

Energias Alternativas para Sistemas Automóveis

1010665 Tiago Baptista, 1010903 Sérgio Carvalho

Sistemas Automóveis 2006-2007

1010665@isep.ipp.pt, 1010903@isep.ipp.pt

Resumo

O Homem consome cada vez mais bens materiais e este consumo exige muito da Natureza. Os consumos mundiais não têm parado de aumentar devido ao desenvolvimento industrial, à expansão de transportes e ao crescimento demográfico, e são os recursos energéticos não renováveis e renováveis que nos fornecem energia para tais actividades. Devido a estes consumos mundiais o recurso a energias não renováveis tais como o petróleo por ser uma energia mais barata sendo assim rentável explorá-la, está a esgotar-se, e como alternativa temos energias renováveis e outras energias mais limpas, visto o ambiente estar agora a ser observado como um Bem a proteger.

Como energias alternativas temos: a energia nuclear, energia geotérmica, energia solar, energia magnética, energia hídrica, energia de ondas, energia de marés, energia eólica, energia biomassa, óleos vegetais (biodiesel, etanol, metanol) e hidrogénio.

O objectivo deste trabalho é dar a conhecer as energias alternativas no mundo dos transportes, então para o tal só vamos falar das energias alternativas ao petróleo, que têm sofrido evolução e que se tornem mesmo realidade e como uma verdadeira alternativa.

1. Introdução

Estudos mostram que os carros convencionais de combustão têm um rendimento de aproximadamente 35%, os carros eléctricos são mais limpos e têm rendimentos de 50% e tendo a vantagem de reabastecimento ser barato e cómodo sendo até possível ligar à rede nacional eléctrica.

Mas muitas das tecnologias dos carros eléctricos já se estão a preparar para o futuro e partilham já o desenvolvimento de hoje. Os fabricantes de automóveis estão a desenvolver novas linhas de produtos que incorporam verdadeiras alternativas aos meios actualmente existentes.

O objectivo desses fabricantes é adoptar a tecnologia de células de combustível (*Figura 3*) para todas as exigências de energia do veículo. Contudo, as células de combustível provavelmente não estarão prontas para a

produção em massa, pelo menos, durante a próxima década. Isto deve-se ao facto que, enquanto as células de combustível são uma tecnologia prometedora, elas também têm múltiplas desvantagens que devem ser resolvidos antes que se possam tornar realmente viáveis.

Por exemplo, o tipo mais comum de célula de combustível que é considerada para a indústria automóvel é uma tecnologia baseada em hidrogénio/oxigénio que usa o hidrogénio para combustível e oxigénio da atmosfera para criar a electricidade. Embora essas células de combustível sejam eficientes e bastante dinâmicas para o uso automóvel, não há nenhuma infra-estrutura existente para a entrega de hidrogénio, nem o hidrogénio é fácil de tratar de forma segura.

Além disso, os tanques de hidrogénio tendem a ser grandes em volume e devem ser bastante fortes para resistir pressões de armazenamento muito altas para evitar acidentes. Além disso, quando ajustado para entregar altas cargas de potência, como os necessários para arranque do motor e aceleração, as células de combustível devem ficar maiores e assim, mais caras.

Possivelmente a alternativa de curto prazo, mais prometedora, é o Veículo Eléctrico Híbrido (HEV) (*Figura 1*).

Automotive Power Train Solutions

EV and HEV power trains:

Ultracapacitors are placed in parallel with primary power source to handle peak loads and capture braking energy

Ultracapacitors can replace batteries as secondary energy with internal combustion engine systems

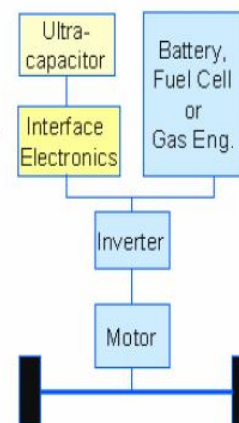
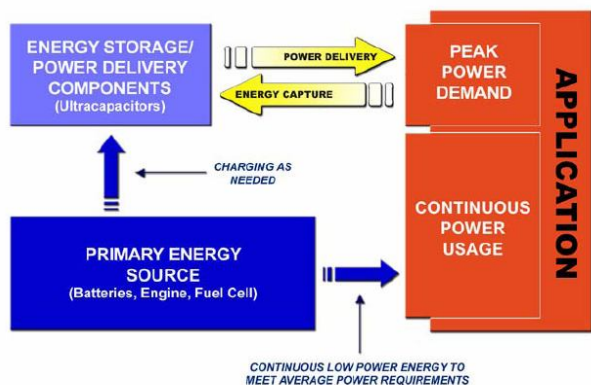


Figura 1. Estrutura de Veículo Eléctrico Híbrido

É projectado com um motor de combustão que funciona como a fonte de potência primária, e um sistema de armazenamento de potência eléctrica que funciona como a fonte de potência secundária.

A fonte secundária trata das exigências de potência necessária para a aceleração. Além do mais, a fonte secundária é usada para capturar a energia regenerativa da travagem e aplicar aquela energia numa nova aceleração ou nas necessidades de energia básicas dos sistemas eléctricos suplementares (Figura 2).



The diagram above is a pictorial view of the system where the energy storage system is the fuel cell, the electric drive and subsystems are the application load, and the ultracapacitor is the secondary energy and power buffer.

Figura 2. Diagrama dos fluxos energéticos de um Veículo Eléctrico

O armazenamento de energia em veículos híbridos é um problema sério. A solução tradicional é baseada na utilização de acumuladores químicos (cádmio-níquel, Ni-MH, etc.). Actualmente um condensador de alta capacidade (ultracondensador) parece ser a solução mais conveniente devido à sua densidade de volume de energia e alta dinâmica em carga e descarga. Os ultracondensadores (Figura 8) são convenientes durante as modificações rápidas da velocidade do carro. A energia acumulada nos ultracondensadores é disponibilizada para a aceleração do carro.

2. Células de Combustível

As células de combustível, também denominadas pilhas de combustível, têm enorme destaque entre as diferentes opções tecnológicas para geração de energia eléctrica de forma mais sustentável. Estas são equipamentos capazes de converter a energia química de certos combustíveis, em energia eléctrica, sem a necessidade de combustão, com maior eficiência e menores emissões de poluentes que os equipamentos actuais.

O melhor combustível para pilhas parece ser o hidrogénio, que pode ser produzido por uma variedade de recursos fósseis (carvão, petróleo e gás natural), renováveis (biomassa), e a partir de electricidade, por electrólise da água, usando energias renováveis (como eólica, foto voltaica, hidráulica, geotérmica, a energia nuclear, entre outras).

Alguns especialistas chegam a prever que as células a combustível representarão para o século XXI o que o computador representou para o século XX. Os governos de diversos países também estão apostando em várias transições, mas com maior importância no hidrogénio e células a combustível.

Os países que conseguirem importantes conquistas nesta área, mais rapidamente eles assumirão posição de predominância e terão, assim, a vantagem de usufruir do enorme retorno económico associado.

Uma das aplicações de células a combustível é de, futuramente, estarem inseridas nos sistemas para produção de energia eléctrica de 5 kW a 200 kW para atender especialmente os casos de cargas essenciais, isto é, consumidores que necessitam de energia eléctrica com alto grau de confiabilidade.



Figura 3. Exemplo de uma célula de combustível

2.1. Aplicações

As células a combustível podem ser aplicadas para a geração estacionária de energia eléctrica para uso residencial, comercial e industrial, para a geração de energia nos meios de transporte em substituição ao motor de combustão interna, em camiões, automóveis, comboios, navios e aviões, para a alimentação de equipamentos electrónicos em substituição às baterias, nos telemóveis, computadores, calculadoras, entre outros. As células a combustível constituem uma rota tecnológica que está ainda em evolução. As companhias mais importantes de energia e multinacionais relacionadas com a fabricação de veículos estão apostando em muitas opções, incluindo as células a combustível.

2.2. Princípio de funcionamento genérico

A célula de combustível é uma tecnologia de conversão da energia química em energia eléctrica, que utiliza, entre outros combustíveis, o hidrogénio. O princípio da célula de combustível baseia-se no processo electroquímico que combina directamente o hidrogénio com o oxigénio do ar, a uma temperatura da ordem dos 100 a 400°C, produzindo electricidade e vapor de água.

Para além de ser um processo de produção de electricidade livre da emissão de elementos poluentes, as pilhas de combustível são silenciosas e podem alcançar eficiências duas a três vezes superiores às dos motores de combustão interna. A estrutura modular das pilhas de combustível permite uma maior adaptação a diferentes aplicações, desde as portáteis (50-100 W) até à produção centralizada de electricidade (1-200 MW).

2.3. Princípio de funcionamento explicado

Célula a Combustível (Fuel Cell) [1] é uma tecnologia que utiliza a combinação química entre oxigénio e hidrogénio para gerar energia eléctrica, energia térmica (calor) e água. Além das várias tecnologias existentes para combinar esses dois elementos, existem várias fontes de hidrogénio, tais como a gasolina, o gás natural, o óleo diesel, o etanol (álcool), o metanol, o lixo urbano e rural, a água, entre outros, onde se pode extrair e utilizar o hidrogénio para reagir com o oxigénio do ar.

As diferentes tecnologias de célula a combustível têm basicamente o mesmo princípio. São compostas por dois eléctrodos porosos: o ânodo (terminal negativo) e o cátodo (terminal positivo), cada um revestido num dos lados por uma camada de catalisador de platina ou níquel, e separados por um electrólito (material impermeável) que permite o movimento dos íões positivos (protões) entre os eléctrodos.

Ânodo

O terminal negativo tem canais de fluxo que distribuem o gás hidrogénio sobre a superfície do catalisador.

Catalisador

Uma fina camada de catalisador cobre o electrólito ou membrana. O catalisador é um metal, normalmente platina ou níquel, que acelera as reacções químicas entre o oxigénio e o hidrogénio.

Membrana ou Electrólito

Algumas células utilizam electrólitos líquidos e outras sólidas, como as membranas plásticas de troca de protões. Somente as cargas positivas atravessam o electrólito, os electrões não.

Cátodo

Terminal positivo tem canais de fluxo que distribuem o gás hidrogénio sobre a superfície do catalisador, e remove a água produzida durante a reacção.

2.4. Reacções químicas

Dentro da célula a combustível, o gás de hidrogénio pressurizado é bombeado para o terminal negativo, o ânodo. O gás é forçado a atravessar o catalisador.

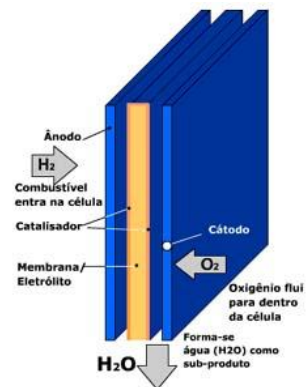


Figura 4. Composição de célula de combustível

Quando a molécula de hidrogénio entra em contacto com o catalisador, ela separa-se em dois íões de hidrogénio (H^+) e dois electrões (e^-).

Os electrões (e^-) são conduzidos através do ânodo, contornando o electrólito até atingirem o circuito externo, onde acendem uma lâmpada ou motor eléctrico, e retornam para o terminal positivo, o cátodo.

Reacção Química:

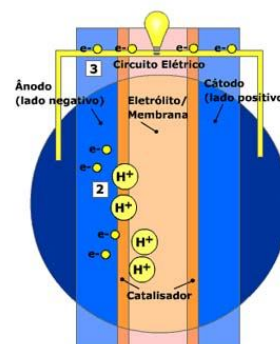
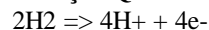


Figura 5. Movimento dos electrões

O oxigénio (O₂), retirado do ar, entra na célula a combustível pelo terminal positivo, o cátodo. O gás é forçado a se dispersar no catalisador.

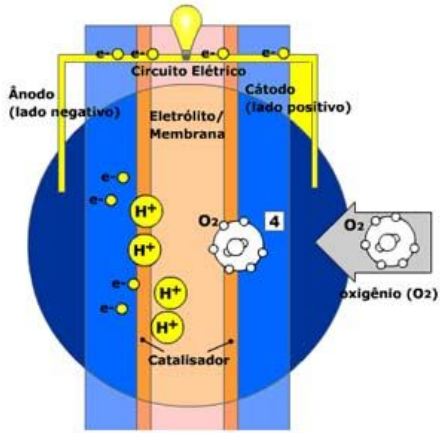


Figura 6. Decomposição da molécula de oxigénio

O catalisador separa a molécula de oxigénio em dois átomos de oxigénio.

Cada átomo de oxigénio atrai dois íões H⁺ através do eletrólito.

Estes dois íões H⁺ combinam com o átomo de oxigénio e dois electrões provenientes do circuito externo, para formar a molécula de água (H₂O). Nesta reacção, uma certa quantidade de calor é liberada.

Reacção Química:

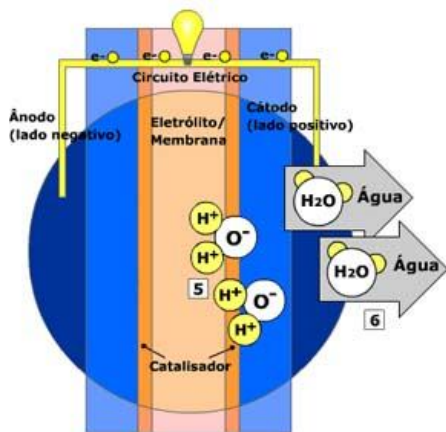
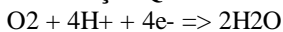


Figura 7. Resultado da combinação H⁺ e O⁻

2.5. Que tipos de células de Hidrogénio existem e a comparação entre elas

Neste momento existem, pelo menos, 5 tipos diferentes de células de combustível:

- Células de combustível com membrana de permuta protónica
- Células de combustível alcalinas
- Células de combustível ácido fosfórico
- Células de combustível de carbonato fundido
- Células de combustível de óxido sólido

Na tabela em anexo, faz uma comparação de todas as células.

2.6. A importância da escolha do eletrólito

A selecção do eletrólito é de extrema importância, visto que este deve permitir somente a transferência de íões do ânodo para o cátodo, ou vice-versa. Se os electrões ou outras substâncias se transferirem através do eletrólito do ânodo para o cátodo, ou vice-versa, a performance global da célula de combustível fica seriamente afectada.

Por sua vez, de maneira a obter-se o funcionamento mais eficiente possível de uma célula de combustível, os eléctrodos devem ter elevadas áreas de contacto e o eletrólito deve ter uma espessura reduzida. Um eletrólito comum nas células de combustível é um ácido, com íões H⁺ móveis.

3. Problemas das células de hidrogénio

As pilhas de combustível têm contudo uma produção relativamente dispendiosa, quando comparada com os motores de combustão interna. Necessitará de desenvolvimentos futuros para incrementar a sua durabilidade e baixar os custos de produção, a fim de se tornarem economicamente competitivas. Alguns desses problemas são:

3.1 Armazenamento e produção

Se o primeiro desafio da tecnologia do hidrogénio é a sua produção, o segundo é como armazená-lo. Um dos principais obstáculos para o estabelecimento da infraestrutura para a tecnologia do hidrogénio. Além da questão de segurança, a capacidade de armazenamento é importante, pois define a autonomia dos veículos.

O mesmo se aplica para as aplicações portáteis, estacionárias e espaciais. O hidrogénio tem a menor

densidade no estado gasoso e o segundo ponto de ebulição de todas as substâncias conhecidas, fazendo com que se tenha dificuldades para armazená-lo no estado gasoso ou líquido.

Quando em forma de gás, necessita de um sistema de armazenamento de grande volume e pressão, e quando no estado líquido, precisa que o seu armazenamento utilize sistemas criogénicos, ou seja, em baixíssima temperatura (-253°C).

As cinco principais formas de se armazenar hidrogénio são:

- Reservatórios de Gás Hidrogénio Comprimido
- Reservatórios para Hidrogénio Líquido
- Hidratos Metálicos
- Absorção de Carbono
- Micro-esferas

3.2 Tensão

Células unitárias apresentam um potencial, em aberto, de 1 a 1,2V e em carga de 0,5 a 0,7V DC. Estes valores são, sob o ponto de vista prático, muito baixos. É necessário colocar em série, várias unidades de células (200 a 300), a fim de se obter potenciais práticos da ordem de 150 a 200 V.

3.3 Arrefecimento

Da reação química das células, surge uma enorme quantidade de calor, o que não é muito útil, mas para tentar arrefecer, temos de ter especial atenção, além de não ser fácil tecnicamente porque as células de combustível são formadas por muitas ligadas em série o que poderia aumentar o tamanho destas, também porque a célula alimenta-se de hidrogénio e oxigénio, arrefecê-los iria degradar o seu desempenho. Além do calor libertado, também liberta água, e esta tem de ser evaporada para não degradar o seu funcionamento e esta evaporação tem de ser eficiente, quanto mais água surgir das reações químicas mais tem-se de evaporar.

3.4 Transporte

A forma de transporte mais económica do hidrogénio depende da quantidade transportada e da distância. Para pequenas distâncias e pequenas quantidades, os camiões que transportam hidrogénio comprimido são os mais convenientes. Os principais factores no custo do transporte de hidrogénio comprimido em camiões são os custos de capital dos camiões e dos seus contentores e os custos dos combustíveis. Os camiões de hidrogénio comprimido possuem baixo investimento de capital para pequenas quantidades de hidrogénio, mas não apresentam economia de escala conforme a quantidade de hidrogénio aumenta. O custo do transporte aumenta linearmente com a distância

O transporte do hidrogénio pode ser realizado de duas formas:

Na forma líquida: O hidrogénio produzido é liquefeito e transportado em vasos criogénicos por via rodoviária ou ferroviária. Na forma líquida o hidrogénio apresenta uma maior densidade energética, diminuindo os custos do transporte. Por outro lado, o processo de liquefacção do hidrogénio é bastante caro devido à grande quantidade de energia necessária para a sua realização e ao elevado custo dos equipamentos.

Na forma gasosa: O hidrogénio produzido é comprimido e transportado em tanques ou gasodutos.

3.5. Produção de Hidrogénio em grande escala

O hidrogénio pode ser obtido de várias formas, mas ainda assim é necessário recorrer aos combustíveis fósseis para o obter, o que nos deixa sempre dependentes destes combustíveis fósseis que são poluentes e caros.

3.6 Poluição

Estudos realizados até os dias de hoje ainda não certezas sobre qual será o impacto real do excesso de hidrogénio na Terra, mas alguns estudos feitos, os mais pessimistas afirmam que o excesso pode aumentar o buraco do ozono e aí aumentar os problemas que já conhecemos dessa consequência, a combinação de hidrogénio com outros produtos químicos pode provocar alterações no vapor de água criado e criar chuvas ácidas. Os mais optimistas, acreditam na boa adaptação da Terra a esta nova era e o impacto criado será mínimo e sem causar grandes danos no meio ambiente.

3.7 Custos

O preço que se paga por esta tecnologia hoje em dia é muito caro, os governantes, as produtoras investem muitos recursos e dinheiro no estudo e desenvolvimento destas. Como ainda esta alternativa não está totalmente vinculada no mercado, no mundo dos automóveis há soluções com combustíveis fósseis mais baratas e que fornecem mais fiabilidade e potência.

3.8 Evolução

As células de combustível têm sido alvo de enormes evoluções tecnológicas, nos seguintes aspectos: aumento da sua rentabilidade, redução do tamanho da célula, maior autonomia, capacidade de arrancar a temperaturas negativas e um tempo de vida mais longo, mas esta evolução ainda tem de fazer com que estas sejam bem aceites no mercado e que se torne uma alternativa bem vinculada.

4. Ultracondensadores

Os condensadores convencionais fornecem quantidades muito pequenas de energia mas os ultracondensadores oferecem uma combinação única de alta potência e alta energia. Os ultracondensadores são capazes de cargas e descargas muito rápidas, e capazes de funcionar durante um grande número de ciclos sem degradação.

Os ultracondensadores, também conhecidos como condensadores electroquímicos de dupla camada, têm características únicas quando em comparação com outros dispositivos de armazenamento de energia. Os benefícios de usar tecnologia de ultracondensadores são bastante extensos. Num dos pontos seguintes irão ser apresentadas dez razões a considerar na utilização de ultracondensadores.



Figura 8. Exemplos de ultracondensadores

4.1. Histórico

O efeito de ultracondensador foi primeiramente noticiado em 1957 pelos engenheiros da General Electric que experimentavam dispositivos que usavam eléctrodos de carbono poroso [6]. Acreditavam que a energia era armazenada nos poros de carbono e expôs uma "capacidade excepcionalmente alta", embora o mecanismo fosse desconhecido até então.

A General Electric não acompanhou imediatamente este trabalho, e foi a Standard Oil of Ohio que consequentemente desenvolveu a versão moderna dos dispositivos em 1966 depois de redescobrir acidentalmente o efeito enquanto trabalhavam em projectos de células de combustível experimentais [4].

O seu projecto de célula usou duas camadas de carvão vegetal activo separado por um isolador poroso fino, e este desenho mecânico básico permanece, até aos dias de hoje, a base da maior parte dos ultracondensadores.

A Standard Oil também não conseguiu comercializar a sua invenção, autorizando à NEC o uso da tecnologia, que finalmente vendeu os resultados como "supercondensadores" em 1978, para fornecer a alimentação de reserva nas memórias de computadores [4]. O mercado expandiu-se lentamente durante algum tempo, mas em meados dos anos 90 vários avanços na ciência de materiais e desenvolvimento dos sistemas existentes levaram rapidamente a melhoramentos no seu funcionamento e uma redução igualmente rápida do preço. Em 2005, o mercado de ultracondensadores esteve entre os 272 milhões de dólares e 400 milhões de dólares, dependendo da fonte e está a crescer rapidamente, especialmente no sector automóvel [4].

4.2. Princípio de funcionamento

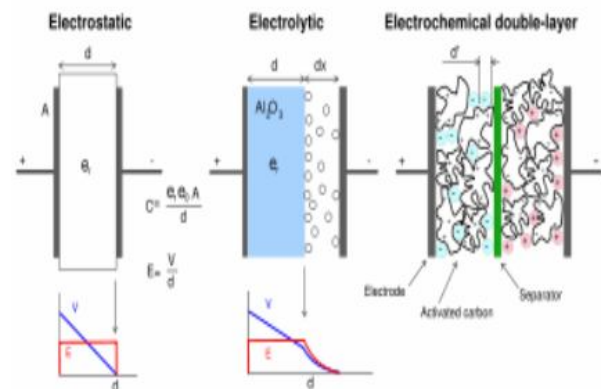


Figura 9. Tipos de condensadores

Comparação de diagramas de construção de três condensadores (Figura 9). À esquerda: condensador "normal", ao meio: electrolítico e à direita: supercondensador.

Num condensador convencional, a energia é fornecida pela remoção de transportadores de carga, tipicamente electrões, de uma chapa metálica e a entrega deles noutra. Esta separação de carga cria um potencial, entre as duas chapas, que pode ser fornecido a um circuito externo. A energia total armazenada deste modo é uma combinação do número de cargas armazenadas e o potencial entre as chapas. Vários materiais podem ser inseridos entre as chapas para permitir que maiores voltagens sejam fornecidas, levando a maiores densidades de energia, qualquer que seja o tamanho.

Em contraste com condensadores tradicionais, os supercondensadores não têm um dieléctrico convencional, como tal. Eles são baseados numa estrutura que contém uma camada eléctrica dupla, a espessura do dieléctrico está na ordem de nanómetros,

extremamente fino, e que, combinado com a área superficial muito grande, é responsável pelas suas capacidades extraordinariamente altas em tamanhos aceitáveis para a sua utilização em circuitos electrónicos.

Em geral, os supercondensadores melhoram a densidade de armazenamento pelo uso de um material nanoporoso no lugar da barreira de isolamento convencional, tipicamente o carvão vegetal activo. O carvão vegetal activo é um pó composto de partículas extremamente pequenas e "muito ásperas", a granel eles formam um volume de baixa densidade de partículas com buracos entre eles que se parece com uma esponja.

A área superficial total de uma camada tão fina, de tal material, é muitas vezes maior do que um material tradicional como alumínio, permitindo que muito mais electrões sejam armazenados em qualquer volume.

O aspecto negativo é que o carvão vegetal está tomando o lugar dos isoladores melhorados usados em dispositivos convencionais, portanto, os supercondensadores usam potenciais baixos na ordem de 2 a 3 V.

O carvão vegetal activo não é o material "perfeito" para esta aplicação. Os electrões livres são de facto bastante grandes, muitas vezes maiores do que os buracos deixados no carvão vegetal, que são demasiado pequenos para aceitá-los, limitando o armazenamento. A pesquisa recente em supercondensadores concentrava-se geralmente em materiais melhorados que ofereçam superfícies com maior área útil.

Os dispositivos experimentais desenvolvidos no MIT substituem o carvão vegetal com o nanotubos de carbono, que têm a capacidade de armazenamento de carga semelhante ao carvão vegetal (que é carbono quase puro) mas são mecanicamente dispostos de um modo mais regular de forma a aumentar a sua área superficial [3].

Outras equipas estão experimentando com materiais feitos de "polypyrrole" activo e até papéis impregnados por nanotubos. Uma aproximação completamente diferente está sendo explorada pela EESstor, que reclamam ter desenvolvido um isolador melhorado baseado no "barium titanate" que melhora a permissividade do isolador por várias ordens da magnitude, melhorando densidade de energia não pela capacidade de electrões mas pelos potenciais muito mais altos.

A EESstor afirma que os seus condensadores podem funcionar em voltagens extremamente altas, na ordem de vários milhares de volts [4]. Quanto a densidade de energia, os existentes supercondensadores comerciais, atingem aproximadamente 0.5 a 10 Wh/kg, com as células disponíveis, da Maxwell Technologies, a atingirem os 6 Wh/kg. Os supercondensadores experimentais do projecto do MIT demonstraram densidades de 30 Wh/kg e parece ser possível atingir os

60 Wh/kg a curto prazo [4], enquanto a EESstor afirma que os seus exemplares oferecerão capacidades na ordem de 200 a 300 Wh/kg. Por comparação, uma bateria convencional é tipicamente 30 a 40 Wh/kg, as baterias de íões de lítio modernas são aproximadamente 120 Wh/kg, e nas aplicações automóveis a gasolina tem um valor calorífico líquido (NCV) de aproximadamente 12,000 Wh/kg.

Adicionalmente, os supercondensadores oferecem a densidade de potência muito maiores do que as baterias. A densidade de potência combina a densidade de energia com a velocidade que a energia pode ser retirada do dispositivo. As baterias, que são baseadas no movimento de transportadoras de carga num electrólito líquido, têm tempos de descarga e carga relativamente lentos.

Os condensadores, por outro lado, podem ser carregados ou descarregados numa tarifa que é tipicamente limitada pela corrente que aquece os electrodos. Assim enquanto os supercondensadores existentes têm densidades de energia que são possivelmente, um décimo de uma bateria convencional, a sua densidade de potência é geralmente dez a cem vezes maior (Figura 10).

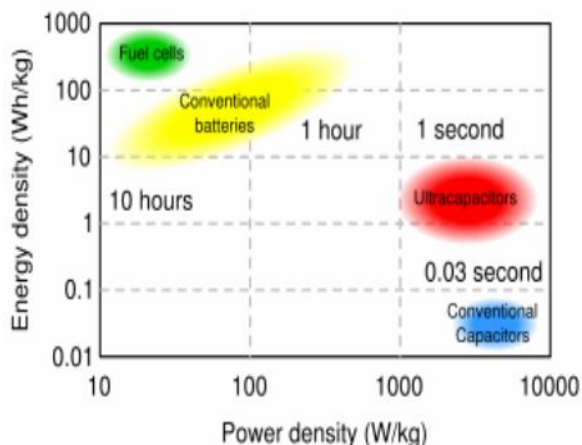


Figura 10. Gráfico da relação densidade de energia vs densidade de potencia

4.3. Características dos Ultracondensadores

4.3.1 Alta eficiência

Os ultracondensadores são componentes altamente eficientes. A sua eficiência (definido como a carga total retirada dividindo pela carga total acrescentada para encher novamente a carga retirada) é maior do que 99 %, até em correntes muito altas, o que significa que pouca carga é perdida durante a carga e descarga do ultracondensador.

4.3.2 Capacidade de operar com correntes altas

Os ultracondensadores são projectados com uma resistência de série equivalente muito baixa (ESR), permitindo-os entregar e absorver corrente muito alta. A ESR baixa dos ultracondensadores permite que eles sejam carregados muito rapidamente, tornando-os bem adaptados para aplicações de travagem regenerativa e outros cenários de carga rápida.

As características inerentes do ultracondensador permitem que ele seja carregado e descarregado no mesmo período de tempo, algo que nenhuma bateria pode tolerar. Se carregar o seu dispositivo de armazenamento de energia rapidamente (em aplicações como travagem regenerativa e brinquedos de carga rápida), é possível carregar o ultracondensador tão rapidamente quanto o sistema permita, dentro de limites razoáveis baseados só no aquecimento resistivo. Em sistemas à base de bateria, só possível carregar de forma tão rápida quanto a bateria permita, o que limita o sistema onde está inserida.

Em alguns casos, pode ser necessária energia extra, nesses casos, você pode combinar um ultracondensador e uma bateria para se obter o melhor de ambos, otimizando o sistema. Os picos de potência são fornecidos pelo ultracondensador, enquanto a grande exigência de energia é fornecida pela bateria.

4.3.3 Variedade dos valores de tensão

Os valores de tensão dos ultracondensadores não são confinados a uma janela de tensão estreita. Os projectistas têm só de considerar a variedade da tensão do sistema, que pode ser muito mais largo do que a variedade de tensão de uma bateria convencional.

O ultracondensador pode funcionar em qualquer tensão abaixo da sua tensão contínua operacional. Para alcançar maiores tensões, múltiplas células são dispostas em série, e colocadas a funcionar abaixo ou à sua tensão máxima total da série.

4.3.4 Variedade dos valores de temperatura

Como os ultracondensadores funcionam sem a existência de reacções químicas, eles podem funcionar numa larga variedade de temperaturas. No lado alto, eles podem funcionar até 65°C, e manter o armazenamento até aos 85°C.

No lado baixo, eles podem fornecer potência (com perdas resistentes ligeiramente maiores) tão frio como 40°C, bem abaixo do limiar do funcionamento a frio das baterias. O excelente funcionamento a frio dos ultracondensadores é apropriado para sistemas de arranque de motores.

Quando combinado com baterias, pode-se implementar um sistema que preencha as exigências de energia, com uma bateria (como luzes e sistemas de som enquanto o motor esta desligado) e as exigências de

potência, com o ultracondensador (como arranque do motor quando está frio, ou quando a bateria esta descarregada).

4.3.5 Controlo de condição (SOC e SOH)

A determinação do estado da carga da bateria (SOC) e o estado da saúde (SOH) é um factor significativo no desenho de sistemas de bateria robustos, necessitando de uma aquisição de dados sofisticada, algoritmos complexos e integração de dados de longo prazo. Em comparação, é muito simples determinar o SOC e SOH de ultracondensadores, uma vez que a energia fornecida por um condensador é uma função só de capacidade e voltagem, e a capacidade é constante, uma medição de voltagem em circuito aberto define o estado da carga. Uma vez que a capacidade é relativamente estável, a voltagem, sozinha, determina o SOC.

Devido a uma alteração relativamente lenta da capacidade e da resistência de série equivalente dentro de algum tempo, os cálculos ocasionais da capacidade e ESR podem ser usadas para determinar SOH. Uma descarga curta (de 2-10 segundos) em qualquer corrente constante pode fornecer dados suficientes para calcular a capacidade e ESR.

4.3.6 Ciclo de vida longo

O mecanismo de armazenamento de energia de um ultracondensador é um processo altamente reversível. O processo move apenas íões. Não cria nem quebra ligações químicas. Por isso, é capaz de centenas de milhares de ciclos completos (carga e descarga) sem perda significativa da sua eficácia.

Eles podem funcionar em ciclos de funcionamento curtos, como em veículos híbridos, ou ciclos longos, sistemas em que é descarregado algumas vezes por ano.

4.3.7 Vida operacional longa

Como não há nenhuma reacção química, o mecanismo de armazenamento de energia de um ultracondensador é um processo altamente estável. É, por isso, capaz de funcionar em modo contínuo durante muitos anos. O armazenamento de longo prazo não é uma questão, uma vez que o ultracondensador pode (e deve) ser fornecido completamente descarregado.

O ciclo de vida e vida operacional fazem dos ultracondensadores um componente que dura o tempo de vida da maior parte das aplicações em que estão inseridos e normalmente, os ultracondensadores são instalados tendo em conta o tempo de vida do sistema.

4.3.8 Extensão de vida de outras fontes de energia

Fontes de energia, como baterias e células de combustível não funcionam bem em condições transitórias. Para alguns componentes, os transitórios

podem encurtar significativamente o seu tempo de vida. Adicionando um ultracondensador a essas fontes de energia reduz-se muito esses regimes transitórios da fonte de energia principal. Os benefícios são, uma menor fonte de energia principal, e um tempo de vida potencialmente mais longo.

4.3.9 Fácil manutenção

Os ultracondensadores basicamente não necessitam de nenhuma manutenção. Eles não têm nenhum efeito de memória, não podem ser sobre-descarregados, e podem ser mantidos a qualquer tensão. Se mantidos dentro dos seus limites operacionais de tensão e temperatura, não há nenhuma manutenção recomendada.

4.3.10 Integração directa

A natureza inerente dos ultracondensadores faz a integração no sistema de forma relativamente fácil, muito mais fácil do que com baterias. A integração em sistemas, no que diz respeito ao ultracondensador, é principalmente direccionada para o cuidado de manter o ultracondensador dentro dos seus limites operacionais de tensão e temperatura.

Os ultracondensadores podem ser colocados em série ou na paralelo. Quando instalado na paralelo, não necessita de nenhum controlo extra. Quando colocado em série, um circuito de controlo de tensão é muitas vezes usado para manter os valores da tensão de cada célula dentro dos limites de funcionamento.

5. Tecnologia

Os nanotubos de carbono e certos polímeros condutivos, ou carbono aerogel, são usados para supercondensadores. Os nanotubos de carbono têm propriedades nanoporosas excelentes, permitindo espaços muito pequenos do polímero para alojar-se no tubo e funcionar como um dieléctrico. O Laboratório do MIT de Sistemas Electromagnéticos e Electrónicos (LEES) está a investigar a utilização nanotubos de carbono [16].

Alguns polímeros (ex. polyacenes) têm um mecanismo redox (redução de oxidação) de armazenamento junto com uma alta área superficial. Supercondensadores também estão a ser fabricados com carbono aerogel. Isto é um material único que dispõe de grande área superficial de aproximadamente 400-1000m²/g. Os eléctrodos dos supercondensadores de aerogel são normalmente feitos de papel composto por fibras de carbono e cobertos de aerogel orgânico.

O papel é um material composto onde as fibras de carbono fornecem a integridade estrutural e o aerogel

fornece a grande superfície necessária. Os pequenos supercondensadores de aerogel estão a ser usados no armazenamento de electricidade de reserva na microeletrónica, mas é esperado, o seu uso, nas aplicações de transportes eléctricos [17].

Em Agosto de 2007, uma equipe de pesquisa em RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) desenvolveu uma bateria de papel com nanotubos de carbono alinhados, desenhado para funcionar tanto como uma bateria de íões de lítio como um supercondensador (e chamaram-lhe bacitor), usando um líquido iónico como electrólito. As folhas podem ser enroladas, torcidas, dobradas, ou cortadas em numerosas formas sem a perda de integridade ou eficiência. Eles podem, também, ser feitos em vários tamanhos.

O seu peso leve e o preço baixo fazem-nos atraentes para electrónica portátil, automóveis e brinquedos, enquanto a sua capacidade de usar electrólitos no sangue os faz potencialmente úteis para dispositivos médicos como pacemakers. Além do mais, eles são biodegradáveis [18].

6. Outras energias alternativas para os sistemas automóveis

Estas alternativas não foram mais exploradas por nós nesta investigação devido à limitação, do número de páginas, imposta pelo docente da cadeira (SIAUT).

Mas abaixo fazemos uma breve descrição de outras alternativas energéticas para a propulsão de sistemas automóveis.

6.1. Ar Comprimido

Uma companhia francesa MDI (Motor Development International) está prestes a abrir a sua primeira fábrica, que irá produzir automóveis a uma taxa de dois por dia.

Os automóveis e táxis são fabricados com a capacidade de comprimir o ar, ligando-se à corrente eléctrica (220 V) durante a noite para recarregar o depósito num período de 3-4 horas, necessitado uma potência de cerca de 22 kW. Durante o dia o carro tem uma autonomia média de 200 km. O carro deve a sua autonomia aos depósitos de fibra que armazenam 90 metros cúbicos de ar comprimido a 300 bares de pressão. O motor funciona com ar retirado da atmosfera previamente filtrado. A expansão do ar comprimido introduzido no cilindro impulsiona os pistões conseguindo assim desenvolver movimento. O carro tem incorporado um sistema de recuperação da energia de travagem, comprimindo o ar do ambiente, injectando-o no sistema de depósitos.

6.2. GPL – Gás de Petróleo Liquefeito

Desde os anos 70 que o GPL tem vindo a desenvolver-se como alternativa aos tradicionais combustíveis rodoviários. Actualmente circulam em Portugal cerca de 40.000 automóveis a GPL-Auto e mais de 3 milhões na Europa. Por essa razão é actualmente o mais importante dos combustíveis alternativos e, em Portugal, seguramente o mais barato (a preços de agosto-2007 é cerca de 45% mais barato que o gasóleo e 55% mais barato que gasolina). É obtido a partir da destilação do petróleo, sendo o último dos produtos que se obtêm da sua refinação, o que determina que na gíria se diga que é o último a sair da chaminé da refinaria.

6.3. Etanol

Etanol é um combustível feito principalmente através da cana-de-açúcar. Nos EUA é utilizado bastante na forma E85, é uma mistura de 85% de etanol e 15% de gasolina. No Brasil este combustível é largamente utilizado e possui um alto balanço energético, estudos indicam que para cada unidade de energia investida, são produzidas cerca de 8,3 unidades de energia renovável.

O preço desse combustível é mais barato que a gasolina, porém seu rendimento é menor.

6.4. Biodiesel

Biodiesel não é óleo vegetal, somente depois que retirar a glicerina do óleo vegetal é que temos biodiesel. A coisa mais importante que qualquer motor diesel pode usar biodiesel. É possível alternar entre biodiesel e diesel a qualquer momento, exactamente como acontece com os carros flex, gasolina e álcool. Existem também pessoas que modificam os motores diesel para trabalhar com óleo vegetal directo. Quanto mais biodiesel for usado na mistura com o diesel, mais baixo serão as emissões.

O preço do biodiesel B2 custa apenas alguns centavos mais que o diesel, mas a tendência é o preço ficar mais barato, com o melhoramento tecnologia na produção de biodiesel e o aumento do preço do petróleo.

6.5. Gás Natural

Gás natural é um combustível de queima limpa. Mas gás natural ainda é um combustível fóssil, resultado da decomposição da matéria orgânica fóssil no interior da Terra. O gás natural é utilizado nos transportes em autocarros e automóveis, substituindo o óleo diesel, a gasolina e o álcool. O custo do GNV (gás natural veicular) é tradicionalmente mais barato do que outros combustíveis, dependendo do veículo a economia proporcionada pelo GNV em relação à gasolina pode chegar a 65% por quilómetro. A durabilidade dos carros é maior que os movidos a gasolina tradicionais.

6.6. Nitrogénio Líquido

Outra versão de carro movido a ar está sendo desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Washington usando o conceito de motor a vapor, com a excepção de que não há combustão. Os pesquisadores usam **nitrogénio líquido** como propulsor para seu protótipo de carro a ar **LN2000**. Os pesquisadores decidiram usar nitrogénio por causa de sua abundância na atmosfera, o nitrogénio compõe aproximadamente 78% da atmosfera terrestre, e pela disponibilidade de nitrogénio líquido

O ar movido em torno do veículo é usado para aquecer o nitrogénio líquido ao ponto de fervura. Uma vez que o nitrogénio líquido ferve, transforma-se em vapor da mesma forma que a água fervida se torna vapor de água num motor a vapor.

O gás nitrogénio formado pelo conversor de calor é expandido em aproximadamente 700 vezes seu volume quando em estado líquido. Este gás altamente pressurizado é então alimentado ao expansor, onde a potência do gás nitrogénio é convertida em força mecânica para empurrar os pistões do motor. O único resíduo de escape é o nitrogénio, e como este compõe a maior parte da atmosfera, o automóvel emite pouca poluição

7. Referências

1. <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=../energia/index.html&conteudo=../energia/celulacom bustivel.html>
2. [Supercapacitors](#), US DoE overview
3. [Researchers fired up over new battery](#), Deborah Halber, MIT News Office, February 8, 2006
4. [The Charge of the Ultra - Capacitors](#). IEEE Spectrum, November 2007
5. Carbon Nanotube Enhanced Ultracapacitors, MIT LEES ultracapacitor project
6. [US patent 2800616](#), "Low voltage electrolytic capacitor", granted [1957-07-23](#)
7. [Высокоёмкие конденсаторы для 0,5 вольтовой наноэлектроники будущего](#)
8. [Prototype Test Results highly appreciated by Ultracapacitor Experts](#). APowerCap press release, 2006.

9. [Muscle power drives battery-free electronics](#)
(Alexander Bell, EDN, 11/21/2005)
10. <http://en.wikipedia.org/wiki/Supercapacitor>
11. [UltraCaps win out in energy storage](#). Richard Hope,
Railway Gazette International July 2006
12. M. Steiner. [MITRAC Energy Saver](#). Bombardier
presentation (2006).
13. Siemens AG [Sibac ES](#) Sibac ES Product Page (as of
November 2007)
14. Siemens AG [Sitras SES](#) Sitras SES Product Page (as
of November 2007)
15. [Proton Power Systems Unveils the World's First
Triple-hybrid Forklift Truck](#). Fuel Cell Works press
release (2007).
16. [MIT LEES on Batteries](#). MIT press release, 2006.
17. E.J. Lerner. [Less is more with aerogels: A laboratory
curiosity develops practical uses](#). The Industrial
Physicist (2004).
18. [Beyond Batteries: Storing Power in a Sheet of Paper](#).
Rensselaer Polytechnic Institute press release (13
August 2007)

➤ Tabela 1

Diferentes Tipos de Células de Combustível

Tipo de Célula	Electrólito	Temperatura funcionamento	Potência de saída	Eficiência eléctrica	Aplicações	Vantagens	Desvantagens
Membrana permuta, Protónica	Polímero ácido Sulfónico Fluorizado ou outro polímero similar	50-100 C 122-212F	<1KW- 250KW	53-58%	Fonte portátil (pequenas dimensões)	Baixa temperatura Electrólitos sólidos reduz a corrosão e manutenção Entra rápido em funcionamento	Requer catalizadores caríssimos Sensível as impurezas do combustível Pior funcionamento a baixas temperaturas
Alcalinas	Solução concentrada de KOH	90-100 C 194-212 F	10KW- 100Kw	60%	Militar Espaço	Cátodo de reacção rápida e alto rendimento	É dispendioso remover o CO2 do combustível, CO2 degrada o electrólito
Ácido Fosfórico	Ácido fosfórico a ~100%,	150-200 C 302-392 F	50KW- 1MW	32-38%	Geração para rede eléctrica	Melhor rendimento com CHP	Requer caros electrólitos de platina Baixa tensão e corrente
Carbonato Fundido	Carbonatos alcalinos (Na, K, Li), que são estabilizados num suporte de LiAlO ₂ .	600-700 C 1112-1292 F	1KW- 250KW	45-47%	Utilidades eléctricas Utilização larga para fornecer energia para a rede	Alto rendimento Pode usar diferentes tipos de catalisadores Bom funcionamento com CHP	Alta temperatura de funcionamento, corrói os componentes e manutenção difícil Lenta a entrar em funcionamento
Óxido Sólido	Metal óxido, sólido e não poroso, usualmente Y ₂ O ₃ -estabilizado em ZrO ₂	650-1000 1202-1832F	5KW- 3MW	35-43%	Fonte auxiliar Gerador para a rede	Alto rendimento Pode usar diferentes combustíveis Electrólitos sólidos reduzem problemas de manutenção Bom funcionamento com CHP	Electrólitos em cerâmica com um ciclo termal Alta temperatura de funcionamento, corrói os componentes e manutenção difícil