

A EVOLUÇÃO DO CARRO ELÉTRICO

Agosto/2005

Clovis Goldemberg - PEA/EPUSP

Luiz Lebensztajn - PEA/EPUSP

Eduardo Lorenzetti Pellini - PEA/EPUSP

O carro elétrico - alimentado por baterias recarregáveis - parecia ter um grande futuro há cerca de um século atrás. Vinte e oito por cento dos 4192 carros produzidos nos EUA em 1900 eram elétricos. No salão do automóvel de Nova Iorque daquele ano o número de carros elétricos era maior do que os carros movidos a gasolina ou vapor. Alguns dos inventores mais prestigiosos, incluindo Thomas Edison, promoviam os carros elétricos ou tomavam parte do seu desenvolvimento. E as primeiras indústrias a produzir carros em série estavam manufaturando carros elétricos.

No início do século XX, carros elétricos, a vapor e a gasolina competiam mais ou menos em condições de igualdade. Muitos analistas da época acreditavam que cada tipo de carro iria encontrar o seu próprio “espaço de atuação” e que iriam co-existir indefinidamente. Entretanto, ao final dos anos 20 o carro elétrico era um produto comercialmente morto. O carro movido a gasolina havia conquistado todo o espaço com sua impressionante velocidade, desempenho e acabamento.

“Um tropeço espetacular”

Extraído de “The electric automobile in America” [9]

Aspectos históricos

O período 1895-1910: um veículo elegante

Na virada do ano 1900, os automóveis elétricos eram mais comuns do que os automóveis a gasolina na maior parte das cidades americanas e ninguém acreditaria que ocorreriam mudanças significativas. No ano de 1900 foram produzidos 1575 automóveis elétricos contra apenas 936 carros a gasolina. Um dos mais prestigiados fabricantes de carros elétricos daquela época dizia que “*a eletricidade preenche melhor os requisitos de um sistema de tração do que as máquinas a vapor ou mesmo os motores a explosão*”. A própria revista Scientific American de 1899 dizia que: “*a eletricidade é ideal para veículos pois ela elimina os dispositivos complicados associados aos motores movidos a gasolina, vapor e ar comprimido, evitando o ruído, vibração e calor associados*”. Muitas mulheres preferiam usar carros elétricos pois não era necessário usar a manivela de arranque nem tampouco manipular um sistema de marchas.

Um antecedente importante para o surgimento de automóveis elétricos havia sido o sucesso dos sistemas de bondes elétricos (substituindo as carroças ou bondes com



Fig. 1 Publicidade de carros elétricos no início do século.

cavalos) e dos primeiros sistemas metroviários. Outro antecedente foi o surgimento dos sistemas ferroviários elétricos, principalmente nos países europeus.

Entretanto, por volta de 1905 os automóveis a gasolina começaram a tomar a dianteira em termos de popularidade. A autonomia de 70 milhas (cerca de 100 km) é mais que o dobro da autonomia de um carro elétrico (30 milhas ou seja, aproximadamente 50 km). O investimento inicial assim como o custo operacional dos automóveis elétricos era maior que os movidos a gasolina. Os números disponíveis indicam que em 1900 os carros a gasolina custavam entre US\$1000 e US\$2000 enquanto que um carro elétrico custava de US\$1250 a US\$3500. O custo operacional de um carro a gasolina era de US\$0.01/milha passando para US\$0.02 a 0.03/milha para um carro elétrico. Em 1901 foram descobertos no Texas grandes campos de petróleo fazendo cair os custos do mesmo.

Entre 1906 e 1910 tornou-se evidente que o carro elétrico tinha um desempenho inferior. Qual era a motivação para o gasto de tempo e dinheiro para desenvolver uma tecnologia inferior? Motivações ambientalistas? De quais ambientalistas? Limpar as cidades da poluição? Qual poluição? Reduzir a dependência do petróleo e o déficit da balança comercial? Qual déficit? Qual dependência? Ninguém iria se preocupar com problemas que ainda não existiam ainda na época.

O período 1910-1925: um veículo de entregas urbanas

Por volta de 1909 o número de carros elétricos produzidos caiu a cerca de 4.4% do número de carros a explosão. Em 1913 a Ford começou a produzir carros a gasolina em série na primeira linha de montagem industrial, na planta de Highland Park. Em 1912 o surgimento do motor de arranque elétrico para carros a explosão tornou estes carros ainda mais atraentes.

Os produtores de gasolina não conseguiam acompanhar o crescimento da demanda e consequentemente os preços do petróleo começaram a aumentar. Um barril de petróleo que custava cerca de US\$0.65 na virada do século passou para US\$2.35 no ano de 1913.

Por volta de 1912 ressurgiu o entusiasmo pelo carro elétrico acompanhando o aparecimento de alguns desenvolvimentos técnicos. Thomas Edison havia aperfeiçoado as baterias de níquel-ferro, que tiveram um aumento de 35% na capacidade de armazenamento entre 1910 e 1925. A vida útil destas baterias também aumentou ao mesmo tempo em que os custos de manutenção diminuíram. Entretanto este ressurgimento foi mais marcante na área de pequenos caminhões de entrega em companhias que possuíam frotas ao redor de 60 veículos e que poderiam ter suas próprias centrais de recarga de baterias.

O advento da Primeira Guerra Mundial em 1914 provocou o aumento dos preços do petróleo e aumentou ainda mais o otimismo nos carros elétricos. Mas apesar dos esforços comerciais e de marketing, o número de caminhões elétricos caiu de 10% em 1913 para apenas 3 a 4% em 1925.

O período 1926-1966: uma “coisa do passado”

Entre os anos de 1926 e 1966 muito pouco foi feito pois não havia nenhuma motivação para o ressurgimento desta tecnologia.

O período 1967-1972: combatendo a poluição

Em meados de 1960, a poluição produzida pelos automóveis em áreas urbanas tornou-se uma preocupação frequente e, em 1967, o governo dos USA publicou novos regulamentos sobre

poluição. Os carros elétricos que surgiram ao final da década de 60 utilizavam certas técnicas de conservação na tentativa de aumentar sua autonomia e velocidade máxima. Era necessário que os carros elétricos tentassem alcançar o patamar de desempenho oferecido pelos carros a gasolina, cujo desenvolvimento tinha sido significativo durante todo o século.

Tanto a Ford como a GM produziram protótipos elétricos. O modelo Ford Comuta surgiu em 1967 e o GM 512 em 1968. Ambos eram pequenos carros de passageiros com dois assentos pesando cerca de 550 kg, sendo carros puramente elétricos. O GM 512 tinha melhor desempenho mas estava longe de alcançar as velocidades típicas de uma auto-estrada. A autonomia do carro da Ford era de apenas 38 km em trajetos urbanos. Ou seja, essencialmente a mesma autonomia oferecida pelos carros elétricos do início do século. O carro da GM era um pouco melhor: conseguia andar 60 km em um trajeto urbano e 91 km em estradas a velocidade constante. A taxa de aceleração era de 12 a 13 segundos para passar de 0 a 50 [km/h].

Na Europa a Renault produziu um protótipo pesando 1860 kg que, apesar da baixa aceleração, tinha uma autonomia de 107 km.

Em resumo, as tentativas na década de 60 para promover os carros elétricos falharam. A redução da poluição nas cidades não era uma motivação suficientemente forte para o ressurgimento de uma tecnologia arcaica e inferior.

O período de 1973-1980: a solução para a crise do petróleo

A crise do petróleo associada ao embargo imposto pela OPEP trouxe novas esperanças para os carros elétricos sendo que, desta vez, os motivos eram essencialmente políticos. Os EUA dependiam significativamente do petróleo dos países árabes e o Congresso americano estava determinado a reduzir esta dependência. Havia também uma motivação econômica dada pela balança comercial americana. As questões ambientais não eram efetivamente críticas pois não se considerava que apenas o uso de carros elétricos fosse melhorar a qualidade do ar.

Em 1976, o Depto. de Energia dos EUA estabeleceu um programa para o desenvolvimento de carros elétricos e híbridos. O propósito deste programa era promover a pesquisa sobre veículos elétricos e demonstrar a viabilidade desta tecnologia de modo a conquistar a aceitação do público. Em um discurso de 1978, Paul Brown, um dos diretores do programa, disse:

“Vamos deixar as coisas claras. Nós queremos reduzir a dependência da nação em relação ao petróleo estrangeiro. Esta dependência afeta negativamente a balança de pagamentos americana e contribui para a inflação. O setor de transportes é o maior usuário dos derivados de petróleo. Reduzir o uso de petróleo neste setor irá reduzir nossa dependência em relação ao petróleo importado e terá um impacto positivo na nossa economia. Se o público passar a usar veículos elétricos em substituição aos veículos a gasolina, a nação usará menos petróleo”.

As preocupações com relação ao futuro dos transportes eram mundiais. Em 1977, uma conferência internacional se propunha a discutir “O desenvolvimento dos veículos elétricos”. Entretanto, o apoio aos carros elétricos não era unânime e alguns argumentos contrários apareceram:

- a) Os efeitos dos carros elétricos sobre a poluição podem ser mistos. A redução nas emissões dos automóveis poderá ser acompanhada pelo aumento das emissões nas usinas termoeletricas que queimam combustíveis fósseis para produzir energia elétrica. Além disso, uma regulamentação mais restritiva nas emissões dos automóveis poderá fazer com que os mesmos deixem de ser os principais poluidores.

- b) O sucesso dos carros elétricos e carros híbridos irá afetar os custos de diversos tipos de matérias-primas, dependendo dos tipos de baterias que vierem a se tornar dominantes. Em certas circunstâncias, o aumento da importação de matérias-primas poderá ser maior que a redução na importação de petróleo.

Apesar das iniciativas governamentais os consumidores continuavam não vendo razões para comprar carros elétricos lentos e de baixa autonomia, mesmo após a crise do petróleo.

O período 1980-1993: o surgimento de um competidor

Após um período de pouco desenvolvimentos efetivos, o entusiasmo ressurgiu no final da década de 80. Os veículos elétricos começam a ter um progresso marcante, tanto psicologicamente quanto tecnologicamente. Ganhou o apoio de governantes, de ambientalistas e de fabricantes de automóveis ao redor do mundo. Os governantes (EUA) continuam querendo diminuir a dependência do petróleo dos países árabes, principalmente após a Guerra do Iraque em 1991. Duas iniciativas governamentais merecem ser mencionadas:

- a) O surgimento do “United States Advanced Battery Consortium” agrupando os três principais fabricantes de automóveis dos EUA
- b) O estado da Califórnia que aprova legislação extremamente restritiva com relação às emissões de gases poluentes, exigindo que uma fração da frota de automóveis venha a se enquadrar na categoria de ZEV (“Zero emission vehicles”)

Em outros países tais como o Japão tais iniciativas também ganham fôlego e novos argumentos também aparecem:

- a) O fato do petróleo continuar sendo queimado nas usinas termoeletricas centrais não é necessariamente um problema, pois esta queima ocorre com maior eficiência energética do que a queima realizada em um automóvel.
- b) Outros tipos de combustíveis podem ser usados em usinas termoeletricas, tais como o carvão, o gás natural e mesmo combustíveis nucleares. Estes outros combustíveis podem diminuir a emissão global de poluentes atmosféricos (em relação ao petróleo).
- c) Existem usinas hidroelétricas que não fazem uso de combustíveis fósseis.
- d) Os controles de poluição podem ser implementados de uma forma bastante eficaz em usinas elétricas centralizadas, sendo difícil alcançar os mesmos patamares de desempenho em uma frota imensa de automóveis.

O período a partir de 1998: o surgimento dos carros híbridos

Em princípio, um motor elétrico é a unidade de propulsão ideal. É pequeno, silencioso, altamente eficiente, tem excelentes características de torque×velocidade e é não-poluidor. Infelizmente, no contexto de um carro, todas estas aspectos positivos são prejudicados pelas limitações fundamentais das baterias como fonte de energia.

Como o combustível é (do ponto de vista de um carro) apenas um peso morto e como este combustível tem que ser carregado por todo o trajeto percorrido, o que se deseja é que a densidade de energia deste combustível seja a máxima possível. A gasolina tem uma densidade energética de aproximadamente 12500 Wh/kg. Em comparação, uma bateria de chumbo-ácido

convencional consegue armazenar apenas 25 Wh/kg. Como consequência, um carro puramente elétrico possui um enorme e pesado sistema de baterias, associado a uma autonomia sofrível.

Além disso, as baterias ainda demoram um tempo significativo (6 a 12 hs) para serem recarregadas. Por sua vez, um tanque de gasolina demora cerca de 2 a 3 minutos para ser preenchido, o que significa um fluxo de potência da ordem de 20 a 30 MW durante o período de abastecimento em um posto de gasolina.

A gasolina se aproxima de um combustível ideal mas também tem sua cota de problemas. A eficiência é muito baixa e, em baixas rotações, o torque disponível é baixo. O torque é que determina a capacidade de aceleração e, em um carro convencional, esta aceleração é definida pela combinação da caixa de engrenagens e pelo sobredimensionamento do motor a explosão (o que acarreta uma ineficiência ainda maior). Por exemplo, o Mercedes-Benz CL600 possui um motor de 367 CV, de 12 cilindros e consegue acelerar seus 2380 kg de 0 a 60 milhas/h (aproximadamente 100 km/h) em 6.3s. Para aumentar sua eficiência existe um mecanismo que desativa 6 cilindros quando não há necessidade de torque elevado.

No presente momento (Janeiro 2001 - [21]) existem dois carros disponíveis comercialmente no Japão: o Insight e o Prius, fabricados pela Honda e Toyota respectivamente. Detalhes específicos sobre o Prius podem ser obtidos na referência [20].

O Insight é um carro híbrido paralelo enquanto que o Prius possui uma configuração do tipo série-paralelo. O Insight é um carro de dois assentos, com carroceria de alumínio e pesa apenas 850 kg. Em contraste, o Prius é um carro de quatro portas, capaz de transportar confortavelmente uma família e pesa 1250 kg. Tais diferenças básicas de peso afetam inevitavelmente a performance global e a economia de combustível. Sendo assim, o Insight supera o Prius em termos de economia de combustível e em emissões de CO₂. Outra diferença é que em baixas velocidades o Prius é acionado unicamente pelo motor elétrico enquanto que o Insight é sempre operado por uma combinação do motor a explosão e motor elétrico (ou exclusivamente pelo motor a explosão em algumas condições).

Tabela I - Comparação entre dois carros híbridos fabricados atualmente no Japão [21]

	Insight (Honda)	Prius (Toyota)
Estrutura do carro híbrido	Paralelo puro	Série-Paralelo
Massa [kg]	850	1250
Potência do motor a explosão [kW]	50	53
Potência do motor a explosão [CV]	68	72
Potência do motor elétrico [kW]	10	33
Capacidade de corrente da bateria [Ah]	6.5	6.5
Tensão da bateria [V]	144	274
Aceleração de 0 a 100 km/h - [s]	12	13.4
Consumo de combustível [milhas/galão]	83.1	57.6
Consumo de combustível [km/litro]	29.5	20.4
Emissões de CO ₂ [g/km]	80	114

Os dois carros mencionados usam baterias de “nickel-metal hydride” fabricadas pela Panasonic, com densidade de energia de aproximadamente 44 Wh/kg. Estas baterias, que são projetadas para durar a vida útil do veículo, nunca são carregadas externamente. Sua carga provém da energia obtida a partir da frenagem regenerativa. Além disso, no caso do Prius existe um alternador que é capaz de carregar o sistema de baterias. No caso do Insight o próprio motor elétrico passa a funcionar como gerador.

A descrição feita sobre “test-drive” em um Insight (extraído e adaptado de [21]) menciona:

A Honda forneceu um carro para um “test-drive” que foi realizado em Londres e recomendou que o Insight fosse tratado como “um carro comum”. Após alguns minutos parei em um cruzamento congestionado e, como previsto, o motor a explosão desligou automaticamente. Era o sistema de economia de combustível do carro entrando em ação. Quando o trânsito foi liberado apertei a embreagem, engatei a primeira marcha e, ao tocar o pedal do acelerador, o motor a explosão repartiu com um mínimo de ruído usando o motor elétrico como motor de arranque. É sempre um pouco desconcertante no início - pelo receio de que o carro não venha a repartir - mas após algumas ocasiões a gente nunca mais volta a pensar no assunto. No futuro, com o advento de carros com sistemas auxiliares alimentados em 42 V, este tipo de comportamento (“stop and go”) será comum.

Acelerar em uma auto-estrada foi uma agradável surpresa tendo me convencido de que eu tinha efetivamente um “carro comum” nas mãos. Para o motorista, as novidades mais visíveis estão no painel de instrumentos que fornece um enorme número de informações sobre o estado do veículo. O consumo instantâneo e médio de combustível, o nível de carga das baterias e, principalmente, se o motor elétrico está extraíndo energia das baterias ou se está fornecendo (através da frenagem dinâmica) energia às baterias. Para completar a jornada eu tentei inutilmente provocar uma descarga no sistema de baterias.

Quando o carro estava em quinta marcha utilizando apenas o motor a explosão eu pressionei o pedal do acelerador até o fundo. O indicador de rotações do motor a explosão registrou apenas um pequeno aumento enquanto que outros indicadores mostravam que o motor elétrico passava a produzir torque, retirando energia do sistema de baterias. Entretanto, assim que tirei o pé do acelerador o sistema de frenagem dinâmica entrou em operação e o painel passou a indicar que a bateria estava sendo recarregada. O sistema de gerenciamento de energia do Insight consegue garantir que o nível de carga das baterias fica sempre dentro de limites pré-definidos.

Após cerca de uma hora voltei a Londres. Ao chegar novamente à Honda o painel registrava que eu havia percorrido 42.4 milhas (68.2 km) com um consumo médio de 75.3 milhas/galão (26.7 km/litro). O nível de carga das baterias estava exatamente no mesmo ponto em que eu havia começado a guiar.

Associado ao consumo de combustível é possível alcançar níveis baixos de emissão de poluentes. Na prática, apenas alguns dos benefícios estão relacionados com o uso do sistema híbrido de tração. Medidas de redução de peso, aerodinâmica e redução nos coeficientes de atrito são responsáveis por cerca de 35% da economia de combustível. Os 65% restantes tem efetivamente algo a ver com o sistema híbrido que utiliza um motor elétrico de ímãs permanentes que possui pequenas dimensões físicas (o rotor possui altura de apenas 60 mm).

Entretanto, os sistemas eletrônicos e o conjunto de baterias são realmente impressionantes. Imediatamente atrás dos bancos do motorista e do passageiro - ocupando o espaço de um mala de tamanho médio - estão os 22 kg do módulo de baterias, um inversor DC-AC e AC-DC (que faz a interface entre o motor elétrico e o sistema de baterias), um conversor DC-DC (que faz a interface entre o sistema de baterias em 144 V e o sistema convencional de 12 V usado para a iluminação e outros dispositivos elétricos do carro) e os módulos de controle do veículo. Todos estes dispositivos possuem dissipadores e ventiladores significativos.

Configurações técnicas de um carro puramente elétrico

A configuração mais simples para um carro elétrico está mostrada na Fig. 2. Nesta temos um conjunto de baterias alimentando um conversor eletrônico que, por sua vez, aciona um motor elétrico. Este motor irá fornecer potência mecânica às rodas passando através de um sistema de engrenagens e uma embreagem diferencial.

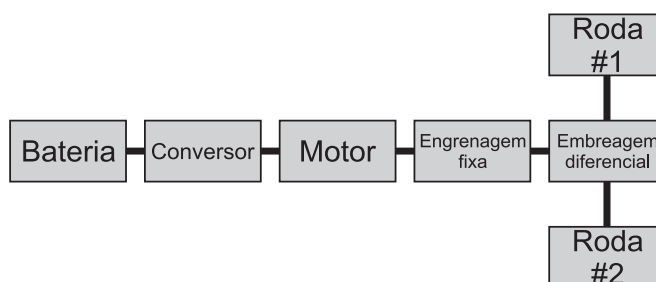


Fig. 2 Carro elétrico com apenas um único motor.

Uma alternativa possível seria eliminar a embreagem diferencial na forma ilustrada pela Fig. 3. Neste arranjo passamos a ter dois conversores e dois motores independentes. O mecanismo de embreagem diferencial é implementado eletronicamente ajustando-se velocidades levemente distintas para cada um dos motores (e suas respectivas rodas).

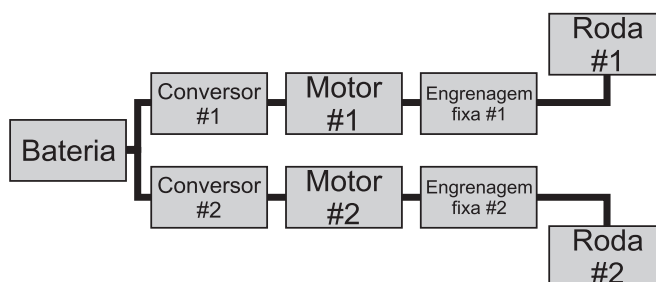


Fig. 3 Carro elétrico com dois motores.

O arranjo mostrado pela Fig. 4 incorpora os motores diretamente nos corpos das rodas. Tal configuração pode ser expandida para permitir um sistema de tração nas quatro rodas. Apesar de exigir o uso de motores especiais de pequena dimensão, tal configuração oferece como prêmio a possibilidade de construir ônibus nos quais a altura do piso seja bastante baixa.

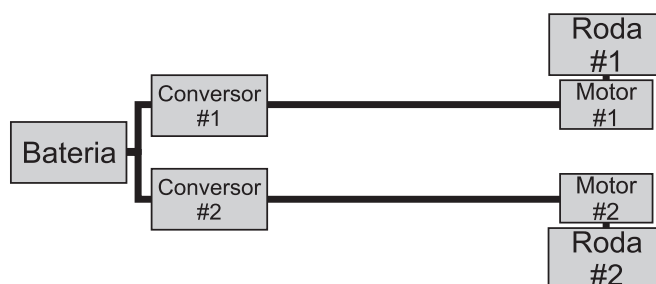


Fig. 4 Carro elétrico com dois motores acoplados diretamente às rodas.

Configurações técnicas de um carro elétrico híbrido

A autonomia de um carro elétrico pode ser aumentada significativamente utilizando-se uma fonte de energia adicional a bordo. Ou seja, existiria a bordo um motor a combustão interna associado a um grupo gerador. Outra alternativa seria as chamadas células de combustível. Este tipo de carro é denominado de HEV (“Hybrid electric vehicle”) ou mais precisamente TEHV (“Thermal electric hybrid vehicle”).

Existem inúmeras estruturas para a construção de carros híbridos. Como limites extremos destas concepções temos: o carro elétrico híbrido “série” e o “paralelo”. O carro elétrico híbrido “série” está ilustrado na Fig. 5 onde fica claro que existe uma combinação de duas fontes de energia.

A tração do veículo é obtida a partir de um único motor elétrico. Entretanto, a energia necessária para o acionamento deste motor resulta da combinação de duas ou mais fontes de energia independentes.

Um reservatório de combustível (gasolina ou diesel) é utilizado para acionar um motor a explosão que aciona um gerador elétrico. A energia elétrica produzida por este gerador pode seguir dois caminhos. No primeiro, ela segue diretamente para alimentar o conversor eletrônico que aciona o motor elétrico. No segundo caminho, esta energia pode alimentar o sistema de baterias a bordo.

O fluxo de potência pode seguir caminhos distintos dependendo do modo de operação do carro. Em uma situação onde seja necessário uma elevada potência de aceleração tanto a bateria como o motor a combustão fornecem energia para o motor elétrico.

Durante os períodos de frenagem o sistema de baterias irá receber energia do motor a combustão e ao mesmo tempo energia cinética do carro. Neste instante o motor elétrico irá operar também como um gerador elétrico.

Existe portanto um desacoplamento relativo entre a geração e o consumo de energia. A potência nominal do grupo motor-gerador pode ser escolhida através de diferentes critérios em função da aplicação desejada.

Os carros movidos a “células de combustível” são carros híbridos “série” nos quais o grupo “reservatório de combustível + motor a explosão + gerador” são substituídos por um sistema que gera energia elétrica diretamente a partir do hidrogênio armazenado. Novamente o excesso de energia será armazenado em um sistema de baterias. No caso extremo o banco de baterias será eliminado passando a existir apenas o sistema de “células de combustível”. Tal arranjo está ilustrado na Fig. 6.

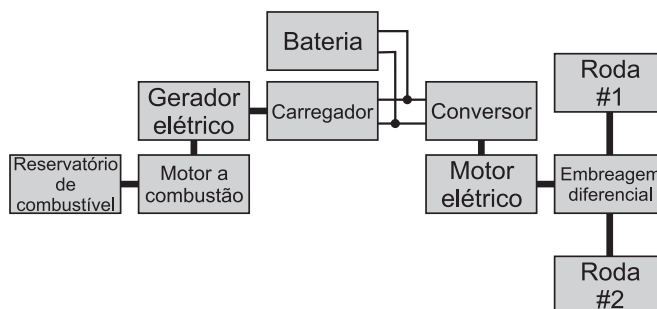


Fig. 5 Carro elétrico híbrido série.

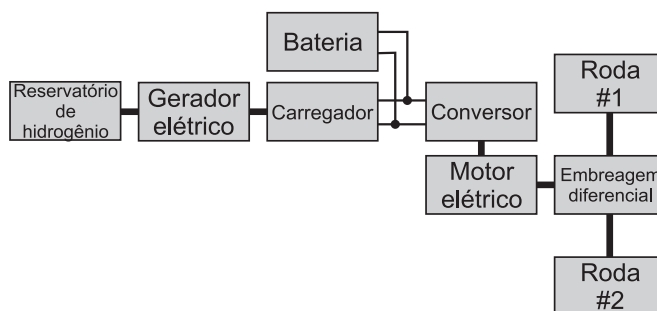


Fig. 6 Carro híbrido série movido a hidrogênio.

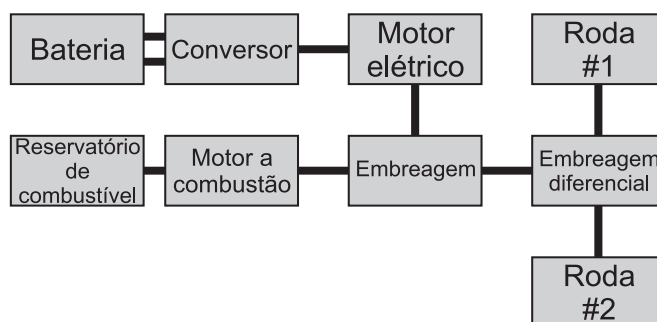


Fig. 7 Carro elétrico híbrido paralelo.

O conceito de carro híbrido série também admite a utilização de motores acoplados diretamente às rodas, na forma indicada pela Fig. 4.

O carro híbrido “paralelo” é uma combinação de dois tipos de tração e está mostrado na Fig. 7. Tanto o motor elétrico como o motor a combustão atuam de forma conjunta através de embreagens de modo a tracionar o veículo. Tanto um como o outro motor podem ser desconectados o que torna possível tracionar usando apenas o motor a combustão ou apenas o motor elétrico.

No carro híbrido paralelo também é possível inverter o fluxo de potência fazendo com que o motor elétrico passe a operar como gerador. Deste modo o sistema de baterias poderá ser carregado a partir do motor a combustão e também a partir do excesso de energia cinética durante os intervalos de frenagem.

Todas as topologias diferentes do carro híbrido “série” ou “paralelo” puro são denominadas de topologias “complexas”. Entre estas topologias “complexas” estão aquelas nas quais se associa ao sistema de baterias um mecanismo específico para o armazenamento da energia de pico. Um exemplo deste tipo está mostrado na Fig. 8.

Outra combinação possível é associar os arranjos “série” e “paralelo” na forma indicada pela Fig. 9. Uma embreagem permite direcionar a energia produzida pelo motor a combustão tanto para o sistema de baterias como para o motor elétrico.

Quase todos os sistemas híbridos utilizam algum tipo de bateria que precisam ser baterias especiais capazes de suportar ciclos de carga e descarga intensos. Além disso, os sistemas de gerenciamento de energia possuem um papel fundamental, definindo a eficiência global do sistema e o nível de emissão de poluentes. Para que tais sistemas de gerenciamento operem corretamente são necessários bons sistemas de aquisição de dados aliados a bons sistemas de controle.

Performance dos carros elétricos

Um carro elétrico deve preencher todos os requisitos de tráfego urbano e suburbano. Entretanto, tais requisitos dependem enormemente do tipo de carro e de seu tamanho. Não é possível estabelecer um único padrão que represente simultaneamente todos os diferentes segmentos da população de automóveis. Entre estes segmentos podemos mencionar: pequenos carros de passageiros, carros de família, carros de alto luxo e desempenho, peruas de entregas, caminhões, ônibus, mini-ônibus e motocicletas.

As características de um veículo podem ser descritas pela sua velocidade máxima, pela rampa máxima que é capaz de vencer, pela aceleração máxima e pela sua autonomia.

A autonomia de um carro puramente elétrico é definida pela capacidade de

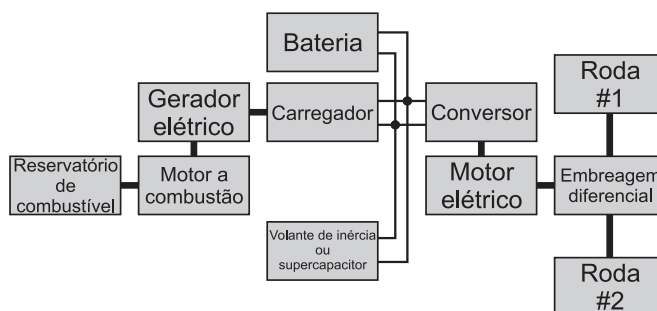


Fig. 8 Carro híbrido série com mecanismo para armazenamento da energia de pico.

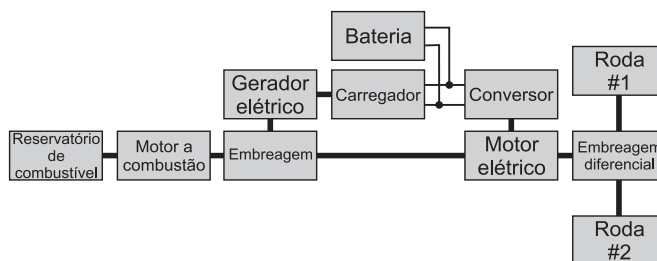


Fig. 9 Carro híbrido série-paralelo.

armazenamento do sistema de baterias. O regime básico de operação a ser considerado é a operação em velocidade constante em uma estrada plana.

A frenagem regenerativa é uma característica fundamental nos carros elétricos. Portanto devem ser considerados um torque de frenagem suficientemente alto associado a uma elevada corrente de carga de bateria. A Fig. 10 mostra a curva característica torque×rotação de um veículo em função do nível estabelecido pelo pedal do acelerador.

A “dirigibilidade” é muito importante, o que requer um elevado torque de arranque, uma resposta rápida e estável do motor e uma frenagem eficiente e controlável. Além disso, por razões de conforto a taxa de variação de potência do motor deve ser limitada.

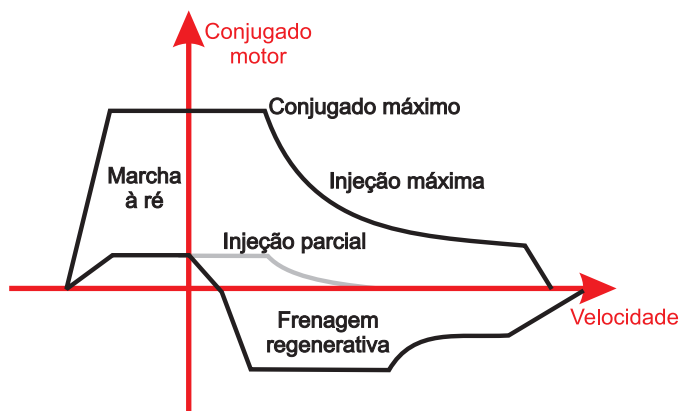


Fig. 10 Diagrama de esforço tracionário em função da posição do pedal do acelerador.

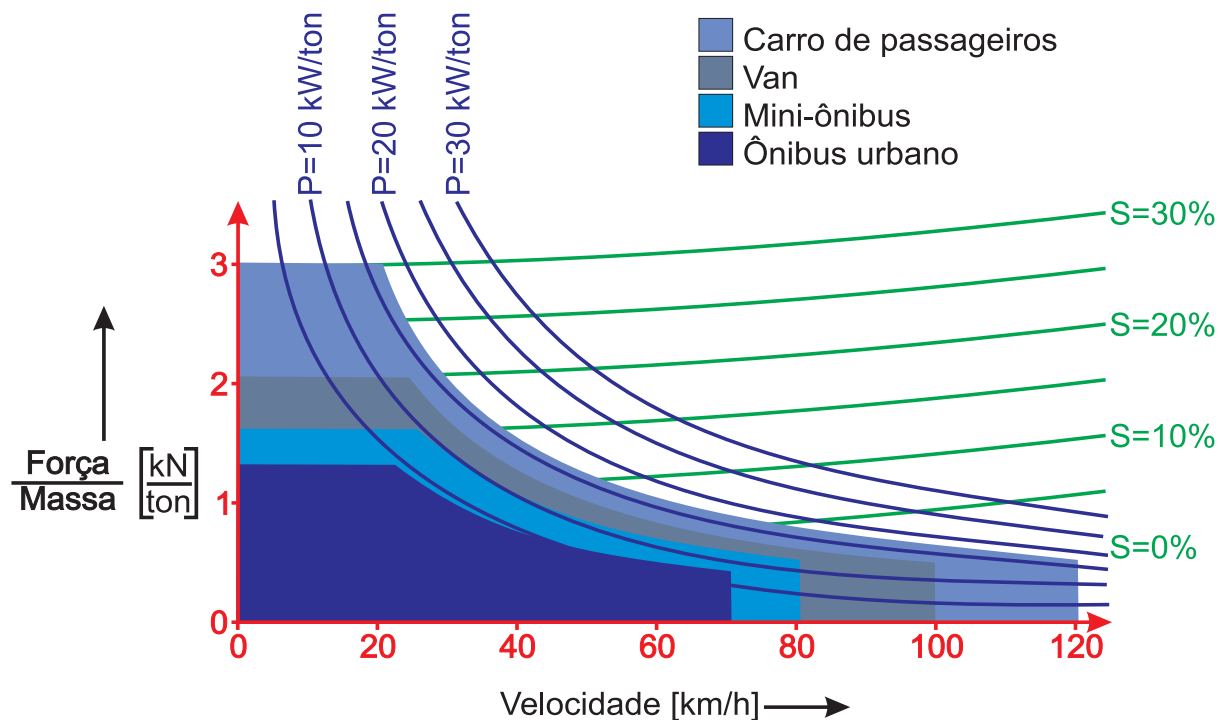


Fig. 11 Diagrama de esforço tracionário para diversos tipos de carros elétricos.

O esforço tracionário de um veículo é sua principal característica e um exemplo típico está mostrado na Fig. 11. Para permitir a comparação entre diferentes tipos de veículos (carro de passageiros, van, mini-ônibus e ônibus) adotou-se uma normalização do torque para uma massa de 1 tonelada. Na Fig. 11 existem curvas que indicam a potência máxima por tonelada (P). Também estão mostradas as curvas de carga em função da velocidade e do nível de rampa a ser vencida (S). Para cada tipo de veículo existem requisitos diferentes de velocidade máxima e de esforço tracionário. De modo geral, quanto maior o veículo, menores serão a sua velocidade máxima, seu esforço tracionário (por unidade de massa) e sua potência (também por unidade de massa).

No passado, estas especificações de desempenho eram dificilmente atingidas pelos veículos elétricos o que inviabilizava comparações com os carros à explosão convencionais. A Tabela II a seguir indica as performances atuais (~2000) de alguns carros puramente elétricos.

Tabela II - Performance de alguns carros puramente elétricos

	Carro de passageiro (Peugeot 106)	Van (Peugeot Berlingo)	Mini-ônibus	Ônibus urbano
Autonomia [km]	120-250	100-150	140-200	150-300
Velocidade máxima [km/h]	100-120	80-120	80	70
Velocidade contínua [km/h]	100	80	60	60
Rampa máxima [%]	30	20-25	15-20	12-15
Aceleração de 0 a 50 km/h [s]	7-10	10-15	12-18	15-20

Pontos para reflexão

1. Os primeiros carros a explosão não dispunham de motor de arranque. Os amantes do automobilismo e os fabricantes deste tipo de automóvel sabiam que “dar o arranque” em um carro usando a manivela não era uma atividade divertida, podendo em algumas situações chegar a quebrar o braço daqueles que cometiam algum engano. Em inúmeras situações os carros eram estacionados com o motor em operação para evitar que fosse necessário dar novamente o arranque. O sonho dos fabricantes era efetivamente conseguir algum dispositivo de partida “automático”. Alguns dos carros por volta de 1910 utilizavam ar comprimido para empurrar os cilindros para fazer o motor começar a girar. A crença comum da época é que o (eventual) motor de arranque elétrico deveria ser enorme e iria exigir um grande número de baterias sendo que as primeiras tentativas datam de 1896.

Charles Franklin Kettering (1876-1958) era um engenheiro eletricista que adorava desafios, tendo começado sua carreira trabalhando com a motorização caixas registradoras. Ao fazê-lo, ele desafiou algumas idéias consideradas sagradas na engenharia. Projetou um motor que todos julgavam muito pequeno para aquela finalidade. Entretanto, sua idéia era sobrecarregar significativamente o motor durante o curto período de operação no qual este operava. Em 1909 ele fundou, juntamente com alguns colegas a Dayton Electric Laboratories Company (DELCO) e seu primeiro produto foi um sistema de arranque para ser utilizado pela General Motors. A idéia era essencialmente a mesma que já havia sido utilizada para as caixas registradoras. Um pequeno motor elétrico, consumindo uma grande potência de um sistema de baterias de chumbo-ácido iria fazer o motor a explosão partir. A partir deste momento, o motor de arranque passaria a funcionar como gerador alimentando a bateria que poderia fornecer energia para a própria ignição e para os sistemas de iluminação.

Neste sentido, todos os carros modernos são híbridos, pois durante alguns segundos iniciais eles são movimentados a partir da energia contida em um sistema de baterias que é utilizada em um motor de arranque. Ao mesmo tempo, existe um alternador (um gerador elétrico) que extrai uma parcela da energia mecânica produzida pelo motor à explosão e converte esta energia em energia elétrica que alimenta o próprio sistema de ignição, recarrega as baterias e além disso alimenta todo um conjunto diversificado de cargas elétricas (iluminação, som, etc). Tal arranjo está mostrado na Fig. 12.

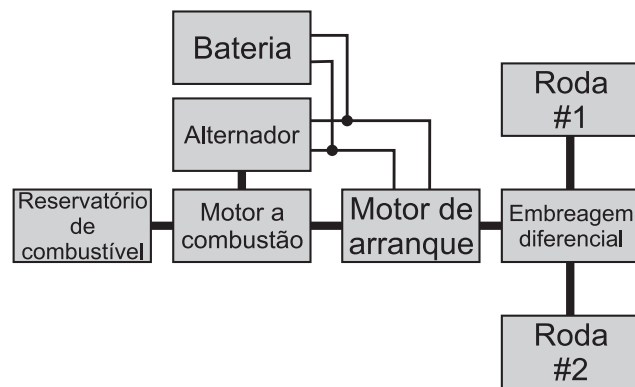


Fig. 12 Carro convencional com motor a explosão.

2. O número de dispositivos que utilizam ímãs permanentes em automóveis, particularmente motores, é muito grande. Na Fig. 13 abaixo estão mostrados 34 destes dispositivos.

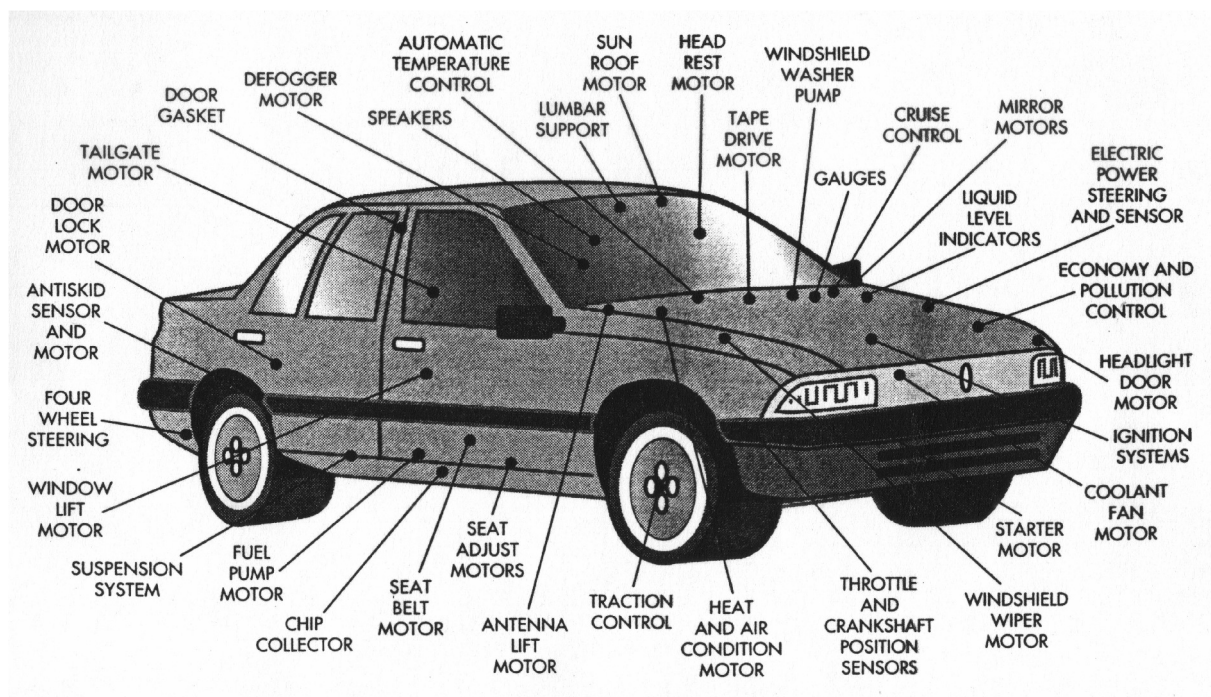


Fig. 13 Vários tipos de dispositivos, incluindo motores, que utilizam ímãs permanentes.

3. A manutenção do sistema de alimentação em 12 VDC está se tornando inviável tendo em vista o aumento do consumo. Em 1970 o consumo típico era de 600 W em um carro elétrico tendo alcançado 2000 W no ano 2000. Existe uma “rota de migração” planejada em direção ao sistema de 42 VDC, permitindo assim a incorporação de dispositivos tais como suspensão ativa, etc. As referências bibliográficas [22, 23, 24] detalham este aspecto.

4. A revista IEEE Spectrum publicou, em números recentes (Março 2001) [19] um artigo questionando a validade dos carros elétricos híbridos. Em número posterior (Maio 2001) um conjunto de leitores indignados contestou os argumentos publicados originalmente. Tais artigos ilustram a atualidade do debate. Outros artigos [4] [14 até 21] também abordam este tema.
5. Quais os tipos de motores que podem ser usados em um carro elétrico? Este ponto tem sido imensamente debatido e tem sido considerado o uso de motores de indução trifásicos assim como motores de ímãs permanentes. Sugestões envolvendo o uso de motores de relutância também tem aparecido.
6. Veículos híbridos não são uma tecnologia recente. Tal solução é utilizada há muitas décadas em tração ferroviária nas locomotivas diesel-elétricas.

Existem dois tipos de locomotivas: a locomotiva híbrida diesel-elétrica (trens de carga) e a locomotiva puramente elétrica (trens e metrô urbanos). A escolha de um ou outro tipo depende da distância a ser percorrida e da quantidade e tipo de carga a ser transportada. Em grandes distâncias e cargas elevadas impera a utilização de locomotivas diesel-elétricas. Em pequenas distâncias e cargas leves (como em transporte coletivo) utilizam-se locomotivas puramente elétricas.

A locomotiva diesel-elétrica é composta de um motor à explosão (que utiliza óleo diesel como combustível) conectado a um gerador elétrico. Este gerador elétrico alimenta um ou mais motores elétricos conectados aos eixos de tração da unidade. Tal configuração corresponde a um veículo híbrido na configuração série, como mostra a Fig. 14. Tal esquema resulta em grande autonomia (os trens transportam enormes quantidades de seu próprio combustível), ótima versatilidade na tração (os motores elétricos podem trabalhar em uma faixa muito ampla de potência x velocidade) e altíssima densidade de potência. As características de uma locomotiva são impressionantes: velocidade máxima = 120 km/h; peso da locomotiva = 150 toneladas; combustível = 8000 litros; potência = 2700 kW !! Uma verdadeira usina termoeletrica ambulante cuja potência é equivalente ao consumo de uma pequena cidade.

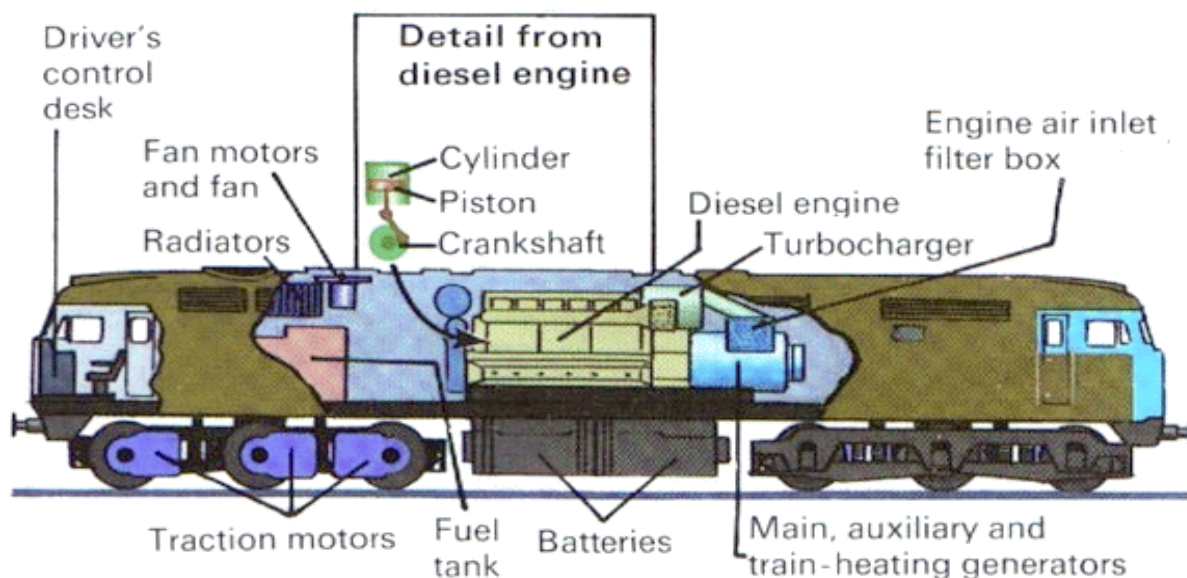


Fig. 14 Detalhe de uma locomotiva diesel-elétrica.

Bibliografia

Artigos gerais

- [1] G. Maggetto, J. Van Mierlo; Electric and electric hybrid vehicle technology: a survey, IEE Seminar, pp. 1-11, 2000
- [2] IEEE Spectrum - Número especial de Novembro/1992 com vários artigos.
- [3] IEEE Spectrum - Número especial de Novembro/1998 com vários artigos
- [4] IEEE Spectrum - John Voelcker, *Top 10 tech cars: here come the hybrids*, IEEE Spectrum, pgs. 28-35, March, 2004

Artigos históricos

- [5] Steven. S. Lough; The not so new electric car - Step child of Detroit, Northcon/94 Conference Record, pp. 322-324, 1994.
- [6] Kaushik Rajashekara; *History of electric vehicles in General Motors*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, nº 4, pp. 897-904, Julho/Agosto 1994.
- [7] Jolm M. Anderson, *First U.S. Electric Street Car*, IEEE Power Engineering Review, pg. 32, October 1999.
- [8] Steven D'Agostino, *The electric car - A historical survey on the motives driving its existence*, IEEE Potentials, Vol. 1, pp. 28-32, Fevereiro 1993
- [9] Michael Brian Schiffer, *Taking charge - The electric automobile in America*, Smithsonian Institution Press, 1994.
- [10] Frank Coffey, Joseph Layden, *America on wheels - The first 100 years: 1896-1996*, General Publishing Group, 1996.
- [11] Richard H. Schallenberg, *Prospects for the Electric Vehicle: A historical perspective*, IEEE Transactions on Education, Vol E-23, nº 3, pp. 137-143, Agosto 1980.
- [12] Paul. D. Agarwal; *The GM high-performance induction motor drive system*, IEEE Transactions PAS-88, nº 2, pp. 86-93, Fevereiro 1988.
- [13] Frank J. Sprague, *Solution of municipal rapid transit*, com apresentação de James Brittain, *Sprague on an Electrical Revolution in Urban Transportation*, Proceedings of the IEEE, Vol. 72, nº 2, pp. 175-195, Feb. 1984.

Artigos sobre carros híbridos

- [14] Floyd A. Wyczalek, *Market mature 1998 hybrid electric vehicles*, IEEE Transactions AES Systems Magazine, pp. 41-44, Vol. 14, Março 1999.
- [15] Floyd A. Wyczalek, *Hybrid electric vehicles - Year 2000 status*, IEEE Transactions AES Systems Magazine, pp. 15-19, Vol. 16, Março 2001.
- [16] Floyd A. Wyczalek, *Hybrid electric vehicles - Year 2000 status*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, pp. 349-355, 2000.
- [17] John G.W. West, *Propulsion systems for hybrid electric vehicles*, IEE Colloquium on Electrical Machine Design for All-Electric and Hybrid-Electric Vehicles., Publication 196/1999, pp. 1-9, 1999.
- [18] Floyd A. Wyczalek, *Hybrid electric vehicles in Europe and Japan*, pp. 1919-1924, Energy Conversion Energy Conference, Vol. 3, 1996.
- [19] Lester B. Lave, Heather L. Maclean, *Are hybrid vehicles worth it?*, IEEE Spectrum, pp. 47-50, Março 2001. Segue-se a resposta de diversos leitores a este artigo: *Hybrid vehicles are worth it!*, IEEE Spectrum, pp. 79-84, Maio 2001.
- [20] David Hermance, Shoichi Sasaki, *Hybrid electric vehicles take to the streets*, IEEE Spectrum, pp. 48-52, Novembro 1998.
- [21] Roger Dettmer, *Hybrid vigour*, IEE Review, pp. 25-28, Vol. 47, Janeiro 2001.

Artigos sobre o sistema de 42V

- [22] Hans-Dieter Hartmann, *Standardisation of the 42V PowerNet - History, current Status, future action*, Relatório sem referências detalhadas de origem.
- [23] John G. Kassakian, John. M. Miller, Norman Traub, *Automotive electronics power up*, IEEE Spectrum, pp. 34-39, Maio 2000.
- [24] John G. Kassakian, *Automotive electrical systems - The power electronics market of the future*, IEEE Applied Power Electronics Conference & Exposition, APEC 2000, Vol. 1, pp.3-9, 2000.


[OPINIÃO](#)
[JORNALISMO](#)
[JORNALISMO](#)
[SERVIÇOS](#)
[SERVIÇOS](#)
[CANAIS](#)

Suplementos Editorial Portal do Assinante Caderno2 Cidades Economia Esportes Geral Internacional Nacional

Domingo, 9 de fevereiro de 2003

ECONOMIA

O ESTADO DE S. PAULO

Tecnologia é usada na fabricação de ônibus

Empresa do ABC desenvolveu motor híbrido no País, nos últimos quatro anos

Se o lançamento de carros híbridos no Brasil ainda é uma aposta sem prazo definido, o mesmo não ocorre no setor de transporte público. Pelo menos 13 ônibus movidos a motor de combustão a diesel e a bateria elétrica rodam pelo município de São Bernardo do Campo, no ABC paulista, há dois anos.

Desenvolvidos pela empresa Eletra, instalada na mesma cidade, os veículos também estão sendo exportados para o Chile e o Panamá.

A tecnologia do ônibus híbrido foi totalmente desenvolvida no País nos últimos quatro anos, diz o diretor técnico da Eletra, Antonio Vicente de Souza e Silva. A empresa faz o sistema de tração e a montagem final dos veículos, que utilizam chassi e carroceria das várias empresas que atuam no mercado. O custo é em média 30% superior ao de um ônibus convencional, mas o retorno do investimento extra ocorre em três anos, segundo Silva.

A empresa enviou três ônibus para serem testados no Chile e participa de uma concorrência para fornecer maior quantidade ao país, que tem um programa de renovação da frota. Já o Panamá encomendou 280 ônibus, que serão entregues nos próximos dois anos. A empresa negocia contratos com China, Índia, Inglaterra e México.

A professora Suzana Kahn Ribeiro, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), especializada na área de combustíveis, coordenou recentemente um trabalho de medição de consumo e de emissões dos ônibus híbridos. Segundo ela, em termos de desempenho o veículo teve comportamento similar ao de um convencional. Já o consumo de diesel é em média 20% menor e as emissões de material particulado (fumaça preta) têm redução de cerca de 80%. No caso do dióxido de carbono, o ônibus híbrido emite 20% a menos.

De acordo com Suzana, há possibilidades de outras combinações, como a do álcool para microônibus, ou do gás natural, também capazes de gerar energia para as baterias. "As baterias são como um pulmão energético. Quando não precisam da energia para deslocamento, ela é acumulada; quando o veículo precisa, elas cedem a energia", compara Silva.

A Eletra, criada por um grupo de empresários ligados ao setor de transporte no ABC, emprega 50 funcionários e, segundo Silva, não tem intenção de atuar no segmento de automóveis, "para não bater de frente com as montadoras." (C.

S.)

Índice de notícias
Economia
capa Estado

imprimir enviar comentário

[Pesquisa](#) [Colunistas](#) [Especiais](#) [Manual de Redação](#) [Clube do Assinante](#) [English](#) [Expediente](#)

A grande aposta verde da Toyota

Montadora conta com híbridos para liderar a indústria mundial

POR JATHON SAPSFORD
THE WALL STREET JOURNAL

TOYOTA, Japão — A Toyota Motor Corp., que anda rápido para desafiar a General Motors Corp. como a maior montadora do mundo, está apostando que consegue transformar uma cara tecnologia amiga do meio ambiente numa fonte significativa de lucro, e ao mesmo tempo aumentar a pressão sobre concorrentes americanas em dificuldades.

Para os consumidores, a crescente investida ambiental da Toyota vai representar cada vez mais escolhas em uma nova e cara classe de veículos conhecidos como híbridos, que usam uma combinação de motor a gasolina com motores elétricos, com a qual melhoram a economia de combustível sem grande perda de potência. Para suas debilitadas concorrentes de Detroit, o poder cada vez maior de vendas da Toyota pode deixar pouca escolha senão dedicar mais recursos para o desenvolvimento de híbridos, talvez licenciando a tecnologia da Toyota.

A Toyota já gerou muita badalação em torno de seus híbridos, especialmente com a alta dos combustíveis. O Prius — um veículo de forma oval que consegue fazer 25,5 quilômetros por litro no intermitente trânsito urbano — atraiu entusiastas da tecnologia. Mas agora ela está lançando uma segunda geração de híbridos, de sedãs de luxo a utilitários esportivos.

Katsuaki Watanabe, que assumiu como presidente da Toyota no mês passado, diz que seu sonho é promover a causa das tecnologias amigas do ambiente. Assim, a empresa vai um dia oferecer versões híbridas de virtualmente todos os seus carros, ressaltando uma nova realidade na direção da empresa: o híbrido deixou de ser um produto de nicho. “Essa é agora uma tecnologia central para nós”, disse Watanabe ao Wall Street Journal na sede da Toyota.

A ampliação da estratégia ambiental da Toyota ocorre num momento em que as montadoras de Detroit



Katsuaki
Watanabe

estão afundadas em problemas, a começar por uma guerra de preços e um aumento de custos de planos de saúde para trabalhadores sindicalizados e aposentados. Os custos financeiros também subiram porque as agências que medem o risco de crédito das empresas concluíram recentemente que tanto os títulos de dívida da GM quanto os da Ford não merecem mais grau de investimento, uma decisão que aumenta o custo da captação de recursos. A Toyota tem o suficiente em caixa para cobrir os US\$ 7 bilhões que planeja investir em pesquisa e desenvolvimento este ano sem fazer nenhuma dívida.

A estratégia dos híbridos é um teste da capacidade da Toyota de liderar a indústria automobilística. A maior montadora do Japão há muito tempo deixa Detroit ditar os padrões do setor. Mas executivos de rivais, falando reservadamente, dizem que a incursão no segmento de híbridos representa a maior tentativa dela até agora de influenciar a indústria mundial pela força de seu crescente poderio de vendas. Ela já é a montadora mais rentável do mundo quando medida pelo lucro total e planeja vender 8,5 milhões de veículos em todo o mundo no próximo ano (foram 7,4 milhões em 2004), o que a põe em posição de desafiar a GM, que vendeu aproximadamente 8,9 milhões no ano passado.

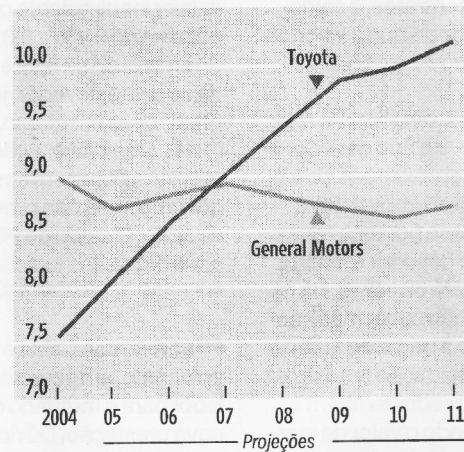
Os híbridos, entretanto, são uma aposta de risco. Esses carros têm uma enorme bateria que armazena a eletricidade gerada quando o motorista coloca o pé no freio, energia que é depois usada para ajudar a impulsionar o carro, reduzindo assim as emissões de poluentes e economizando gasolina. Mas os híbridos são caros. Watanabe admite que a melhor quilometragem por litro não garante economia o bastante, no decorrer da vida útil de um carro, para que o consumidor recupere o custo extra.

Watanabe disse que a Toyota, por meio de seu famoso sistema manufatureiro de *kaizen* ou aperfeiçoamento contínuo, pode reduzir pela metade os US\$ 4.000 a US\$ 5.000 por carro que a tecnologia híbrida custa ao consumidor. Analistas não têm tanta certeza, e observam que as baterias usam metais que são escassos, cujo preço pode subir junto com a demanda por híbridos, dificultando as reduções de custo. Além do mais, qualquer sucesso na redução de preços vai levar anos ou precisar daquilo que Watanabe admite que seria um salto tecnológico. "Mas pode ser feito", disse.

Por enquanto, a Toyota está apostando que consegue vender essa nova tecnologia a consumidores afluentes que têm consciência ambiental, mas não querem sacrificar potência ou conforto. Um teste crucial para ela é o recente lançamento nos Estados Unidos do utilitário esportivo RX 400h, de sua marca de luxo Lexus. A versão híbrida dessa caminhonete vem com um motor de seis cilindros que a Toyota diz que faz 13 quilômetros por litro na cidade. O veículo recebe um impulso considerável de seu sistema elétrico de propulsão. A mensagem: você pode dar sua volta pensando no verde e também ter potência.

Crescer com pequenos

A Toyota Motor planeja tornar-se a maior montadora do mundo, ultrapassando a GM na produção de carros leves. Em milhões:



Toyota

A Toyota quer fazer de carros com sistemas de propulsão híbridos, como o Lexus RX 400h (foto), um símbolo de status, da mesma forma como a Volvo usou a segurança para atrair jovens profissionais nos anos 90.

Fonte: CSM Worldwide