

veículos híbridos e eléctricos*

{ESTRUTURAS E CARACTERÍSTICAS - 1.ª PARTE}



Nas últimas décadas tem-se assistido a um forte desenvolvimento dos veículos eléctricos, sobretudo das soluções híbridas, como resposta aos impactos ambientais e económicos dos combustíveis fósseis. Os desafios que se colocam no campo da engenharia são múltiplos e exigentes, motivados pela necessidade de integrar diversas áreas, tais como, novos materiais e concepções de motores eléctricos, electrónica de potência, sistemas de controlo e sistemas de armazenamento de energia.

Neste artigo procura-se apresentar as principais características dos veículos híbridos eléctricos (VH) e dos veículos puramente eléctricos (VE). Começa-se por uma breve referência à origem e evolução destes veículos. Segue-se uma abordagem às diferentes configurações de VH e VE – principalmente, no que se refere aos sistemas de propulsão e armazenamento de energia –, realçando as suas vantagens e desvantagens. Por fim, referem-se alguns dos factores mais relevantes para a evolução tecnológica e aceitação destes veículos.

1. INTRODUÇÃO

Os conceitos de veículo eléctrico e híbrido eléctrico remontam às origens do desenvolvimento do próprio automóvel, em finais do séc. XIX. Numa época onde as preocupações ambientais e de eficiência não existiam, a finalidade era incrementar os níveis de desempenho dos motores de combustão interna (MCI) ou melhorar a autonomia dos veículos baseados em motores eléctricos. Com efeito, o desenvolvimento destes motores encontrava-se ainda numa fase inicial,

estando a tecnologia associada às máquinas eléctricas num nível superior. É nesta época que se regista a implementação de sistemas de frenagem regenerativa, que permitem recuperar a energia cinética que o veículo perde, em consequência de uma travagem, sendo armazenada nas baterias. Trata-se de uma contribuição fundamental para a eficiência destes veículos e respectiva autonomia – questão determinante para o desenvolvimento dos veículos eléctricos [1].

A partir da década de 1920, a enorme evolução verificada nos motores a gasolina (principalmente, no aumento da potência disponível e rendimento, com menores dimensões) tornou-os preponderantes face aos motores eléctricos. A maior dificuldade no seu controlo (baseado em contactos mecânicos e resistências, com baixos níveis de eficácia, comprometendo o próprio desempenho do veículo), a reduzida autonomia, peso e custo mais elevados, são os principais motivos que explicam aquela supremacia [1].

As crises energéticas ocorridas na década de 1970 e o aumento das preocupações am-

bientais (principalmente nas sociedades ocidentais), juntamente como desenvolvimento da electrónica de potência, que permitiu a criação de sistemas eficazes de controlo de motores eléctricos, despertaram interesse para o desenvolvimento de veículos puramente eléctricos, de que é exemplo a grande quantidade de protótipos construídos na década de 1980.

Na década de 1990 as concepções híbridas foram ganhando interesse, face à tomada de consciência das dificuldades em superar as limitações dos veículos eléctricos, relativamente aos veículos convencionais com MCI. Nesse sentido, vários fabricantes de automóveis desenvolveram diversos protótipos de versões híbridas, não tendo, no entanto, atingido a fase de comercialização.

O maior esforço no desenvolvimento e comercialização de veículos híbridos eléctricos foi feito por fabricantes japoneses: em 1997, a Toyota lançou o modelo *Prius* e a Honda lançou as versões híbridas dos modelos *Insight* e *Civic*. Actualmente, estes e outros modelos híbridos – entretanto lançados por

outros fabricantes –, são comercializados em todo o mundo, apresentando bons desempenhos dinâmicos e níveis de consumo [1], [2].

Quanto ao desenvolvimento dos veículos eléctricos, o maior obstáculo à sua comercialização e difusão reside no estado em que se encontra a tecnologia das baterias. Não obstante os progressos e esforços que têm sido feitos no seu desenvolvimento, o desempenho das baterias mais recentes continua aquém das exigências requeridas pelos veículos eléctricos, principalmente, ao nível da densidade de energia (por unidade de peso e volume) e densidade de potência. Atendendo às distâncias relativamente curtas que caracterizam os trajectos nos centros urbanos, será aqui que reside o maior potencial de aceitação destes veículos.

Nas últimas décadas, vários fabricantes de automóveis têm feito alguns investimentos no desenvolvimento da tecnologia das células de combustível, com vista à aplicação em veículos eléctricos. Os maiores desafios ao seu desenvolvimento e proliferação residem na capacidade de produção, armazenamento e distribuição de hidrogénio. A evolução desta tecnologia tem ainda um longo caminho a percorrer, sendo também incerta a opção futura por esta solução.

2. CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS VH E VE

As alternativas aos veículos convencionais, baseados em MCI, podem ser classificadas do seguinte modo:

- › **Veículos híbridos** – Em termos gerais, um veículo híbrido é caracterizado por incluir dois ou mais sistemas de propulsão. Os mais usuais são os veículos híbridos eléctricos (VH) – combinação de dois sistemas de propulsão: um baseado no MCI, o segundo assente em um ou vários motores eléctricos (ME). Existem várias configurações possíveis para estes veículos: série, paralelo e série-paralelo (esta última com duas variantes);
- › **Veículos eléctricos** (VE) – apenas incluem motores eléctricos. Em termos de fontes

de energia utilizadas há a distinguir as baterias das células de combustível.

2.1. Veículos Híbridos

A concepção de base dos VH assenta na conjugação das vantagens dos veículos convencionais (MCI) e dos VE: elevada autonomia e densidades de energia e potência (MCI); elevados rendimentos e emissões nulas a nível local (VE). Por outro lado, procura-se superar também as limitações de ambos: no caso dos MCI, utilização de grandes quantidades de combustíveis fósseis e emissão de gases de efeito de estufa; para os VE há a referir as autonomias reduzidas, elevados tempos de carregamento do sistema de armazenamento de energia e maior custo inicial [2], [3].

Na utilização de motores eléctricos nos VH há dois objectivos bem vinculados: o primeiro é a optimização do rendimento do MCI; a recuperação da energia cinética na frenagem do veículo (armazenada nas baterias) é o segundo objectivo. Este apenas é possível pela presença do(s) motor(es) eléctrico(s).

Existem vários modos de funcionamento possíveis, associados às características dos próprios motores [1]:

- › O MCI propuliona integralmente o veículo. Esta situação pode ocorrer quando as baterias estão praticamente descarregadas e a potência disponível no veio do MCI é integralmente necessária para a tracção; estando as baterias à plena carga, um cenário semelhante ocorre no caso da potência de tracção exigida corresponder a um regime de funcionamento óptimo do MCI;
- › Propulsão puramente eléctrica (MCI desligado). Justifica-se para os regimes de funcionamento do MCI com baixos rendimentos (por exemplo, nas baixas velocidades) ou em ambientes onde as limitações de emissões sejam elevadas;
- › Propulsão híbrida (MCI+ME), se no esforço de tracção são exigidas elevadas potências (como em subidas e elevadas acelerações);
- › Frenagem regenerativa, na qual a energia cinética do veículo é recuperada – o motor

funciona agora como gerador – e armazenada nas baterias, podendo ser posteriormente utilizada na tracção do veículo;

- › O MCI efectua o carregamento das baterias, havendo diferentes cenários a considerar: veículo imobilizado ou numa descida sem modos de tracção e frenagem nos sistemas de propulsão;
- › O MCI e o(s) ME(s) – em modo regenerativo –, carregam simultaneamente as baterias do veículo;
- › O MCI propuliona o veículo, bem como efectua o carregamento das baterias;
- › O MCI carrega as baterias e estas alimentam o(s) ME(s).

O elevado número de modos de funcionamento nos veículos híbridos, torna-os muito flexíveis; no entanto, acresce a complexidade do sistema de propulsão, o que implica a necessidade de sistemas complexos de controlo, bem como o desenvolvimento de sistemas de gestão dos fluxos de energia, capazes de optimizarem a eficiência dos modos de funcionamento anteriores.

Em seguida, descrevem-se as três configurações mencionadas para os VH, as quais se distinguem pelo modo como o MCI é inserido no sistema de propulsão eléctrica.

2.1.1. Configuração Série

O MCI apenas acciona um gerador que alimenta o ME de tracção do veículo; o gerador também efectua o carregamento das baterias. Em termos de concepção, trata-se de um VE assistido por um MCI [2] – ver Figura 1 na página seguinte.

Em princípio, podem ser considerados os seguintes modos de funcionamento [1], [2]:

- › Energia de propulsão – baterias: o MCI é desligado, a energia de propulsão provém unicamente das baterias;
- › Energia de propulsão – MCI: a energia de propulsão é somente garantida pelo sistema MCI/gerador; não há qualquer fluxo de energia nas baterias;
- › Energia de propulsão – modo híbrido: a potência de tracção é garantida pelo MCI e pelas baterias;

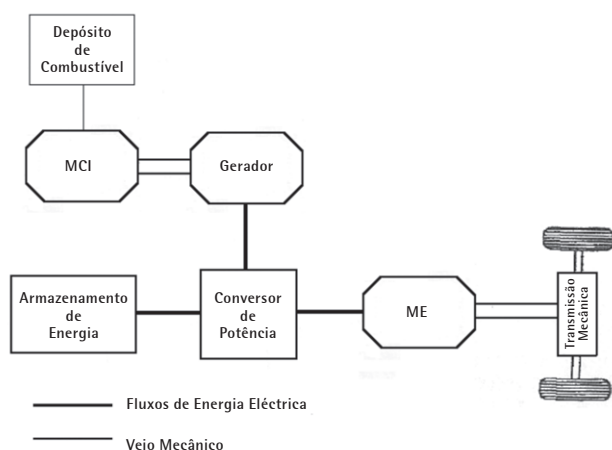


Figura 1 · VH: Configuração Série.

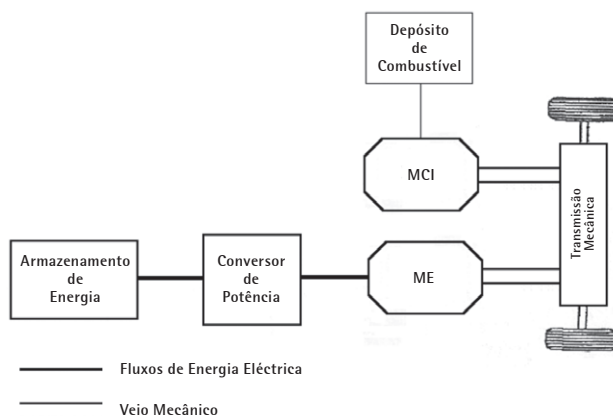


Figura 2 · VH: Configuração Paralela.

- › Energia de propulsão/Carregamento das baterias: o sistema MCI/gerador fornece a energia para propulsionar o veículo e carrega as baterias;
- › Frenagem regenerativa: o MCI é desligado; o ME funciona como gerador, efectuando o carregamento das baterias;
- › Carregamento das baterias: o(s) ME(s) não são alimentados; o sistema MCI/gerador somente carrega as baterias;
- › Carregamento híbrido das baterias: o sistema MCI/gerador e o(s) ME(s) – funcionando como gerador(es) – efectuam o carregamento das baterias.

Não existindo ligação mecânica entre o MCI e o sistema de transmissão de potência, os seus regimes de funcionamento tornam-se mais flexíveis, permitindo otimizar o funcionamento do MCI (referido anteriormente). No entanto, a existência de três máquinas (MCI, gerador e ME) tornam o sistema de propulsão do veículo mais complexo, normalmente mais pesado e com menores rendimentos em relação às outras configurações.

2.1.2 Configuração Paralela

Existe a possibilidade do MCI e do ME fornecerem potência, em paralelo, às rodas de tracção do veículo. Conceptualmente, trata-se de um veículo convencional (MCI) com

assistência eléctrica (MEs) [2]. Desta forma, ambos os motores estão acoplados ao veio de transmissão através de duas embraiagens independentes, pelo que a propulsão pode ser efectuada pelo MCI, pelo ME ou por ambos (Figura 2).

Também aqui a optimização do funcionamento do MCI é conseguida. O motor eléctrico pode funcionar como gerador para carregar as baterias, havendo duas possibilidades:

- › Frenagem regenerativa;
- › No caso da potência mecânica disponível no veio do MCI ser superior ao necessário para o esforço de tracção, o excedente é fornecido ao gerador.

Os modos de funcionamento possíveis são os seguintes:

- › Propulsão ME: o MCI é desligado; o veículo é propulsado apenas pelo ME;
- › Propulsão MCI: o veículo é propulsado apenas pelo MCI (ao contrário do anterior);
- › Propulsão Híbrida: ambos os motores (MCI e ME) contribuem para a propulsão do veículo;
- › Propulsão MCI dividida: uma parte da potência no veio do MCI é usada na propulsão; a outra parte carrega as baterias, o que implica ter o ME a funcionar como gerador;
- › Frenagem simples (apenas regenerativa):

o MCI é desligado; o ME funciona como gerador, efectuando o carregamento das baterias;

- › Frenagem regenerativa e mecânica: ME funciona como gerador; MCI funciona como freio mecânico.

Na configuração paralela há apenas duas máquinas (MCI e ME). Para desempenhos semelhantes é também de referir o uso de MCI e ME de menores potências, relativamente à configuração série.

2.1.3 Configuração Série-Paralela

Esta estrutura integra as características das duas anteriores, procurando assimilar as vantagens de ambas. A Figura 3 apresenta esta configuração.

Em comparação com a estrutura série, há mais uma ligação mecânica ao veio de transmissão; relativamente à estrutura paralela, existe mais uma máquina eléctrica. O acoplamento mecânico das três máquinas pode ser efectuada através da inclusão de um sistema de engrenagens planetário [1], [4]. A Figura 4 ilustra a sua estrutura.

Este sistema tem a vantagem de permitir o funcionamento do MCI num regime de velocidade constante (permitindo a sua optimização): a variação da velocidade no veio

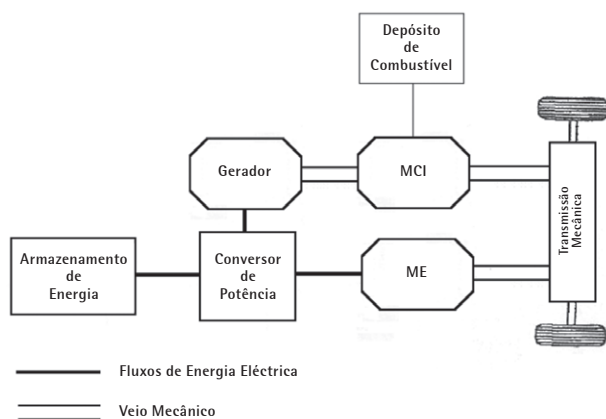


Figura 3 · VH: Configuração Série-Paralela.

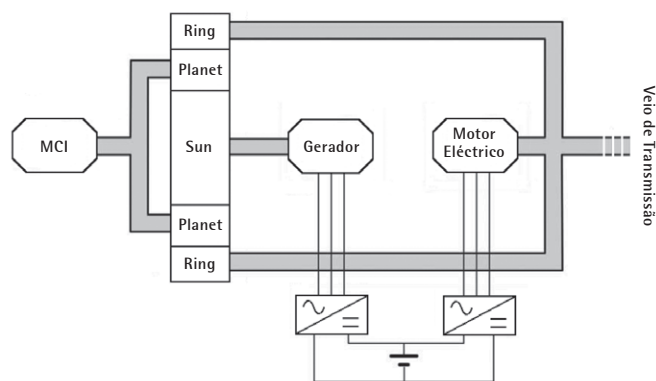


Figura 4 · Sistema de Engrenagens Planetário

de transmissão do veículo é conseguida através da regulação da potência debitada pelo gerador. Trata-se, pois, de um sistema de transmissão variável de potência em modo contínuo, mais concretamente, um *sistema electrónico de transmissão variável*. Comparativamente aos sistemas puramente mecânicos de transmissão contínua, este sistema electrónico é mais simples, fiável e com melhores rendimentos, uma vez que não existem embraiagens, conversores de binário e caixa de engrenagens. Com vista ao aumento do rendimento, fiabilidade e robustez, novas concepções de sistemas electrónicos de transmissão foram desen-

volidas, as quais assentam na eliminação do sistema de engrenagens planetário. Nesse sentido refere-se:

- › Combinação de duas máquinas eléctricas concêntricas [3];
- › Uma única máquina com dois rotores [4], [5].

2.1.4ª Configuração Série-Paralela "Complexa"

A configuração representada na Figura 5 apresenta semelhanças com a estrutura série-paralela (1 MCI e 2 ME). Há, no entanto, uma diferença importante na máquina eléctrica ligada mecanicamente ao MCI: a

possibilidade de fluxo de energia bidireccional, ou seja, o funcionamento como motor ou gerador. O potencial e versatilidade desta estrutura são superiores à configuração série-paralela, pois acrescenta um modo de funcionamento com três motores, o qual não existe naquela configuração. Naturalmente, também o nível de complexidade do(s) sistema(s) de propulsão é grande, o que torna o seu custo mais elevado, juntamente com maiores exigências ao nível do controlo do veículo, bem como do sistema de gestão de energia. Não obstante, é de referir a opção por esta configuração em algumas das séries mais recentes de VH [1], [2].

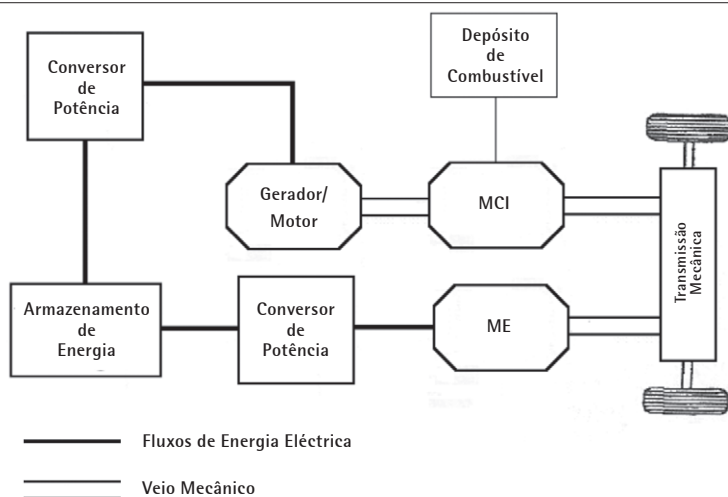


Figura 5 · VH: Configuração Série-Paralela "Complexa".

REFERÊNCIAS

- [1] Ehsani, Mehrdad, Gao, Yimin, E. Gay, Sebastien, Emadi, Ali (2005). "Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles – Fundamentals, Theory and Design", CRC Press;
- [2] Chan, C.C. (2007). "The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles", Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 4, pp. 704-718;
- [3] Chan, C.C. et al. (2010). "Electric, Hybrid and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.59, No2, pp. 589-598;
- [4] K. T. Chau and C. C. Chan (2007). "Emerging energy-efficient technologies for Hybrid Electric Vehicle", Proc. IEEE, vol. 95, no. 4, pp. 821-835;
- [5] Hoeijmakers, Martin J., Ferreira, Jan A. (2006). "The Electric Variable Transmission", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.42, No4, pp. 1092-1100;