle incentives: a Canadian overview*. EMC, 22.12.2009. Disponível em: <<http://www.emc-mec.ca/files/EMC-HybridElectricVehicleIncentivesCDNoverview.pdf>>. Acesso em: 30.6.2010.

FIAT. *Palio Weekend: tudo sobre Palio Weekend* (*site*). Disponível em: <http://www.fiat.com.br/monte-seu-carro/conheca/284/PALIO+WEEKEND>. Acesso em: 30.6.2010.

FINEP/MCT. *Seleção pública MCT/Finep/FNDCT – Subvenção econômica à inovação – 1/2010* (edital). Rio de Janeiro: Finep/MCT, 6.8.2010.

FORD. *Ford and Magna form electrifying alliance*. Detroit: Ford, 11 de janeiro de 2009. Disponível em: <http://media.ford.com/article_display.cfm?article_id=29673>. Acesso em: 22.6.2010.

FRIAS, M. C. Itaipu irá desenvolver bateria para carro elétrico. *Folha de S. Paulo*, Economia, coluna Mercado Aberto, 11.6.2010.

GALBRAITH, Kate. Better Place unveils battery swap station. *NYT Online*, mai. 2009. Disponível em: <<http://green.blogs.nytimes.com/2009/05/13/better-place-unveils-battery-swap-station/>>. Acesso em: 21.6.2010.

GRIECCO, A. Fiat Palio Weekend X Peugeot 207 SW XR 1.4 Flex. *Quatro Rodas*, nov. 2008. Disponível em: <<http://quatrorodas.abril.com.br/carros/comparativos/fiat-palio-weekend-x-peugeot-207-sw-xr-1-4-flex-410019.shtml>>. Acesso em: 30.6.2010.

HAGIWARA, Y. Mitsubishi Motors, Peugeot finalize electric car pact. *Bloomberg Businessweek*, 8.3.2010. Disponível em: <<http://www.businessweek.com/news/2010/03/08/mitsubishi-motors-peugeot-finalize-electric-car-pact.html>>. Acesso em: 22.6.2010.

HONDA. *Honda Worldwide*. Insight – Technical specification (site). Disponível em: <<http://world.honda.com/INSIGHT/spec/index.html>>. Acesso em: 23.6.2010.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook*. Paris: IEA, 2009.

IMPINNISI, P. R. *Baterias para VE*. Oficina de trabalho sobre veículos elétricos, BNDES, Rio de Janeiro, 12.5.2010.

INL – IDAHO NATIONAL LABORATORY. *Advanced vehicle testing activity – Hybrid Electric Vehicles (site)*. Disponível em: <<http://avt.inel.gov/hev.shtml>>. Acesso em: 23.6.2010.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Outcomes from COP-8 and the 17th sessions of subsidiary bodies*. WMO, UNEP, jan. 2003.

KAHN RIBEIRO, S. *et al.* Transport and its infrastructure. In: METZ, B. *et al.* (orgs.) *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/Nova York: Cambridge University Press, 2007.

LACHE, R. *et al.* *Electric cars: plugged in*. Global Markets Research. Deutsche Bank, 9.6.2008.

LOVEDAY, E. Nissan to double EV battery capacity by 2015. *Nikkei Newspaper Japan*, 1.12.2009.

MARKLINES. *Automotive information platform*. Disponível em: <http://www.marklines.com/en/numproduct/index.jsp>. Acesso em: 21.6.2010.

MCT – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Mais duas áreas serão incorporadas ao Sibratec. *Notícias MCT*, 22.3.2010. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/317633.html>. Acesso em: 24.6.2010.

———. *Portaria MCT 731*, de 14 de novembro de 2002. Publicada no DOU de 20.11.2002, seção I, p. 6.

MOTAVALLI, J. Electric car agreement for Toyota and Tesla. *The New York Times*, 21.5.2010, p. B7.

NISSAN. Nissan leaf electric car (*site*). Disponível em: <http://www.nissanusa.com/leaf-electric-car/index.jsp>. Acesso em: 9.6.2010.

OLIVEIRA, M. Coletivo a hidrogênio. *Revista Fapesp*, n. 160, jun. 2009.

PRIMEARTH. Primearth EV Energy Co., Ltd. Company profile. Disponível em: <http://www.peve.jp/e/>. Acesso em: 22.6.2010.

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: 22.6.2010.

RAUWALD, C.; SHIROUZU, N. Volkswagen eyes China venture. *WSJ*, 27.5.2009, p. B4.

RENAULT-NISSAN, DAIMLER. Renault-Nissan Alliance and Daimler AG announce wide-ranging strategic cooperation. *Press release*, 7.4.2010. Disponível em: http://www.renault.com/SiteCollectionDocuments/Communiqu%C3%A9%20de%20presse/en_EN/Pieces%20jointes/22333_20100407_PR_AllianceDaimler_EN_8473468D.pdf. Acesso em: 22.6.2010.

REZENDE, S. Energias alternativas para propulsão veicular: pesquisa e desenvolvimento no Brasil. *XXI Fórum Nacional*, Estudos e Pesquisas n. 304. INAE, maio de 2009. Disponível em: <http://www.forumnacional.org.br/pub/ep/EP0304.pdf>. Acesso em: 22.6.2010.

RIATO, G. Agrale aposta em híbrido para o transporte coletivo. *Automotive News*, 25.6.2010. Disponível em: http://www.automotivebusiness.com.br/noticia_det.aspx?id_noticia=7194. Acesso em: 25.6.2010.

ROBERTI, B. Toyota faz acordo com Mazda para fornecer sistema híbrido. *Quatro Rodas*, 29.3.2010. Disponível em: <http://quatorrodas.abril.com.br/noticias/sustentabilidade-toyota-faz-acordo-mazda-fornecer-sistema-hibrido-bruno-roberti-226339_p.shtml>. Acesso em: 22.6.2010.

SAIC. *Battery-powered electric and hybrid electric vehicle projects to reduce greenhouse gas emissions: a resource guide for project development*, jul 2002. Disponível em: <<http://www.netl.doe.gov/products/ccps/pubs/resguide.pdf>>. Acesso em: 30.6.2010>.

SANDALOW, David B. Plug-in electric vehicles. *Electrification Coalition*, 2009, p. 123.

TESLA MOTORS. *U.S. Securities and Exchange Commission Form S-1 registration statement*, 29.1.2010. Disponível em: <<http://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1318605/000119312510017054/ds1.htm>>. Acesso em: 21.6.2010.

TOYOTA. *Toyota Corolla performance & specs (site)*. Disponível em: <<http://www.toyota.com/corolla/specs.html>>. Acesso em: 30.6.2010>.

UK DFT – DEPARTMENT OF TRANSPORT. *OLEV plug-in car grant (site)*. Disponível em: <<http://www.dft.gov.uk/pgr/sustainable/olev/grant/>>. Acesso em: 30.6.2010.

U.S. DOE – DEPARTMENT OF ENERGY. *History of electric vehicles: the early years (1890-1930) (site)*. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/light_duty/fsev/fsev_history.html>. Acesso em: 22.6.2010.

———. *The smart grid: an introduction*. Prepared by Litos Strategic Communication, 2008.

U.S. DOE; U.S. EPA. *Fuel economy (site)*. Disponível em: <<http://www.fueleconomy.gov>>. Acesso em: 23.6.2010.

XUE, X. D. *et al.* Selection of electric motor drives for electric vehicles. 2008 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'08). *Proceedings...*, AUPEC, 2008.

YANG, Christopher; MCCARTHY, Ryan. Electricity grid: impacts of plug-in electric vehicle charging. *Environmental Management*, 2009.

ZUNDT, C. *Primeiros resultados do ônibus a hidrogênio no Brasil: projeto ônibus brasileiro a hidrogênio – Projeto BRA99/G32*. IV Workshop Internacional sobre Hidrogênio e Células a Combustível – WICaC 2008. Campinas: CENEH, set. 2008.