

*A participação do Instituto Superior Técnico
no projecto HOST*

Os veículos híbridos, a eficiência energética e o ambiente

Em 2005, o maior fabricante mundial de veículos automóveis com sistema de propulsão híbrida, a Toyota Motor Company anunciou a venda do seu veículo híbrido nº 500.000, menos de 9 anos após o início de produção deste tipo de veículos. No ano transacto a mesma marca vendeu cerca de 130.000 híbridos em todo o mundo, a grande maioria nos EUA. Poderá parecer pouco a quem conhece a dimensão do mercado mundial e da Toyota (7,4 milhões de veículos/ano), mas o facto das vendas de híbridos não pararem de duplicar, ano após ano, desde 2003, contrastando com a estagnação da indústria, dá ao número uma perspectiva bem mais interessante.

Em face do elevado custo do petróleo bruto que se regista nos tempos que correm, poder-se-á perguntar porque não produz a indústria automóvel mais veículos híbridos. Como respostas teríamos que, do lado americano, a grande aposta da última década e meia foi claramente feita em veículos grandes e baratos, os SUV (*Sport Utility Vehicles*). Ao invés de uma aposta num maior aprofundamento tecnológico a indústria americana preferiu o lema "mais quantidade pelo mesmo dinheiro", não sendo de estranhar que ache os veículos

híbridos demasiado caros para um país onde 4 litros de gasolina podem ainda ser adquiridos por 1,75 €. Os europeus, pelo contrário, apostaram na tecnologia diesel encontrando-se melhor apetrechados para resistirem à "invasão híbrida". No entanto, se a actual tendência se mantiver os híbridos, pelas vantagens comparativas que apresentam em muitas utilizações, constituirão a breve trecho, em todos os segmentos de mercado, uma alternativa real e competitiva aos veículos com propulsão convencional. Assim, faz todo o sentido conhecer as suas principais vantagens e inconvenientes.

Veículos híbridos: breve descrição dos componentes e das configurações

Por veículos de propulsão híbrida entendem-se os veículos cujo sistema de propulsão está a cargo de, pelo menos, 2 tipos de motores funcionando com energias de natureza distintas. O mais comum destes sistemas é aquele onde um motor térmico e um motor eléctrico asseguram a propulsão, auxiliados por uma bateria (para armazenamento de energia), por um gerador motor eléctrico (para conversão da energia mecânica em energia eléctrica e vice-versa) e por um elemento de controlo central (para gestão das necessidades de potência).

Quanto às configurações existentes para a integração dos sistemas térmico e eléctrico, temos:

- **Em paralelo** - o motor térmico é o responsável pela propulsão. Um motor eléctrico é utilizado para auxiliar o movimento, aumentando consideravelmente o binário a baixa velocidade. Este motor eléctrico aproveita parte da energia mecânica dispendida na travagem, convertendo-a em energia eléctrica e recarregando

as baterias. Na situação de parado, o motor térmico é desligado para poupar combustível.

- **Em série** - é sempre o motor eléctrico quem assegura a propulsão do veículo, recebendo para isso energia das baterias. Mas, para que o veículo não tenha de ser ligado à corrente, existe a bordo um motor térmico para recarregar as baterias. O motor térmico fica assim liberto do constrangimento de ter de girar à velocidade de rotação imposta pela velocidade do veículo.

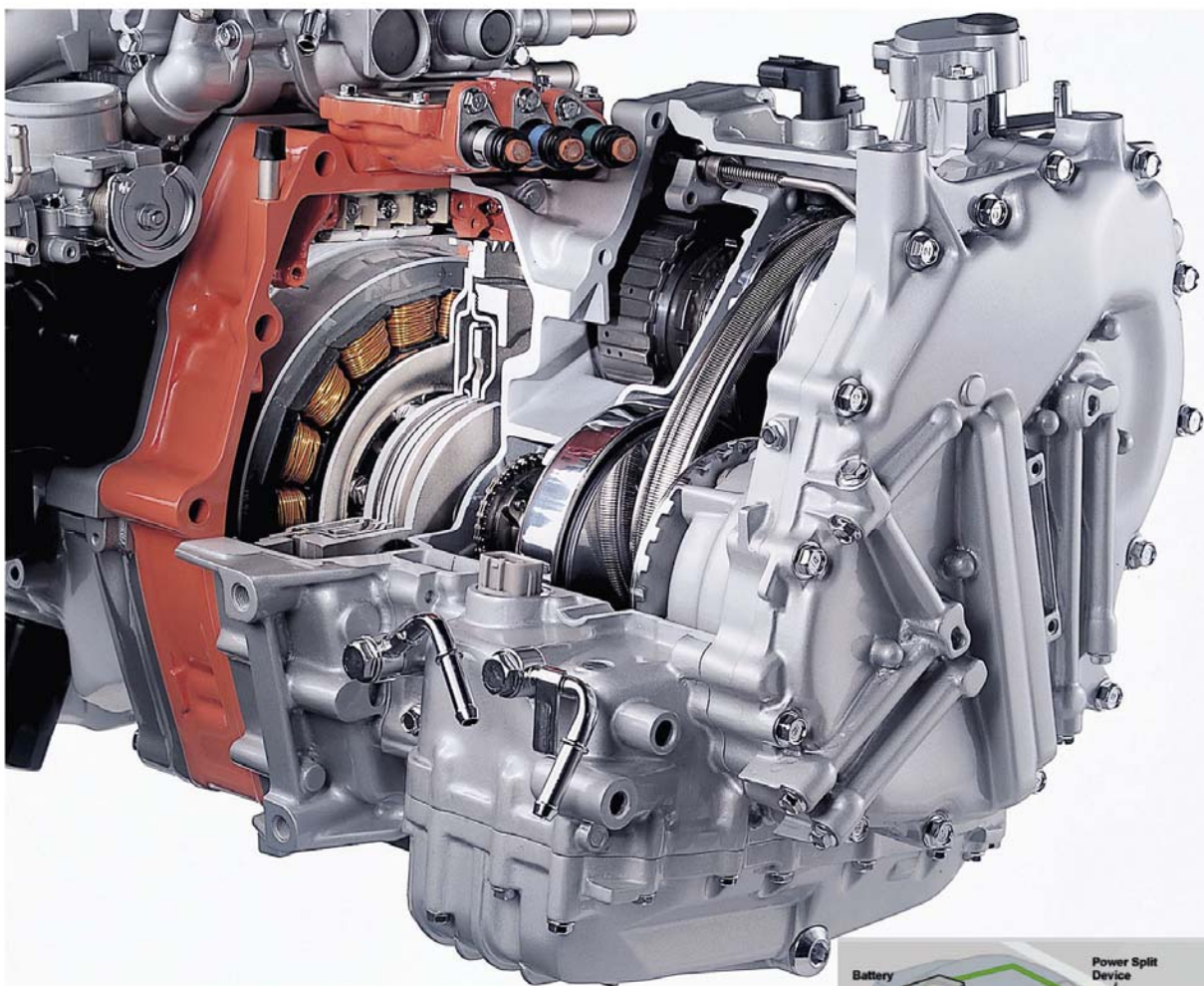
- **Misto: Paralelo-Série** - Qualquer dos motores, térmico ou eléctrico, pode ser o único responsável pela propulsão. Assim, em cada momento, se a pressão no acelerador for pequena, apenas um dos sistemas funcionará: para baixas velocidades o motor eléctrico e para altas velocidades o motor térmico. Quando a pressão no acelerador é grande, os dois motores funcionam em conjunto. O recarregamento das baterias é efectuado em situações onde o motor possui potência de reserva (produzindo potência em excesso) uma vez que a energia aproveitada nas travagens não é suficiente.

As vantagens e as desvantagens dos veículos híbridos

De acordo com a lei de Newton da mecânica clássica, para que o veículo se desloque é necessário aplicar às rodas uma força que vença, não só a força de aceleração, mas também todas as forças de resistência que se opõem ao deslocamento. A potência é, por seu turno, o produto da força pela velocidade de deslocamento, podendo ser, para o caso em questão dividida nas seguintes componentes da resistência:

$$P_{\text{roda}} = P_{\text{rolamento}} + P_{\text{aceleração}} + P_{\text{inclinação}} + P_{\text{aerodinâmica}}$$

Esta equação revela-nos que, a cada se-



Honda Motor Company

gundo que conduzimos, precisamos de potência para vencer 4 resistências, a saber:

- A 1ª é a componente de rolamento que depende do coeficiente de atrito entre o pneu e a superfície onde este está a andar. Quanto maior for o atrito entre o pneu e a superfície mais controlável o veículo será, mas maior será também a potência necessária para o movimento nessa superfície. Pelo contrário, quando o pneu contacta uma superfície com pouco atrito (ex: gelo) a resistência ao rolamento é pequena, sendo o veículo muito difícil de controlar devido à ausência de atrito.

- A 2ª componente depende da aceleração que pretendemos imprimir ao veículo. Logicamente quanto maior a aceleração pretendida, maior a potência necessária, correspondendo uma travagem a uma necessidade de potência negativa.

- A 3ª componente reflecte a existência de um declive, dependendo da inclinação do mesmo (positiva se estivermos a subir e negativa se estivermos a descer).

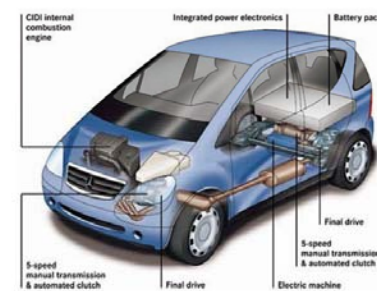
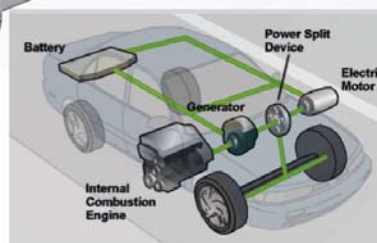
Estas 3 primeiras componentes dependem ainda do peso e da velocidade do veículo.

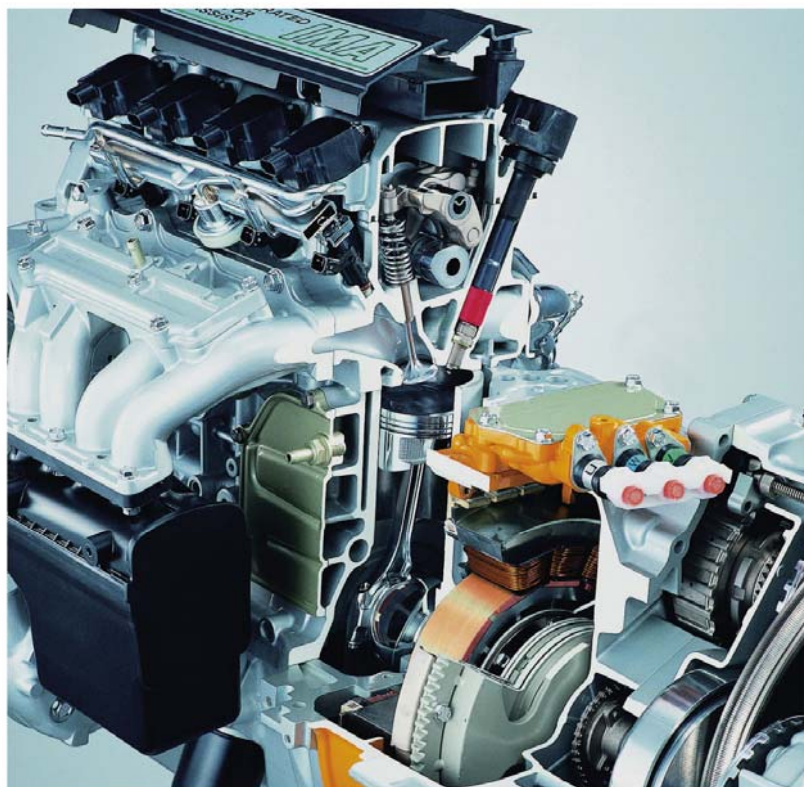
- A 4ª componente, depende do coeficiente aerodinâmico, das características do ar e da velocidade do veículo elevada ao cubo.

Assim, a velocidade influencia todas as componentes (no caso aerodinâmico, é determinante!), enquanto o peso determina apenas as 3 primeiras.

Para termos uma ideia mais clara destas grandezas, atentemos nos dois seguintes exemplos: imagine-se um veículo familiar (1.300Kg de peso, $SCX = 0,65$) que circula em auto-estrada plana a uma velocidade constante de 90Km/h. Neste caso as componentes de aceleração e declive são obviamente zero, pois a velocidade é constante e o declive é nulo. As duas únicas componentes diferentes de zero são a aerodinâmica e o rolamento. Para esta velocidade, 14 cv é o necessário para vencer ambas as resistências, 60% dos quais para a aerodinâmica, o restante para o rolamento. Imaginemos agora a mesma situação a 150 km/h: as necessidades totais de potência passam a ser de 48 cv, 80% das quais para a resistência aerodinâmica.

Podemos então dizer que, em condução





Honda Motor Company

extra-urbana, só a resistência aerodinâmica e a resistência de rolamento influenciam as necessidades de potência. Uma vez que a hibridação do propulsor não melhora as propriedades aerodinâmicas do veículo, não reduz o atrito entre os pneus e o chão, nem diminui o peso do mesmo, não há nenhuma razão para que, nesta situação, um veículo híbrido necessite de menos potência para se movimentar em circuito extra-urbano, do que necessita um veículo convencional. Deverá mesmo necessitar de mais, devido ao peso adicional dos componentes eléctricos necessários.

Assim, e não existindo diferença do lado das necessidades de potência, só poderíamos esperar melhorias na eficiência do motor. Para que isso acontecesse teríamos de utilizar, neste circuito extra-urbano, o motor eléctrico, esperando que a sua eficiência fosse superior à do motor térmico. Mesmo que isto seja o caso, esta utilização nunca seria expressiva. Para perceber porquê atente-se no seguinte exemplo: a uma velocidade de 150km/h, se o motor eléctrico estiver a fornecer metade da potência necessária (cerca de 24cv), gastaríamos os cerca de 4-5KWh de energia que, no máximo, as baterias de um híbrido armazenam, em aproximadamente 17 minutos. Isto é, só nos primeiros 17 minutos poderíamos estar a aproveitar a componente eléctrica passando, a partir daí, novamente ao motor térmico. Sendo o motor eléctrico pouco adaptado à utili-

zação em circuito extra-urbano, não há vantagens significativas de um veículo híbrido, face a um veículo convencional equipado com um moderno motor térmico, neste tipo de utilização; pelo contrário, o maior peso, o maior custo e a complexidade adicional são, em circuitos extra-urbanos, obstáculos de monta.

O mesmo já não se passa em circuito urbano. Aqui, a componente de aceleração é responsável pela grande maioria das necessidades de potência. Por exemplo, numa aceleração dos 0 aos 60km/h no veículo dos exemplos anteriores, executada em 6 segundos, mais de 90% da potência vai para a aceleração. Do lado da potência necessária, temos assim uma alteração das componentes primordiais: deixamos de ter importantes componentes aerodinâmicas e passamos a ter importantes componentes de aceleração. Mas, o facto de acelerarmos normalmente para velocidades superiores aquelas que conseguimos manter, faz com que as frequentes acelerações sejam curtas e seguidas prontamente de períodos de travagem, pelo que os motores eléctricos são suficientes para serem responsáveis quase exclusivos pelo movimento. Isto porque, se devido às fortes acelerações necessitamos de muita potência, o curto espaço de tempo durante o qual aceleramos garante que o tempo durante o qual necessitamos de muita potência é curto. Assim os dispêndios de energia (energia = potência x

tempo) não são tão significativos quanto se poderia esperar. Num motor térmico temos uma eficiência de cerca de 30% em aceleração, mas quando parado ou em travagem temos uma eficiência nula. É aqui que o híbrido apresenta argumentos fortes: mesmo que a sua eficiência em aceleração seja ligeiramente inferior, ele consegue anular os períodos de eficiência nula do veículo convencional, pois, num híbrido o motor térmico é desligado em situações de travagem e quando o veículo se encontra parado, evitando um gasto inútil de combustível. Adicionalmente, em travagens, o motor eléctrico do híbrido recuperará parte da energia desperdiçada. Assim, para um híbrido, a eficiência de ciclo num congestionamento é igual à eficiência das acelerações necessárias, ligeiramente melhorada pela existência de travagem regenerativa, ou seja, não estará muito longe dos 20-25%. Já para o veículo convencional - admitindo que passamos tanto tempo parados ou a travar quanto aquele que passamos em movimento - mesmo com eficiências na casa dos 30% quando em movimento, a eficiência global do ciclo rondará os 15%. Assim se pode perceber que, em cidade, a utilização de um propulsor híbrido pode reduzir, quase para metade, o consumo de combustível face a um veículo convencional de combustível idêntico. Esta vantagem será tanto maior quanto maior for a densidade de trânsito e/ou quanto mais agressivo for o estilo de condução.

O Projecto HOST: enquadramento

Do que ficou dito facilmente se conclui que a comparação de um propulsor híbrido com um térmico convencional deve ter em conta o circuito de condução. Na verdade, a necessidade de produção em massa obriga a indústria automóvel a projectar os veículos com propulsores capazes de satisfazer qualquer tipo de circuito. Quando de facto, seria desejável que os veículos estivessem equipados com propulsores optimizados para o desempenho da missão a que se destinam, sendo que esta inclui o circuito de condução. Este novo paradigma de projecto seria orientado para o desempenho da missão (*Mission Oriented Design*). Para além disso, ficou também claro que é em ambiente urbano que os maiores desafios se colocam à optimização do propulsor. Neste contexto, poderíamos ter ido mais longe na análise e mostrado que o motor eléctrico alimentado a baterias carregadas a partir da rede (*plug-in*) é o mais indicado para veículos urbanos de pequenas dimensões, utilizados em missões curtas a baixas velocidades.

Existem hoje veículos deste tipo que apresentam características únicas para a utilização urbana e que representam em muitas cidades novos conceitos de mobilidade urbana sustentável. Este é, no entanto, um domínio de aplicação com especificidades diferentes das consideradas no presente artigo. Aqui pretendemos prever o papel que a hibridação poderá desempenhar no futuro da motorização automóvel.

É neste contexto que está em curso, no Centro de Estudos em Inovação, Tecnologia e Políticas de Desenvolvimento (IN+) do Instituto Superior Técnico, um projecto financiado pela Comunidade Europeia, com vista ao desenvolvimento de um meio de transporte inovador, adequado ao transporte urbano de pessoas e de mercadorias. O projecto está a ser desenvolvido por um consórcio europeu que inclui três Universidades (Universidade de Roma "La Sapienza", Royal Institute of Technology of Stockholm e Instituto Superior Técnico) e vários parceiros industriais, entre os quais a Stile Bertone S.p.a. em Itália e a Volvo. Trata-se de um veículo movido por um sistema híbrido com configuração em série. A tracção é feita por motores eléctricos independentes colocados em cada uma das 4 rodas, o que garante ao veículo a capacidade de ser AWD (*All Wheel Drive*). A juntar às melhores

características de tracção devidas a este sistema temos ainda a possibilidade, graças a um inovador sistema de direcção sem ligação mecânica, de o veículo possuir direcção nas 4 rodas, o que lhe confere características adequadas ao desempenho de missões em locais de difícil acesso. Os motores eléctricos serão alimentados directamente a partir de baterias como acontece em qualquer configuração híbrida. A fonte de energia a bordo, será, no curto prazo, um motor Diesel de tecnologia recente que, devido à hibridação, se encontra ligado a um gerador eléctrico.

A plataforma será modular e alojará todos os componentes, para os quais serão adoptadas soluções "drive-by-wire", a serem desenvolvidas pela empresa francesa Robosoft. Um sistema de apoio mecânico desenvolvido pela empresa austríaca *Cargo Technologies* permitirá a montagem/desmontagem rápida de qualquer tipo de cabine, conferindo ao veículo o melhor desempenho nas diversas missões. Simultaneamente, a Stile Bertone S. P. A. estudará diferentes tipos de cabine, incluindo cabines de carga que alojarão os mais avançados sistemas para a transferência fácil, rápida e semi-automática de paletes do espaço de carga.

Contudo, a grande inovação é que este veículo será desenhado para funcionar 24 horas

por dia em áreas urbanas, fazendo uso de dois conceitos: flexibilidade e modularidade. Ambos reflectem a actividade humana numa área urbana e impõem ao desenho do veículo uma tipologia intermutável que o tornam adequado ao desempenho de várias missões diferentes. A possibilidade de facilmente variar as dimensões da plataforma permite equipar o veículo com os mais diversos tipos de carroçaria, permitindo assim fornecer novos serviços para a mobilidade e para o transporte de mercadorias dentro das cidades.

O Projecto HOST: desenvolvimento actual

Pretende-se aplicar o conceito HOST ("Human Oriented Sustainable Transport", ou sistema de mobilidade orientado para a satisfação das necessidades humanas) à realidade de três ambientes urbanos Europeus em parceria com as respectivas entidades municipais: Roma, Estocolmo e Oeiras. Para a demonstração do projecto foram seleccionadas quatro missões que o veículo HOST deverá ser capaz de cumprir:

1. Transporte de pessoas (tipo táxi colectivo), com capacidades típicas de mini-autocarro;

2. Transporte de mercadorias médio (peso bruto máximo de cerca de 6000Kg), vo-

pub

cacionado para o transporte de mercadorias dos grandes mercados abastecedores da periferia para o interior da cidade;

3. Recolha de Lixo (peso bruto máximo de cerca de 6000Kg);

4. Função de "Car Sharing", ou seja carro de aluguer partilhado, alternativo ao táxi;

Estas missões incluem três serviços actualmente disponibilizados pela Câmara Municipal de Oeiras: um transporte de pessoas idosas em mini-autocarro na região de Algés (Algés-de-lés-a-lés), um transporte de pessoas portadoras de deficiência em mini-autocarro adaptado e o transporte de monos e lixos volumosos em veículos de caixa aberta. Trata-se de serviços que o veículo HOST deverá poder satisfazer funcionando ininterruptamente 24 horas, fazendo uso da capacidade de troca de carroçaria em poucos minutos e também do facto de não necessitar de parar, por períodos prolongados, para efeitos de reabastecimento. A facilidade para trocar de carroçaria é assegurada pela tecnologia eléctrica (*drive-by-wire*) dos sistemas de comando do veículo; a capacidade para não efectuar paragens prolongadas para reabastecimento é garantida pela produção de energia a bordo, a qual é assegurada pelo grupo gerador - motor de combustão. Uma vez que veículo é directamente movido pelos 4 motores eléctricos instalados em cada uma das rodas, o motor de combustão será optimizado para funcionar continuamente a velocidade de rotação constante, de acordo com a potência média necessária ao longo dos ciclos de condução a cumprir; as baterias acumulam energia, energia essa que é necessária para os picos de potência (como por exemplo as acelerações). Uma vantagem desta tipologia é a possibilidade de utilizar diferentes tamanhos de bateria, dependendo do circuito de condução a cumprir.

À equipa do Instituto Superior Técnico cabe a selecção, optimização e montagem do motor de combustão interna a sua integração na configuração híbrida, enquanto que à Universidade de Roma cabe a selecção do motor eléctrico, gerador e baterias. Para o dimensionamento do sistema de propulsão do HOST foi levado a cabo um rigoroso levantamento das necessidades de utilização nas três cidades. Este trabalho incluiu uma análise qualitativa das necessidades do utilizador baseada em inquéritos efectuados junto de responsáveis, condutores e consumidores finais; assim como a caracterização quantitativa dos ciclos de condução em termos de velocidade e declive instantâneos, efectuada a bordo dos veículos que actualmente cumprem os serviços. Aquelas duas medidas

permitem determinar, a partir de modelos físico-matemáticos apropriados, os valores instantâneos das quatro componentes da resistência referidas na equação da potência atrás apresentada; a potência total a debitar pelo propulsor é a soma das quatro componentes. Particularmente importante para o dimensionamento do grupo propulsor é a potência média ao longo de cada ciclo de condução, assim como a potência máxima de tracção e a potência máxima de travagem. Para o dimensionamento das baterias é necessário ainda calcular a energia mínima necessária em cada circuito.

A integração e análise dos resultados obtidos nas três cidades (Roma, Oeiras e Estocolmo), juntamente com uma análise de benchmarking, permitiu construir as especificações iniciais do veículo. Como resultado desta análise, foram obtidos os seguintes valores como valores de partida para o dimensionamento:

- Motor térmico capaz de fornecer entre 3 e 14KW, de preferência a regime constante;
- Quatro motores eléctricos com 16KW cada um;
- Baterias com até 3KWh de energia armazenada;
- Gerador com cerca de 15-20KW de potência e velocidade de rotação a designar;
- Transmissão, com duas relações: uma longa (até 120km/h) para a missão de car-sharing e uma curta (até 80km/h) para todas as restantes missões

É de notar que a potência média necessária para cumprir os diversos ciclos, a qual é bastante inferior à potência média dos motores de combustão que actualmente são utilizados. Isto permite a configuração híbrida em série a utilização de motores de combustão mais pequenos, por estes terem apenas de fornecer as necessidades médias de potência. Adicionalmente, a possibilidade de controlar o motor de combustão para funcionar a carga constante, permite obter rendimentos globais superiores.

O Projecto HOST: presente e futuro

Em face dos objectivos para a emissão de poluentes (EU 4) e uma tão reduzida quanto possível emissão de CO₂, foi seleccionado para equipar o HOST, o motor 0.8CDi que equipa o Smart Fortwo. Este bloco é capaz de oferecer uma potência máxima de 31KW (40cv) mas, mais importante, fornece entre 4,5 e 18KW às 1750rpm. Este motor deverá ser optimizado para funcionar a velocidade de rotação constante, o que incluirá tarefas como a adaptação do motor a um regime de funcio-

namento quasi-estacionário, a reformulação dos sistemas de refrigeração, de admissão de ar e de escape, assim como, provavelmente, a troca do volante de inércia. A optimização do motor térmico deverá estar concluída em Abril de 2006.

Simultaneamente, a Volvo está a desenvolver um motor experimental que se pretende venha a substituir, no médio prazo, o actual grupo propulsor. Trata-se de um sistema designado por FPEC, sistema este que converte directamente o movimento linear de dois êmbolos opostos em electricidade. A combustão ocorre em oposição de fase nas duas câmaras opostas segundo o princípio HCCI, uma tecnologia que associa o processo de ignição por compressão dos motores diesel, à combustão da gasolina em regime pobre, prometendo cumprir as futuras normas europeias de emissões com baixos custos e eficiências próximas dos melhores diesel actuais. Este tipo de motorização traria para o projecto uma nova vertente de modularidade pois, cada um destes módulos FPEC não necessita de produzir o total de potência necessitado pelo HOST, podendo apenas produzir uma fracção do mesmo, sendo montados tantos módulos quantos necessários em cada uma das missões. Num futuro ainda mais longínquo este motor FPEC será substituído por uma Fuel Cell, que manterá o benefício da modularidade.

Em Conclusão:

Um propulsor híbrido apresenta sérias vantagens em circuito citadino, precisamente onde os problemas de poluição são mais importantes. Mais, o híbrido comportar-se-á tanto melhor, em termos comparativos, quanto maior a intensidade de tráfego, constituindo uma alternativa impossível de ignorar para todos os automobilistas que conduzam em cidade frequentemente.

Os veículos híbridos são a mais promissora de todas as novas tecnologias que nos últimos 10 anos emergiram na indústria automóvel, no que respeita à propulsão. O facto de poderem ser adaptados a motores térmicos a diesel ou a gasolina garante-lhes um "lugar ao sol" tanto na Europa como nos EUA. A "revolução dos híbridos" como é já designada, não chegou ainda à fase de maturidade (não é ainda perceptível a existência de uma plataforma tecnológica para a qual toda a indústria esteja a convergir), pelo que, o papel das universidades, onde a investigação assume papel importante, se prevê fundamental.

António Moreira, Professor Auxiliar do IST
e Coordenador do projecto e Nuno Fernandes,
Engenheiro Mecânico e Investigador do IN+ / IST