

# CÉLULA DE HIDROGÊNIO: CONSTRUÇÃO, APLICAÇÕES E BENEFÍCIOS

## HYDROGEN CELL: CONSTRUCTION, APPLICATIONS AND BENEFITS

Ryldon Alvarenga Rodrigues<sup>1</sup>

### RESUMO

A energia do hidrogênio é obtida através da combinação do hidrogênio com o oxigênio produzindo vapor de água como resultado final e gerando energia que é convertida em eletricidade. Embora não seja uma fonte primária de energia, o hidrogênio se constitui em uma forma conveniente e flexível de transporte, pois pode ser obtido de diversas fontes energéticas e sua combustão não é poluente, além de ser uma fonte de energia barata. Porém devemos lembrar que o hidrogênio não é uma fonte de energia, ele funciona como uma bateria que armazena a energia e libera quando necessário na forma de calor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia; Células de Combustível; Hidrogênio.

### ABSTRACT

The hydrogen energy is gotten through the combination of hydrogen with oxygen producing water vapor as a final result and generating energy which is converted into electricity. Although it is not a primary source of energy, the hydrogen constitute a convenient and flexible form of transport, because it can be gotten by a variety of energy sources and its combustion is not pollutant, beyond being a cheap power energy. However we must remember that the hydrogen is not an energy source, it functions as a battery which stores and liberates the energy in the heat form when necessary.

**KEYWORDS:** Energy; Fuel Cells; Hydrogen.

## 1 – INTRODUÇÃO

Para garantir a sustentabilidade do desenvolvimento mundial, o mundo está preocupado em praticar políticas eficazes de proteção ao meio ambiente. Com isso, as pesquisas estão avançando cada vez mais, em busca de novas tecnologias e de fontes alternativas renováveis de energia para a substituição do combustível fóssil.

No espaço ambiental, as células a combustível e suas tecnologias desempenharão um importante papel, atuando de forma limpa, silenciosa e apresentando baixos níveis de emissão de poluentes na atmosfera.

<sup>1</sup> Mestrando em Ensino de Física pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, especialista em Eletricidade na Agropecuária pela Universidade Federal de Lavras, licenciado em Ciências pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras do Alto São Francisco e em Física pelo Centro Universitário de Formiga. Docente do Centro de Ensino Superior de São Gotardo e das redes estadual e particular de ensino. Currículo: <http://lattes.cnpq.br/4729859188321065>.

Este trabalho contempla uma análise tecnológica e sócio-econômica das perspectivas de introdução das células a combustível no Brasil e no mundo, visando um desenvolvimento mundial sustentável.

Este trabalho tem como objetivo fazer o levantamento bibliográfico sobre as células a combustível, com suas tecnologias, aplicações, potencialidades e iniciativas dos setores público (como o Programa Brasileiro de Células a Combustível) e privado, visando um mundo melhor para as futuras gerações.

## 2 – AS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

A célula a combustível é uma tecnologia que utiliza a combinação química dos gases Oxigênio (O<sub>2</sub>) e Hidrogênio (H<sub>2</sub>) para gerar energia elétrica, térmica e, como resíduo, eliminação de água.

A primeira célula a combustível foi desenvolvida em 1839, por um físico inglês chamado Willian Grove. Segundo ele, passando eletricidade através da água obter-se iam gases hidrogênio e oxigênio.

Podemos comparar uma célula a combustível a um sanduíche: ela é dividida em fatias, onde cada fatia tem uma função. Os eletrodos constituem duas destas fatias. São porosos para que possa ocorrer a passagem dos gases até a fatia do meio, o eletrólito.

Revestindo o eletrólito tem-se o catalisador. Este tem a função de acelerar as reações químicas e quebrar as moléculas de hidrogênio. O níquel e a platina são usados como catalisadores. (HOFFMANN, 2005)

No eletrodo, o gás hidrogênio passa por canais de fluxos desenhados em sua placa, atingindo toda a superfície. Os eletrodos têm que ser bons condutores de eletricidade; por isso, são constituídos de grafite, metais e aço inoxidável. (HOFFMANN, 2005)

O gás hidrogênio é o eletrodo terminal negativo, o ânodo. E o gás oxigênio é o eletrodo terminal positivo, o cátodo. (HOFFMANN, 2005)

Podemos então concluir que de um lado da célula entra o hidrogênio e do outro lado o oxigênio.

O eletrólito juntamente com o catalisador é a razão do funcionamento de uma célula a combustível. O eletrólito pode estar no estado sólido ou líquido,

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

permitindo o movimento dos prótons. Já os elétrons não passam pelo eletrólito e, sim, por um circuito externo instalado na célula a combustível, sendo aproveitado para acender alguma lâmpada.

### 3 – O FUNCIONAMENTO

Agora que a célula a combustível foi montada, analisaremos seu funcionamento.

Por um lado da célula, o gás hidrogênio é pressurizado e bombeado para o ânodo. O gás é forçado a passar por canais de fluxo até atingir o catalisador. Em contato com o catalisador, o hidrogênio separa em dois íons ( $H^+$ ) e dois elétrons ( $e^-$ ). Os elétrons são encaminhados para um circuito externo, onde é formada uma corrente elétrica. Os gases de hidrogênio, que foram quebrados pelo catalisador, vão em direção ao eletrólito. Do outro lado da célula, o gás oxigênio é bombeado para o cátodo e forçado a passar por canais de fluxo até ao catalisador. No catalisador, as moléculas de oxigênio combinam-se com os íons de hidrogênio que atravessaram o eletrólito, para formar água, como resíduo. (HOFFMANN, 2005)

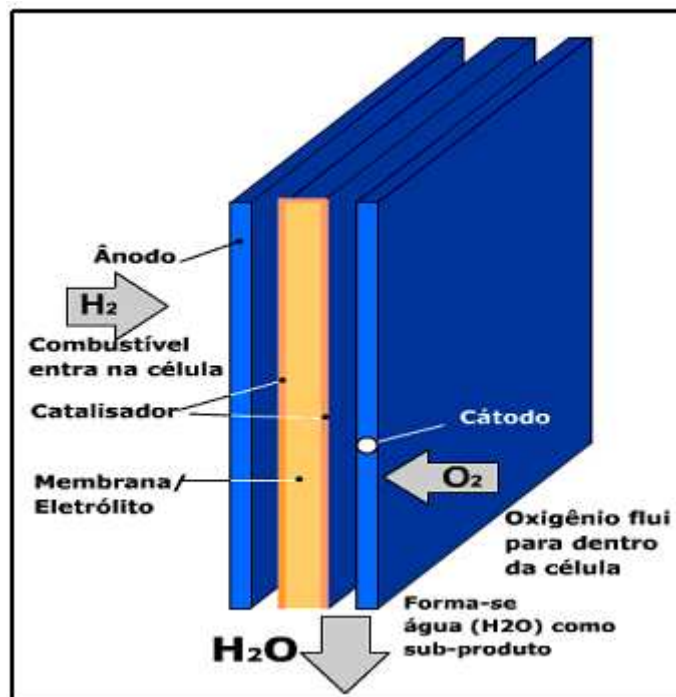


Figura 1. Composição de uma célula a combustível ideal. Fonte: Portal célula a combustível.

Com o desenvolvimento e aprimoramento das células combustíveis, será possível obter uma forma de energia de alta eficiência sem nenhum impacto ambiental, pois seu resíduo (produto final) é água.

#### 4 – AS TECNOLOGIAS

Existem pelo menos seis tipos de tecnologias principais, que variam em tamanho, temperatura, combustível, eletrólito e aplicações. O tipo de eletrólito determina a temperatura de funcionamento, que varia bastante entre as tecnologias. Cada tecnologia requer materiais e combustíveis particulares.

##### a) Célula a Combustível de Membrana de Troca de Prótons (PEMFC)

É a tecnologia mais aplicada no setor automobilístico, em equipamento portátil e para geração de energia residencial. “Esta tecnologia funciona a baixa temperatura, podendo variar entre 60° a 140°C, resultando num funcionamento mais rápido que encontrado em outras tecnologias”. (HOFFMANN, 2005)

Uma das desvantagens é o uso da platina como catalisador. Metal nobre, raro e caro, podendo ser facilmente contaminada pelo monóxido de carbono e enxofre, necessitando, assim, de hidrogênio com altíssima pureza.

Esta tecnologia utiliza uma membrana plástica e sólida, que tem a capacidade de transportar cargas positivas quando estão úmidas. Mas a membrana não pode estar com excesso de água do lado que entra o oxigênio, pois este não conseguirá entrar em contato com o eletrólito e a célula estará comprometida.

Para que se obtenha bons resultados na aplicação automobilística, o tempo de vida útil de uma membrana (Nafion) deve ser de 5 a 8 mil horas, o equivalente ao tempo de vida de um motor a combustão 170.000 km, obtendo uma eficiência de 35 a 55%. (HOFFMANN, 2005)

##### b) Célula a Combustível de Metanol Direto (DMFC)

Este é bem similar à célula a combustível de Membrana de Troca de Prótons (PEMFC). A diferença está no uso do combustível, o Metanol (CH<sub>3</sub>OH), que entra na célula no lado onde entraria o hidrogênio puro. O ânodo é o metanol que oxida na presença da platina (catalisador). Para isso não ocorrer, utiliza-

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

se o rutênio: ele libera os elétrons e os prótons, convertendo monóxido de carbono (CO) em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como produto final. (HOFFMANN, 2005)

A aplicação desta tecnologia está voltada para equipamentos portáteis como telefonia celular, laptops e outros, com uma geração de energia portátil de 1 a 2 kW e sua temperatura de funcionamento está compreendido entre 50 a 200°C, quando sua eficiência de gerar energia elétrica varia entre 40 a 50%. (HOFFMANN, 2005)

A célula de combustível de metanol ou alcoóis tem sido encarada, como uma das formas de energia mais conveniente, pois não apresenta problemas em sua manipulação e na forma como é armazenada. Sendo assim aprimorada constantemente.

### c) Célula a Combustível de Ácido Fosfórico (PAFC)

Tecnologia mais avançada comercialmente, sendo utilizada em hotéis, comércios, escolas, aeroportos e outros.

Esta tecnologia utiliza como eletrólito, o ácido fosfórico líquido (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), tendo seu funcionamento semelhante ao da Célula a Combustível de Membrana de Troca de Prótons (PEMFC). (HOFFMANN, 2005)

A temperatura de funcionamento desta célula é considerada baixa, variando entre 160° e 240°C. (HOFFMANN, 2005)

Sua tecnologia pode tolerar algumas impurezas, como o monóxido de carbono (CO) e o enxofre, podendo, assim, usar diferentes combustíveis, como por exemplo, o gás natural ou biogás.

A platina é usada como catalisador. Mas com o uso do combustível gás natural ou biogás, precisa-se de um reformador para obter hidrogênio puro e um purificador para eliminar excesso de impurezas.

“É uma tecnologia menos eficiente que as outras citadas, pois utiliza reformadores. Sua eficiência variar entre 35 a 47%”. (HOFFMANN, 2005) Por utilizarem hidrocarbonetos como combustível, o produto final é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) eliminado em menor quantidade se comparado às outras tecnologias.

Já existem no Brasil quatro tipos desta tecnologia. Três delas estão instaladas na cidade de Curitiba e a quarta na cidade do Rio de Janeiro, no centro de pesquisa da Petrobrás (CENPES).

Segundo Hoffmann, todas estas células foram adquiridas pela Copel, juntamente com o Lactec, visando a Nova Era da Energia.

#### **d) Célula a Combustível de Óxido Sólido (SOFC)**

Tecnologia vista com grande promessa, pois oferece serventia para a geração de energia residencial e para o setor automobilístico.

Feita de um material cerâmico e sólido, permite a passagem dos íons, onde estes passam do cátodo para o ânodo e a formação de água e o fluxo de elétrons ocorrem no ânodo. Além disso, são os íons de oxigênio, e não o hidrogênio, que fluem pelo eletrólito. Estes elétrons, que saem do ânodo, passam por um circuito externo, em sentido ao catodo. Já no cátodo, os elétrons encontram com o oxigênio (O<sub>2</sub>) e formam íons de oxigênio (O<sup>2-</sup>), completando assim o ciclo.(HOFFMANN, 2005).

A tecnologia funciona a alta temperatura, operando entre 600° a 1000°C, dispensando a platina como catalisador. A temperatura alta ajuda a aumentar as reações químicas. Portanto, podem-se utilizar catalisadores bem mais baratos e eficientes, como o níquel. (HOFFMANN, 2005)

A eficiência desta tecnologia em gerar energia varia entre 50 a 60%, aproveitando o calor liberado, podendo chegar até aos 85%.(HOFFMANN, 2005).

Como nem tudo é perfeito, esta tecnologia, por trabalhar em altas temperaturas, tem seu início de funcionamento mais lento, e as matérias que a constituem tem que ser mais resistentes. Outra desvantagem está em sua construção, pois se apresenta só em formas planas ou tubulares.

#### **e) Célula de combustível de Carbonato Fundido (MCFC)**

São constituídas por sais, como o carbonato de sódio, lítio ou potássio, que se fundem em alta temperatura (600° a 800°C), gerando íons de carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). (HOFFMANN, 2005)

Sob alta temperatura, as reações químicas ocorrem mais rápidas, dispensando o uso da platina como catalisador e reformadores, que são caros. Pode-se usar o níquel como catalisador, que é barato e eficiente. Na

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

questão do reformador, a própria célula encarrega de fazer internamente a reforma, com o calor produzido por ela. (HOFFMANN, 2005)

Quanto ao seu funcionamento, se utilizado for hidrocarbonetos ou álcool, os íons deslocam-se do catodo para o anodo, combinando com o hidrogênio, liberando elétrons e formando água e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Da mesma forma que acontece nas outras tecnologias, os elétrons passam por um circuito externo, sendo aproveitado para acender lâmpadas, ligar motores elétricos e assim por diante. (HOFFMANN, 2005)

Esta tecnologia pode assumir grandes aplicações de potência, acima de 1MW. E sua eficiência varia entre 50 a 60%. Aproveitando o calor, pode-se chegar aos 85%. (HOFFMANN, 2005)

A tecnologia das células de combustível a carbonato fundido vem ganhando espaço, pois dispensa o uso da platina (metal caro) que torna esse tipo de célula inviável aos consumidores. Com a substituição da platina pelo níquel, esse tipo de célula consegue alcançar uma grande potencia e maior eficiência com um custo bem mais acessível.

#### **f) Célula a Combustível Alcalina (AFC)**

Tecnologia que utiliza eletrólitos alcalinos e não eletrólitos ácidos, como as outras tecnologias. (HOFFMANN, 2005)

A vantagem mais conhecida desta célula a combustível, é a utilização de materiais de baixo custo. E a principal desvantagem é o uso de hidrogênio e oxigênio puros. Com a formação do monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em contato com o hidrogênio ou com o oxigênio, eles reagem com o hidróxido de potássio (KOH) formando carbonatos, como o carbonato de potássio, dificultando a locomoção dos íons no eletrólito. (HOFFMANN, 2005)

A temperatura de funcionamento varia entre 50° a 250°C e sua eficiência de gerar energia elétrica compreende-se entre 45 a 60%, podendo chegar a 75% se bem aproveitado for o calor fornecido pelo funcionamento da célula. (HOFFMANN, 2005)

Esse tipo de célula por utilizar o hidrogênio e oxigênio em sua forma pura encontra muitos obstáculos em seu desenvolvimento. Mas por utilizar tecnologia alcalina, apresenta uma importante vantagem na produção de componentes (materiais) de baixo custo para sua viabilização econômica.

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

### g) Célula a Combustível de Etanol Direto (DEFC)

Tecnologia em que o Brasil leva grande vantagem, pois é o maior produtor mundial de etanol, provido da cana-de-açúcar.

Nesta célula pode-se usar etanol (álcool etílico) diretamente sem nenhum reformador para obter hidrogênio. E além dessa vantagem, pode-se aproveitar a infra-estrutura dos postos de combustíveis já existentes que fornecem o álcool. (HOFFMANN, 2005)

A grande desvantagem dessa célula a combustível está na quebra da molécula de etanol, que não é fácil e nem rápido, tornando assim sua eficiência muito baixa. No entanto, ainda não é muito viável, tecnicamente, esta tecnologia. Mas, como em toda pesquisa, estão sendo estudadas possibilidades para que ela apresente grandes avanços, o que será muito importante para o Brasil. (HOFFMANN, 2005)

As tabelas abaixo mostram resumidamente as principais tecnologias de células a combustível e suas potencialidades.

Célula a Combustível	Eletrólito	Temperatura de operação (°C)	Reações Eletroquímicas
Membrana de Troca De Prótons (PEMFC)	Polímeros orgânicos	50 - 100	Ânodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ Célula: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Alcalina (AFC)	Solução aquosa de Hidróxido de Potássio	90 - 100	Ânodo: $H_2 + 2(OH^-) \rightarrow 2H_2O + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2H_2O + 2e^- \rightarrow 2(OH^-)$ Célula: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Ácido Fosfórico (PAFC)	Ácido Fosfórico	160 - 210	Ânodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ Célula: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Óxido Sólido (SOFC)	Óxido de Zircônia sólido com uma pequena quantidade de ítrio	500 - 1000	Ânodo: $H_2 + O_2^- \rightarrow H_2O + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2e^- \rightarrow O_2^-$ Célula: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
Carbonato Fundido (MCFC)	Solução líquida de ítrio, sólido e/ou carbonatos de potássio	600 - 800	Ânodo: $H_2 + CO_2^{-3} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_2^{-3}$ Célula: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CO_2$
Metanol Direto (DMFC)	Polímeros orgânicos	50 - 200	Ânodo: $CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^-$ Cátodo: $\frac{3}{2} O_2 + 6H^+ + 6e^- \rightarrow 3H_2O$ Célula: $CH_3OH + \frac{3}{2} O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Tabela 1. Comparação entre as seis tecnologias de células a combustível.

Fonte: Brasil  $H_2$  Fuel Cells



<b>Célula a Combustível</b>	<b>Eficiência Elétrica</b>	<b>Densidade de Potência</b>	<b>Reforma de Combustível</b>	<b>Combustível</b>
Membrana de Troca De Prótons (PEMFC)	35 - 55%	3,8 - 3,5 kW/m <sup>2</sup>	Externo	Hidrogênio
Alcalina (AFC)	45 - 65%	0,7 - 8,1 kW/m <sup>2</sup>	Externo	Hidrogênio puro
Ácido Fosfórico (PAFC)	40 - 50%	0,8 - 1,9 kW/m <sup>2</sup>	Externo	Gás Natural, biogás
Óxido Sólido (SOFC)	50 - 65%	1,5 - 5 kW/m <sup>2</sup>	Externo ou interno	Gás Natural, biogás, etanol, etc.
Carbonato Fundido (MCFC)	50 - 65%	0,1 - 1,5 kW/m <sup>2</sup>	Externo ou interno	Gás Natural, biogás, etanol, etc.
Metanol Direto (DMFC)	40 - 50%	1 - 6 kW/m <sup>2</sup>	Não Requer	Metanol diluído em água

Tabela 2. Comparação entre as seis características das células a combustível. Fonte: Brasil H<sub>2</sub> Fuel Cells

<b>Tempo de duração</b>	<b>10 watt</b>	<b>60 watt</b>	<b>100 watt</b>
Hidreto Metálico	16 horas	5 horas	3 horas
Hidrogênio comprimido (5 litros)	280 horas	90 horas	56 horas
Reformador com 11 kg de butano	1350 horas	450 horas	270 horas

Tabela 3. Potência e tempo de duração das tecnologias. Fonte: Brasil H<sub>2</sub> Fuel Cells

<b>Aplicação</b>	<b>Preço ideal para viabilidade comercial (Dólar)</b>
Transportes	\$50 por kW
Residências	\$300 a \$500 por kW
Centros comerciais, hotéis, hospitais	\$1.200 a \$3.000 por kW
Estações de energia	\$1.000 a \$1.500 por kW
Portáteis	\$5.000 a \$10.000 por kW

Tabela 4. Viabilidade comercial das células a combustível por quilowatt. Fonte: Brasil H<sub>2</sub> Fuel Cells

## 5 – APLICAÇÕES

Muito em breve estar-se-á vivenciando a tecnologia das células a combustível no dia a dia. Os principais setores de aplicação desta tecnologia serão:

### a) Aplicações em Transportes

“Terá expansão desde automóveis até motocicletas e aviões. Em aviões, o combustível poderá sofrer um consumo de até 75%, além de diminuir a poluição nos aeroportos”. (HOFFMANN, 2005)

No setor automobilístico, a transformação será bem visível. Segundo estimativas, até o ano de 2015 os automóveis com a tecnologia de célula a

combustível ocuparão uma boa parte da frota mundial, o mesmo acontecendo com as motocicletas.

São necessários para esse grande sucesso comercial:

- o baixo custo e peso desta tecnologia;
- a confiabilidade e eficiência que substituem as de hoje;
- a segurança e flexibilidade para os diferentes combustíveis;
- facilidade no manuseio e manutenção.

Na Europa, China, EUA, Alemanha, Espanha, Portugal, Inglaterra, Islândia e recentemente a Austrália, já estão em circulação diária os ônibus movidos por células a combustível, em fase de avaliação, antes de serem comercializados. Estão sendo avaliadas também suas condições em climas diversificados, compatibilidade com diversos combustíveis, sistema de armazenamento, dentre outros. A maioria desses ônibus utiliza como combustível o hidrogênio gasoso comprimido. (REVISTA ECO 21, 2003)

No Brasil está previsto o lançamento do primeiro ônibus em 2006 na cidade de São Paulo. E juntamente, com esse projeto, estaria sendo lançada a implantação de ônibus híbrido (célula a combustível e bateria) no Rio de Janeiro. (HOFFMANN, 2005)

As células a combustível também tem um papel fundamental no setor ferroviário (trens, locomotivas e metrô). Com o desenvolvimento dessa tecnologia, o setor ferroviário terá uma geração de energia limpa e boa eficiência, emitindo apenas vapor de água como resíduo.

Já no setor marítimo, a aplicação da célula a combustível estará voltada para os diversos equipamentos eletrônicos usados para navegação, como GPS, no funcionamento de TV, lâmpadas, geladeiras, motores elétricos de veleiros, iates e barcos.

A célula a combustível substituirá a energia nuclear usada para propulsão nos submarinos, que se torna uma grande vantagem.

## **b) Aplicação Estacionária**

“São classificadas como geração de energia estacionária aquelas utilizadas em residências, hospitais, hotéis, indústrias e comércios, como uma potencia acima de 5kW”. (HOFFMANN,2005)

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

Esta aplicação tem avançado significante no Brasil. Nas cidades de Curitiba, Rio de Janeiro e São Paulo, já estão sendo aplicadas essas tecnologias.

De forma geral, este tipo de aplicação envolve muito investimento, além de ser um processo lento.

Com este tipo de aplicação, poderemos produzir em nossa própria casa energia elétrica, calor para aquecimento, água e combustível para veículos. Para que isso se torne realidade, por exemplo, a Honda, juntamente com Plug Power, fabricante de células a combustível, terão que terminar o projeto Home Energy Station (Estação Residencial de Energia) que já está em sua segunda fase. (HOFFMANN, 2005)

### c) Aplicação Portátil

A maior esperança dessa aplicação é a substituição das pilhas e baterias usadas nos equipamentos eletrônicos. “O combustível preferido para essa aplicação é o metanol, podendo apresentar uma potência de até dois quilowatts (2kW)”. (HOFFMANN, 2005)

As principais aplicações vão desde laptops, celulares e lanternas até outros equipamentos.

A tecnologia não pára. Já estão sendo desenvolvidas células de combustível portátil de até duzentos watts (200W) de potência, que servirão para alimentar computadores, câmeras e outros equipamentos eletrônicos em locais onde não existe energia elétrica. (HOFFMANN, 2005)

### d) Aplicação Militar

A grande vantagem das células a combustível na aplicação militar se concentra na eficiência de gerar energia para equipamentos eletrônicos, para viagens com veículos a maiores distâncias e trabalhos em áreas desprovidas de energia, podendo durar mais tempo antes de serem reabastecidos.

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

Abaixo segue uma tabela com o preço do quilowatt (kW) para cada aplicação citada acima.

<b>Aplicação</b>	<b>Preço ideal para viabilidade comercial (Dólar)</b>
Transportes	\$50 por kW
Residências	\$300 a \$500 por kW
Centros Comerciais, Hotéis, Hospitais	\$1200 a \$3000 por kW
Estação de Energia	\$1000 a \$1500 por kW
Portáteis	\$5 000 a \$10 000 por kW

Fonte: Brasil H<sub>2</sub> Fuel Cells

## **6 – BENEFÍCIOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS**

Além de fornecer uma energia limpa e com boa eficiência, as células a combustível nos trarão muitos benefícios, tais como:

- redução da emissão de poluentes no ar, melhorando o lado da saúde da população em questão respiratória;
- redução dos gases causadores do efeito estufa;
- criação de novos empregos para esta tecnologia em diversas áreas, tanto do setor rural como urbano;
- melhoramento do setor energético, diminuindo os famosos “apagões”;
- diminuição das guerras ocasionadas pela exploração do petróleo;
- redução do lixo tóxico proveniente de baterias e pilhas nos aterros sanitários;
- redução da poluição sonora proveniente dos motores a combustão.

Portanto, são vários os benefícios da implantação desta tecnologia. Bastando, apenas conferi-los num futuro bem próximo.

## 7 – DESENVOLVIMENTO DAS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL NO BRASIL

O Brasil tem todo o suporte para a criação de uma infra-estrutura baseada no hidrogênio, energias renováveis e células a combustível, bastando apenas investir e pesquisar mais sobre essas tecnologias.

Neste ano, 2005, o Brasil apresentará o seu programa do hidrogênio, conhecido como a “Política Brasileira do Hidrogênio”, que visa uma nova era para fins energéticos, a partir de 2020.

O Brasil, na realidade, começou a preocupar e dar mais ênfase na tecnologia de célula a combustível no ano 2000. Em 2002, o Ministério da Ciência e Tecnologia lançou o ProCac ( Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível), mas não deu certo. Em 2004, o programa começou a decolar novamente com pouco investimento, e tem rendido até hoje grandes pesquisas e inovações. (HOFFMANN, 2005)

A primeira grande conquista aconteceu em 2004, com a implantação de uma célula a combustível nacional de 50 kW, que equivale a 1250 lâmpadas fluorescentes de 40W acessas, na sede da maior incubadora da América Latina (CIETEC), na cidade Universitária de São Paulo. Esta tecnologia usa como combustível hidrogênio puro e uma membrana polimérica (PEMFC). Sua aplicação está voltada para a iluminação dessa incubadora. (HOFFMANN, 2005)

A implantação dessa célula combustível foi uma grande conquista realizada pela Electrocell e instituições parceiras como o IPEN, USP, FAPESP, MCT/FINEP, ANEEL, AES e Eletropaulo, que teve um investimento de aproximadamente R\$1,75 milhões. (HOFFMANN, 2005)

Em Curitiba foram instaladas três grandes células a combustível, graças à parceria do LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) com a COPEL (Companhia Paranaense de Energia).

Uma dessas três células a combustível está na sede da Copel em Curitiba, gerando uma potência de 200kW e utiliza como tecnologia PAFC (Célula a Combustível de Ácido Fosfórico). Este modelo foi fornecido pela UTC Fuel Cells (fornecedora das células a combustível utilizada pela NASA) e conhecido como PC 25C. (HOFFMANN, 2005)

Uma quarta célula a combustível foi instalada no Centro de Pesquisa da Petrobrás, o Cenpes, no Rio de Janeiro, através da parceria do Lactec e Copel.

A instituição brasileira que mais se empenha em pesquisas e projetos com células a combustível, reforma do etanol e outras tecnologias do hidrogênio é o

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

Lactec. Por estas razões, representa o Brasil através do Ministério de Minas e Energia – na parceria Internacional para a Economia do Hidrogênio, o IPHE.

Depois do ponta-pé inicial, várias empresas tem se dedicado a pesquisas com células a combustível.

O Cepel (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), em parceria com a CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco), instalou a primeira célula a combustível nacional a funcionar a gás natural para a produção de hidrogênio, gerando uma potência de 5Kw. (SERRA, 2003)

A Cemig, juntamente com a Clamper e a Unitech, depois de apresentarem a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) em 2001 suas células a combustível alimentadas por hidrogênio, com 0,5kW e 1kW de potência, desenvolveram um sistema de células a combustível com etanol aplicado diretamente em substituição do hidrogênio, o que ainda passa por várias pesquisas. (HOFFMANN, 2005)

A Unicamp lançou em 2004 o primeiro veículo elétrico do Brasil, o Vega II. Este utiliza célula a combustível importada, compacta e alimentada por hidrogênio comprimido. Sua potência é de aproximadamente 5kW, o que é muito pouco, se comparados aos veículos desenvolvidos pelas grandes empresas automobilísticas (entre 50 e 90kW). (HOFFMANN, 2005)

A EMTU/SP (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo) está gerenciando o projeto do ônibus a hidrogênio em parceria com o Ministério de Minas e Energia e apoio financeiro do FINEP e PNUD/GEF (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). O primeiro ônibus deverá estar circulando em 2006, na cidade de São Paulo. (HOFFMANN, 2005)

E por fim, a UFRJ, a Petrobrás, o Lactec, a Electra e a Caio Induscar, estão desenvolvendo o projeto do ônibus Híbrido, assim chamado por apresentar um sistema de células a combustível e uma bateria, com cerca de 70kW de potência e desempenho comparado aos ônibus convencionais de mesma capacidade entre 210 e 240 cavalos. (HOFFMANN, 2005).

No Brasil já existem diversas instituições com o propósito de pesquisas e projetos para o desenvolvimento das células a combustível. É necessário, agora, investimento e incentivo para o desabrochar dessa revolucionária tecnologia.

## 8 – CONCLUSÃO

A energia é indispensável para a industrialização e modernização de indústrias, sendo vital para sobrevivência humana. Todos são dependentes das máquinas, necessitando delas para aquecer a água do banho, resfriar e preservar os alimentos, lavar, secar e passar roupas automaticamente, produzir trabalhos escritos,

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

como livros, revistas e jornais, iluminar casas, empresas e igrejas, ou seja, a energia é indispensável para quase todas as tarefas.

A única forma de se preservar o planeta será a utilização de fontes de energia que poluam o mínimo, ou, se possível, não poluam e que sejam renováveis, para que durem mais e permitam que o planeta ainda exista. mas para isto, todos devem ser conscientizados do problema e economizarem, cada um por si mesmo.

## 9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br.htm>. Acesso em 25 abr. 2005.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br.htm>>. Acesso em 25 abr. 2005.

Balanço Energético Anual BEM 2003. Ministério de Minas e Energia.

CIETEC. Disponível em: <http://www.cietec.org.br.htm>>. Acesso em 25 abr. 2005.

ECO, Revista. Energia a H2 para residências. [online] Disponível na Internet via WWW.URL: <http://www.eco21.com.br/> Revista Eco 21, Ano XIII, 2003.

ETT, Gerhardt. O hidrogênio como opção energética. [online] Informativo CRQ-TV, setembro / outubro de 2000.

HOFFMANN, Emilio Gomes Neto. Hidrogênio Evoluir sem Poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. – Curitiba: BRASIL H2 FUEL CELL ENERGY, 2005. 240 p.,il.

HOFFMANN, Peter. Tomorrow's Energy: Hydrogen, Fuel Cells, and the Prospects for a cleaner planet. 2001.

HONDA. Veículo movido à célula de combustível. [online] Disponível na Internet via WWW. URL: [http://www.diariopopular.com.br/04.11.01/ip\\_261004.html](http://www.diariopopular.com.br/04.11.01/ip_261004.html). Arquivo capturado em 11 de dezembro de 2004.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO. Disponível em: <http://www.lactec.org.br.htm>>. Acesso em 05 maio. 2005.

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número I Jan-jun 2010	Trabalho 05 Páginas 47-62
<a href="http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia">http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia</a>	periodicoscesg@gmail.com	

KORDESCH, K.; SIMADER, G. Fuel Cells and their Applications VCH Press NY USA, 1996.

LEITE, Rogério C. de Cerqueira. Energia para o Brasil, um modelo de sobrevivência. Rio de Janeiro: Editora Expressão e Cultura, 2002.

PORTAL CÉLULA A COMBUSTÍVEL. Disponível em: <http://www.celulaacombustivel.com.br.htm>>. Acesso em 05 maio. 2005

RIFKIN, Jeremy. A Economia do Hidrogênio. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2003.

SERRA, Eduardo T.; NETO, Alcides Codeceira. Objetivos e Situações do Projeto CHESF/CEPEL para Construção e Operação de uma Célula a Combustível de Membrana Polimérica de 5 kW (CELCOMB); 1º Encontro sobre Célula a Combustível – IPEN; 2003.