

Células de Combustível : Uma Tecnologia Para a Geração Distribuída

Fernando Miguel Soares Mamede dos Santos ⁽¹⁾, **Humberto Manuel Matos Jorge** ⁽²⁾,
Fernando António Castilho Mamede dos Santos ⁽³⁾

⁽¹⁾ Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores na especialização de energia, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
fmm@elect.estv.ipv.pt

⁽²⁾ Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
hjorge@deec.uc.pt

⁽²⁾ Professor Coordenador de Nomeação Definitiva da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Superior Politécnico de Viseu
fms@elect.estv.ipv.pt

Resumo

Esta comunicação visa o estudo de sistemas de produção de energia eléctrica a partir de combustíveis hidrogenados e toda a sua envolvente como forma de contribuir para apresentação de soluções técnicas que conduzam ao desenvolvimento sustentado.

Muito embora esta forma de produção de energia esteja ainda numa fase de investigação, foi possível, através deste estudo, observar-se um conjunto de resultados importantes para o conhecimento, escolha e utilização adequada da mesma.

Neste trabalho é definido o enquadramento da produção de energia eléctrica tendo como base a economia do hidrogénio e o seu “estado da arte”.

É abordado um conjunto de questões técnicas relacionadas com as células de combustível, nomeadamente o seu desempenho. Recorre-se à utilização de dois tipos de células de combustíveis de forma a efectuarem-se ensaios de curvas características, curvas de potência e perdas, ensaios para a validação da lei de Faraday e rendimentos.

Palavras-chave: geração distribuída, células de combustível, tipos de células de combustível.

1. Introdução

A geração distribuída pode ser uma alternativa às formas tradicionais de produção de energia eléctrica, para diversas aplicações. Esta não é mais que a produção de energia com geradores eléctricos situados juntos ou nas proximidades do(s) consumidor(es). As potências associadas à geração distribuída são relativamente baixas, tipicamente na ordem dos 15 kW 10 MW, para alimentação de cargas locais. As células de combustível cumprem estes requisitos podendo ser consideradas uma tecnologia de geração distribuída (GD).

A partir da primeira crise petrolífera, na década de 70, passou-se a considerar o hidrogénio como uma possível fonte de energia, através da conversão electroquímica, usando células de combustível, que até então tinham como grande aplicação prática a utilização em missões espaciais.

O hidrogénio pode ser considerado como uma fonte de energia intermédia, sendo necessário produzi-lo, transportá-lo e armazená-lo antes de o usar. É ainda preciso encontrar soluções tecnologicamente eficientes, económicas e seguras para o seu manuseamento. O hidrogénio é um combustível leve, mas com baixa densidade de massa por m³. No entanto, sendo o combustível de utilização mais eficiente, na prática, a relação de volume entre o hidrogénio e os combustíveis convencionais não lhe é assim tão desfavorável.

Têm existido factores limitadores às energias renováveis como o armazenamento e transporte. Com o uso de células de combustível e com a tecnologia do hidrogénio, a potência eléctrica produzida por fontes de energia renováveis pode estar disponível onde e quando necessária de forma limpa eficiente e sustentável. Outros factores que podem impulsionar mais investimentos nas células de combustível são a possibilidade de se diminuírem as importações de petróleo dos países produtores, minorando o “défice” comercial, a criação de novos empregos, melhorar significativamente a qualidade do ar atmosférico e ainda poder permitir a cogeração.

Só actualmente as células de combustível começam a ser comercializadas, mais de século e meio depois de serem descobertas. As razões desta demora são, fundamentalmente, de duas naturezas: económica, em que os custos da sua produção são elevados e científica que tem a ver com a resolução de problemas ligados à queda de tensão interna e à compreensão da cinética que envolve as reacções nos seus eléctrodos. As células de combustível são sistemas electroquímicos que convertem directamente a energia química a partir de um combustível (hidrogénio) e um oxidante (oxigénio) em energia eléctrica.

Presentemente, existem dois grupos de desenvolvimento destas tecnologias classificados segundo a temperatura de funcionamento. Uma terceira variedade de células de combustível com alimentação directa de metanol, não tipifica qualquer um destes grupos pois apresenta características híbridas, sendo excluída desta classificação dos principais tipos de células.

TABELA I - GRUPOS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE CÉLULAS, CLASSIFICADOS SEGUNDO A TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO.

	Pilhas de combustível de baixa e média temperatura (<250°C)	Pilhas de combustível de alta temperatura (>600°C)
Tecnologias aplicáveis	- Alcalinas (AFC) - Ácido Fosfórico (PAFC) - Membrana de Troca de Protões (PEMFC)	- Carbonatos Fundidos (MCFC) - Óxidos Sólidos (SOFC)
Dimensão típica	- Produtos disponíveis no mercado e em desenvolvimento com potências até 250 kW	- A maioria dos equipamentos em desenvolvimento têm potências na ordem de 2 MW, mas também se desenvolvem unidades com menos de 1 MW
Vantagens	- Rendimento elevado - Emissões reduzidas - Arranque rápido (especialmente as PEMFC) - Potencial para redução significativa do custo resultante de produção em larga escala se for alcançado sucesso na área dos transportes	- Rendimento muito elevado - Emissões reduzidas - Processamento de combustível mais simples - Não existe a necessidade de utilizar catalisadores de metais preciosos - Não são danificadas pelo CO - Potências mais elevadas
Desvantagens	- Potencial de cogeração limitado - Processamento de combustível relativamente complexo - Mais sensíveis ao CO - Requerem catalisadores de metais preciosos - Custo elevado (PAFC)	- Mercado limitado inicialmente à produção de electricidade (o que reduz o potencial para a redução do custo) - Complexidade dos sistemas híbridos

2. Análise do desempenho das células de combustível

2.1 Análise teórica

Se não existisse nenhuma perda numa célula de combustível podia-se dizer que o processo era “reversível”, isto é, toda a energia livre de Gibbs seria convertida em energia eléctrica e vice versa, mas na prática é libertado algum calor. A energia livre de Gibbs pode ser definida como a energia disponível para fazer trabalho externo, envolve o movimento de electrões no circuito externo da célula, desprezando o trabalho feito por mudanças de volume e ou pressão. Em termos teóricos a tensão (E) de uma célula de combustível é:

$$E = \frac{-\Delta \bar{g}_f}{Z.F} \quad (1)$$

onde $\Delta \bar{g}_f$ é a energia livre de Gibbs libertada, Z é o número de electrões por cada molécula de combustível e F é a constante de Faraday (96485 C.mol⁻¹).

O rendimento de um dispositivo de conversão de energia é definido como a quantidade de energia útil produzida relativamente à variação da energia química armazenada que é libertada quando um combustível reage com um oxidante ($\Delta \bar{h}_f$). No caso das células de combustível, a variação da energia de Gibbs ($\Delta \bar{g}_f$) está disponível como a energia útil à temperatura de conversão. O rendimento ideal (teórico) de uma célula de combustível, funcionando sem perdas é:

$$\eta_{máx} = \frac{\Delta \bar{g}_f}{\Delta \bar{h}_f} \times 100\% \quad (2)$$

Em termos teóricos os valores são sempre maiores que os obtidos experimentalmente devido à não se ter considerado as perdas.

2.2 Análise Experimental

A determinação prática foi feita com recurso ao Kit de célula de combustível Hydro-Genius™ School e ao Hydro-Genius Extension Kit Methanol Fuel Cell.

Analisadas as curvas características obtidas experimentalmente, que relacionam a tensão e a corrente numa célula de combustível, verifica-se que nas células de combustível à medida que a corrente pedida pela carga aumenta, a tensão aos terminais da célula tende a descer, bem como o seu rendimento; que a tensão aos terminais de uma célula de hidrogénio está dependente da quantidade de gases fornecida (maior quantidade implica maior tensão de saída) e do grau de pureza dos gases usados (oxigénio puro em vez do contido no ar permite a obtenção de uma maior tensão).

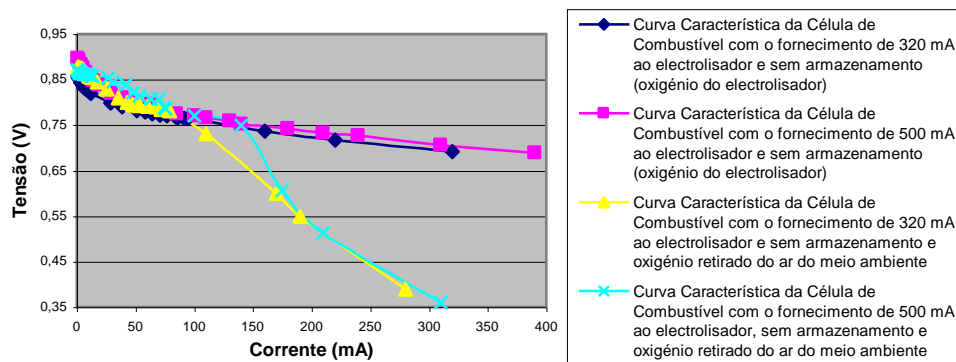


Fig.1 – Gráfico comparativo das curvas características da célula de combustível.

Do estudo das curvas de potência é possível, de uma forma global, concluir que à medida que a corrente pedida pela carga aumenta, a potência fornecida à carga também aumenta. Na célula PEM este aumento no valor da potência é maior com a utilização de maiores quantidades de gases e com a utilização de oxigénio puro em vez do retirado do ar. No caso do oxigénio ser retirado do ar e para os valores mais elevados de corrente, nota-se mesmo uma tendência para uma diminuição da taxa de crescimento da potência com o aumento da corrente na célula de combustível PEM, ficando comprometida a resposta em termos de potência. Logo, pode concluir-se que para cargas mais altas o fornecimento e a concentração dos gases são factores que determinam o comportamento da célula de combustível.

Com a célula de combustível de metanol (DMFC) constata-se que quanto maior é a concentração de metanol mais potência se consegue fornecer à carga para uma corrente constante. Estes aumentos do valor da potência com o incremento da corrente são mais lentos para valores mais altos de corrente, devido ao aumento das perdas, levando ao decréscimo do rendimento da célula de combustível. Os valores de tensão da célula de combustível de metanol são geralmente menores em comparação com a célula de combustível de hidrogénio, devido à existência de maiores perdas na de metanol.

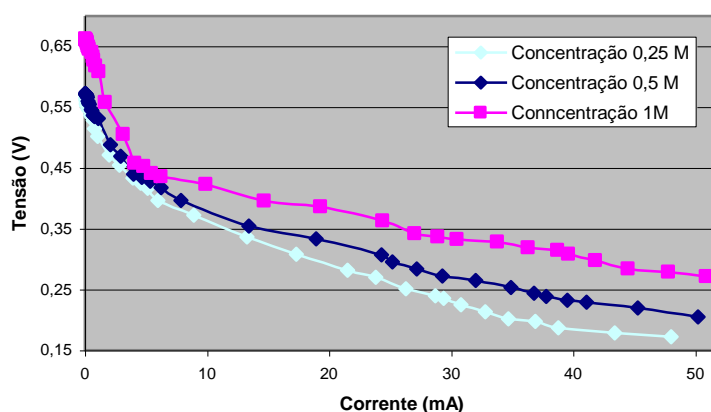


Fig.2 – Gráfico comparativo das curvas características da célula de combustível de metanol para diferentes concentrações.

Na célula de combustível PEM são obtidas perdas óhmicas semelhantes às de activação para as diferentes cargas, embora com a diminuição da corrente as perdas de activação em termos de percentagem de perdas totais possam ser ligeiramente maiores.

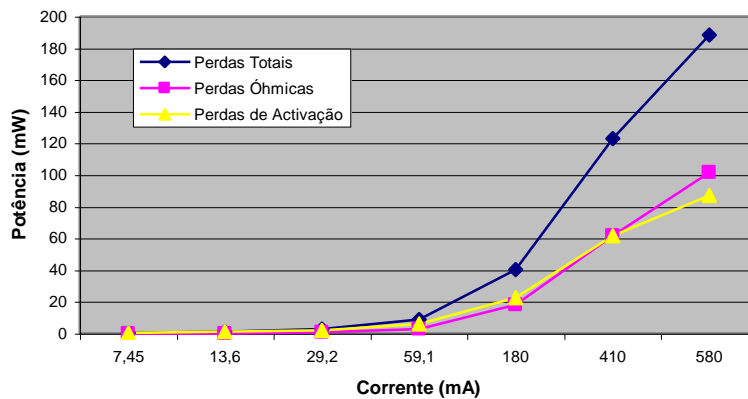


Fig.3 – Perdas na célula de combustível PEM, em função da corrente solicitada.

Relativamente à célula de combustível DMFC observa-se que, para as diferentes cargas, as perdas de activação são sempre maiores que as ôhmicas. Consta-se ainda que as perdas de activação em termos de percentagem de perdas totais aumentam com a diminuição da corrente.

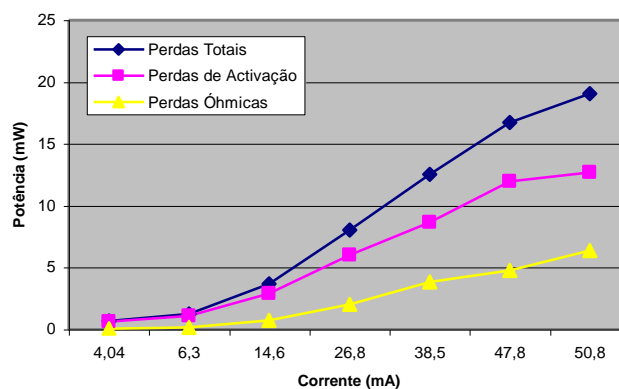


Fig.4 – Diferentes tipos de perdas numa DMFC.

Assim, comparando os resultados das perdas na célula de combustível PEM e na DMFC é possível concluir que o valor das diferentes perdas variam consoante o tipo de célula de combustível.

Verifica-se também, para a célula de combustível PEM, a existência de uma proporcionalidade entre a quantidade de hidrogénio consumido pela célula de combustível e a quantidade de electricidade produzida.

No que diz respeito ao rendimento de Faraday, constata-se que à medida que a corrente fornecida pela célula de combustível aumenta, este diminui. Afirmção que se mantém verdadeira também para o rendimento energético da célula de combustível, o que é perfeitamente lógico que o rendimento energético vá diminuindo com o aumento do valor da corrente, devido à existência de maiores perdas. Portanto, quando se projecta uma pilha de células de combustível, deve ter-se em conta que estas devem funcionar nos seus pontos “óptimos” de funcionamento, isto é, devem funcionar com o rendimento o mais elevado possível, fornecendo a potência suficiente para satisfazer a carga da forma mais económica e segura.

Um aspecto importante demonstrado é o alto rendimento eléctrico para uma célula de combustível de hidrogénio, na ordem dos 50%, valor bastante superior aos geradores convencionais.

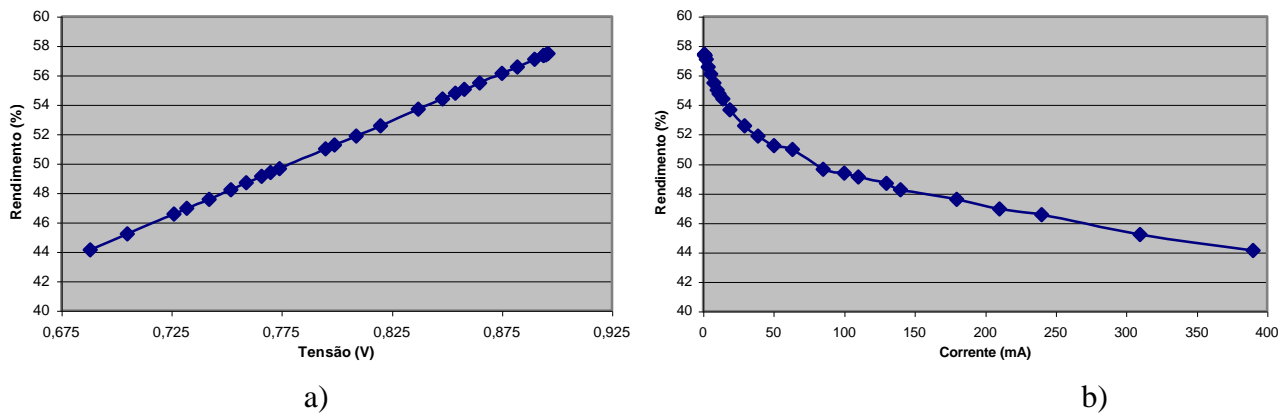


Fig.5 a) Gráfico do rendimento de uma célula de combustível PEM em relação à tensão.
 b) Gráfico do rendimento de uma célula de combustível PEM em relação à corrente.

4. Conclusões

O grande interesse de investimentos nas células de combustível reside na possibilidade de terem um rendimento da conversão da energia química em eléctrica até duas vezes superior à máquina convencional.

A produção de energia a partir de combustíveis hidrogenados pode ser útil para resolver problemas relacionados com: o crescente aumento do consumo de energia, a poluição causada por fontes energéticas convencionais, as crises petrolíferas e as limitações dos combustíveis fósseis e a geração distribuída.

Muito embora a tecnologia recente desta forma de produção de energia esteja ainda numa fase de investigação, foi possível, através deste estudo, observar-se um conjunto de resultados importantes para o conhecimento, escolha e utilização adequada da mesma. Daqui destaca-se: o aumento da corrente pedida faz descer a tensão; existência de um conjunto de factores que influenciam a tensão (quantidade de volume de gases fornecidos, grau de pureza dos gases, concentração da solução usada como combustível, temperatura e a pressão); os diferentes valores das quedas de tensão consoante o tipo de célula de combustível; nas células de combustível de hidrogénio a quantidade do hidrogénio que é consumida pela célula é directamente proporcional à quantidade de electricidade produzida; o alto rendimento eléctrico das células de combustível.

Referências:

- [1] Fernando Miguel Soares Mamede dos Santos, *Células de Combustível: Uma Tecnologia para a Geração Distribuída*, Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade de Coimbra orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2003.
- [2] Fernando Miguel Soares Mamede dos Santos, *A Geração Distribuída e as Células de Combustível*, trabalho da disciplina de Seminário de Sistemas de Energia do MEEC da FCTUC orientado pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Setembro de 2002.
- [3] Fernando Miguel Soares Mamede dos Santos, *Estudo da tecnologia do hidrogénio "PEM" aplicada à produção de energia eléctrica*, trabalho da disciplina de Laboratório de Sistemas de Energia do MEEC da FCTUC orientado pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Setembro de 2002.
- [4] Artur D. Little Inc, *"Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications"*.