

Potencial das Diferentes Aplicações da Tecnologia de Células a Combustível

ALEXANDRE GELLERT PARIS^(1,2)
REINALDO AZEVEDO VARGAS⁽¹⁾
RUBENS CHIBA⁽¹⁾
EGBERTO GOMES FRANCO⁽³⁾
EMÍLIA SATOSHI MIYAMARU SEO⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo, SP, Brasil

⁽²⁾ PricewaterhouseCoopers, São Paulo, SP, Brasil

⁽³⁾ Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE), São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

Nos últimos anos, surgiu um novo conceito tecnológico de geração de energia de forma mais limpa, confiável e segura. As células a combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem diretamente a energia química presente em um combustível e um oxidante em energia elétrica, térmica e vapor de água. As principais vantagens das células a combustível sobre outros sistemas convencionais de geração de energia são seu caráter ambiental e sua eficiência. Este artigo tem por objetivo discutir as diferentes aplicações da tecnologia de célula a combustível.

ABSTRACT

In the last years, new technological concepts of energy generation of form more clean, trustworthy and insurance. Fuel Cells are electrochemical devices that directly convert the present chemical energy in a fuel and an oxidant into electric and thermal energy and water vapor. The main advantages of the fuel cells on other conventional systems of energy generation are its ambient character and efficiency. This article has for objective to argue the different applications of the fuel cell technology.

PALAVRAS CHAVE

Célula a Combustível, Hidrogênio, Energia.

1. INTRODUÇÃO

No contexto de algumas conquistas referentes ao desenvolvimento tecnológico que se realiza no espaço global, a humanidade, com o advento da revolução industrial, com a revolução das telecomunicações e da informática, atinge um estágio que quase conseguiu dobrar sua expectativa de vida, fez viagens espaciais tripuladas, conseguiu decodificar a maior parte de seu próprio genoma e vêm realizando conferências virtuais com pessoas dos quatro cantos do mundo simultaneamente. Esse desenvolvimento se encontra de modo extremamente descontínuo e não simultâneo nas diversas nações e regiões do mundo [1].

Quando se comparam os países pobres em desenvolvimento com os países industrializados, a expectativa de vida é 30 % menor, a mortalidade infantil é de mais de 60 mortes por mil nascimentos, comparada com menos de 20, nos países mais ricos. O analfabetismo é superior a 40 % nos países em desenvolvimento [2] e cerca de 65 % dos seres humanos nunca fizeram uma chamada telefônica. Inserido neste contexto, existem mais de dois bilhões de pessoas, ou aproximadamente um terço da população mundial, que não têm acesso à eletricidade [3].

[†] Correspondência deverá ser enviada ao Alexandre Gellert Paris:
Tel.: (11) 3816-9366; fax: (11) 3816-9370; e-mail: alexandre.paris@br.pwc.com

Outro problema do desenvolvimento é o descaso com o meio ambiente, fazendo com que cada vez mais a biodiversidade do planeta sofra perdas irreparáveis, o desmatamento e a degradação do solo aumentem a cada ano e as mudanças climáticas antropogênicas se agravam em todos os continentes.

A vulnerabilidade a panes da infra-estrutura elétrica (usinas de força e linhas de transmissão) fica cada vez mais evidente por todo mundo. Isso se dá porque mesmo com as matrizes energéticas dos países sendo bem diferenciadas, o modelo de geração de energia elétrica é basicamente o mesmo, as grandes usinas de força gerando energia para vastas áreas, por meio de quilômetros e quilômetros de linhas de transmissão e os grandes conglomerados humanos, que são as áreas que mais utilizam energia elétrica, estão geralmente afastados das usinas de geração. Como contraponto ao paradigma atual do setor energético, a utilização de células a combustível para geração de energia distribuída pode ser o alicerce de uma possível revolução não apenas energética, mas também sócio-ambiental.

O Programa Célula a Combustível (PROCEL) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) que está de acordo com o Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível (ProCaC), que em 2005, passou a se chamar Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2) tem como foco a geração de energia elétrica para aplicação estacionária (geração distribuída), e prevê estudos de impacto social, ambiental, financeiro e tecnológico na matriz energética nacional [4].

2. OBJETIVOS

Discutir as diferentes aplicações da tecnologia de células a combustível e apresentar um panorama atual da pesquisa no cenário brasileiro.

3. CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

As Células a Combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem a energia química, presente em combustíveis como o hidrogênio, diretamente em energia elétrica, térmica e vapor de água. Esta conversão ocorre por meio de reações de oxidações eletroquímicas do combustível hidrogênio (H₂) com o oxidante oxigênio (O₂) e, ao contrário dos motores de combustão, não está limitada ao ciclo de Carnot, pois ocorre diretamente. As células a combustível não necessitam da produção intermediária de energia térmica [5].

A descoberta das células a combustível antecede a do motor de combustão interna, sendo que o primeiro relato de uma operação de uma célula a combustível foi feito em 1839 por William Robert Grove. A descoberta foi baseada na reversibilidade termodinâmica da eletrólise da água, cuja reação é:



Grove detectou corrente elétrica fluindo pelos condutores de uma célula eletrolítica ao inverter o seu funcionamento, suprindo seus eletrodos com hidrogênio e oxigênio [3].

Nas Figuras 1a e 1b é mostrado o princípio de funcionamento de uma célula a combustível, que é basicamente uma bateria de operação contínua, que produz uma corrente contínua pela combustão eletroquímica a frio de um combustível gasoso, geralmente o hidrogênio. A primeira é uma célula a combustível de membrana trocadora de prótons (*PEMFC - Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) e a segunda uma célula a combustível de óxido sólido (*SOFC - Solid Oxide Fuel Cell*), e são especificamente, os dois tipos de células que o IPEN estuda e desenvolve.

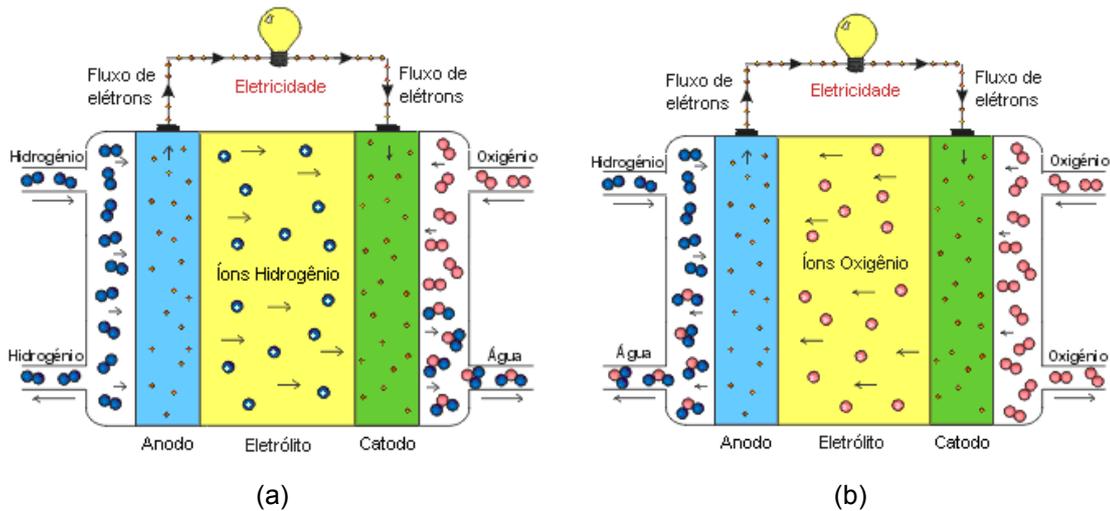


Figura 1 - Esquema simplificado de uma PEMFC (a) e de uma SOFC (b) [6].

4. O HIDROGÊNIO

O hidrogênio foi descoberto pelo cientista britânico Henry Cavendish, no ano de 1776, num estudo apresentado à Real Sociedade de Londres em que ele descreveu uma experiência a qual produzira a partir da água, oxigênio e hidrogênio com o auxílio de uma centelha elétrica. Como os elementos ainda não haviam recebido seus respectivos nomes, ele chamou um de “ar sustentador da vida” e o outro de “ar inflamável”. O químico francês Antoine Laurent Lavoisier repetiu com êxito a experiência de Cavendish em 1785 e chamou o “ar sustentador da vida” de oxigênio e o “ar inflamável” de hidrogênio [3].

O hidrogênio é o elemento mais abundante, constituindo 75 % da massa e 90 % dos átomos de todo o universo. A cada segundo, no sol, mais de 550 milhões de toneladas desse combustível se fundem para formar gás hélio. Na Terra, o hidrogênio existe quase que inteiramente sob a forma de compostos conhecidos como hidrocarbonetos ou na molécula da água, e estando presente em aproximadamente 70 % de toda superfície terrestre.

No seu estado natural e sob condições ambientes de temperatura e pressão, o hidrogênio é um gás incolor, inodoro, insípido e muito mais leve que o ar. Ele também pode estar em estado líquido, ocupando um espaço 700 vezes menor que se estivesse em forma de gás. Mas para isso ele deve estar armazenado numa temperatura de -253 °C, em sistemas criogênicos. Acima dessa temperatura o hidrogênio não pode ser liquefeito, mas pode ser armazenado na forma de gás comprimido em cilindros de alta pressão e, atualmente, armazenado em hidretos metálicos [7].

No Brasil em março de 2001 foi realizada na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), na cidade de Campinas - SP, a 1ª. Reunião do Comitê Diretor do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH), que marcou o início oficial das atividades deste centro de referência no país [8].

De fato, este processo iniciou-se durante o IV Encontro do Fórum Permanente de Energias Renováveis, realizado de 06 a 09 de outubro de 1998 em Recife - PE, que congregou os cinco centros nacionais de referência em energias renováveis existentes até então: Centro Brasileiro de Energia Eólica, localizado na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro Brasileiro para o Desenvolvimento de Energia Solar Térmica - GREEN SOLAR, instalado na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), Centro Nacional de Referência de Pequenas Centrais Hidroenergéticas (CERPCH), localizado na Escola Federal de Engenharia de Itajubá - MG (EFEI), o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e o Centro de Referência em Biomassa (CENBIO), instalado na Universidade de São Paulo (USP). Durante o encontro realizou-

se também o I Workshop de Energia do Hidrogênio, que propôs ao Fórum a criação de um centro nacional de referência em hidrogênio, o que foi aprovado na plenária final do encontro [8].

5. VULNERABILIDADE DA MATRIZ ENERGÉTICA ATUAL

De acordo com os dados do *European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform* divulgado dia 20 de janeiro de 2004 durante um seminário em Bruxelas, na Bélgica, os países da União Européia importam atualmente 50 % dos combustíveis fósseis de que necessitam e em 2025, essa dependência vai subir para 70 % [9].

As panes da rede elétrica podem ser causadas pela escassez de energia, desastres naturais ou ação de terroristas. Um relatório da *President's Commission* do EUA observou que, por volta de 2001, mais de 19 milhões de pessoas no mundo terão as técnicas de informática necessárias para provocar pequenas panes na estrutura americana de energia elétrica, e 1,3 milhão delas terão conhecimento suficiente para causar danos significativos à rede de energia. E os mesmos especialistas que prepararam esse relatório não crêem na possibilidade de defender a rede elétrica americana [3].

O primeiro grande blecaute nos EUA ocorreu em 9 de novembro de 1965. Um único relé avariado com mau funcionamento no Canadá ocasionou uma série de panes em cascata deixando mais de 30 milhões de americanos sem energia elétrica por mais de 12 horas [3].

Após o blecaute houve uma grande pressão popular para que as medidas fossem tomadas para evitar que eventos como esses tornassem a acontecer. Investigações foram empreendidas, recomendações foram feitas e mudanças foram implementadas, mas novos apagões tornaram a ocorrer.

Na noite de 13 de julho de 1977, um relâmpago atingiu uma torre em Westchester Country, norte de Nova Iorque, e provocou um curto-circuito entre duas linhas de força de alta tensão. O blecaute durou cerca de 15 horas e afetou mais de 9 milhões de americanos [3].

A costa oeste dos EUA também sofreu quedas de energia similares. A maior delas aconteceu em agosto de 1996, e o motivo foi ambiental. Era um dos dias mais quentes daquele ano, com temperaturas de até 45 °C, identificou-se que o blecaute foi causado por que linhas de força, em Oregon, que vinham se vergando devido ao excessivo calor do verão, tocaram em uma árvore, provocando o problema. Mais de 5 milhões de californianos ficaram sem força, e ao todo, nove estados foram afetados. Blecautes em cadeia atingiram a Califórnia uma segunda vez em março de 2001, afetando 800 mil pessoas. A explicação das autoridades dessa vez foi que as usinas de força não geravam energia o bastante para suportar o pico de consumo ocasionado pelo clima surpreendente quente da primavera [3].

Hoje, essa crise no setor energético, que está carente de investimentos, se agravou e juntamente com um déficit fiscal de US\$ 38 bilhões foram os motivos para provocar um "recall" que afastou Gray Davis do governo da Califórnia, o qual havia sido reeleito há apenas 11 meses. No seu lugar quem assumiu o governo foi Arnold Schwarzenegger, que vem administrando um estado quebrado e ao mesmo tempo com um produto interno bruto (PIB) equivalente ao PIB da França (quinta economia do mundo) [10].

Mas, o maior blecaute da história dos EUA aconteceu em 2003, às 16 horas do dia 14 de agosto com mais de 50 milhões de pessoas nos territórios americanos e canadenses, uma área de aproximadamente 9.600 Km² e as perdas financeiras ultrapassam os US\$ 40 bilhões. Em Nova Iorque até a sede da Organização das Nações Unidas (ONU) foi afetada. O prefeito Michael Bloomberg fez uma declaração no dia 15 que a energia elétrica voltaria ao normal, mas não foi o que aconteceu o megablecaute persistiu por mais de 30 horas [11].

Duas semanas depois, no dia 28 de agosto de 2003, em Londres mais de 400 mil pessoas foram afetadas por um apagão que paralisou mais de 60 % da rede de metro londrina e grande parte dos trens da capital britânica. O blecaute durou apenas 40 minutos, mas foi na hora de maior

movimento deixando milhares de pessoas presas nos vagões de metro. Um porta-voz da EDF Energy, a operadora responsável pela rede elétrica londrina disse que no momento do blecaute eles não estavam em condições de abastecer com eletricidade o sul da capital, devido a uma avaria da rede nesta zona [12].

Em partes da Dinamarca e da Suécia mais de 4 milhões de pessoas ficaram sem energia elétrica por três horas no dia 22 de setembro do ano passado [13]. Menos de uma semana depois, na madrugada do dia 28 de setembro mais de 50 milhões dos 57 milhões de italianos ficaram sem energia elétrica. A aparente causa do apagão, que começou às 3h e 25min, foi a queda de uma árvore em uma linha de transmissão na Suíça. Nessa mesma hora, na França, outras duas linhas de transmissão pararam aparentemente interrompidas por um raio. A Itália é um dos países da Europa com maior fragilidade no setor energético, ela importa 17 % de sua energia da França, da Suíça e da Áustria, enquanto a média dos outros países é de apenas 2 % [13].

A maior parte da energia elétrica no Brasil é gerada a partir de usinas hidrelétricas, isso desde a década de 1950, e foram elas que deram sustentação ao forte impulso do país rumo à industrialização. Atualmente as grandes centrais hidrelétricas correspondem cerca de 82 % da matriz energética brasileira.

No ano de 2001, o Brasil viveu a pior crise no setor energético de sua história, e não foi muito de surpresa, pois já em meados dos anos 90, os técnicos governamentais alertavam sobre o suprimento de energia elétrica atingindo níveis extremamente críticos nas regiões sudeste, centro-oeste e nordeste. O motivo mais determinante dessa crise foi uma sucessão de alguns anos de baixa precipitação pluviométrica, o que levou ao progressivo esvaziamento dos reservatórios das usinas hidrelétricas [13].

6. GERAÇÃO DE ENERGIA DISTRIBUÍDA

Geração de energia distribuída refere-se a pequenas usinas de geração de eletricidade, integradas ou individuais, localizadas próximas ou juntas ao usuário final. A energia distribuída poderá complementar nosso sistema atual de geração de energia que se encontra sobrecarregado em muitas partes do mundo.

Muitas fábricas, escritórios comerciais, repartições públicas e lugares onde é essencial um fluxo contínuo de eletricidade é extremamente necessário optar por geradores próprio de eletricidade. Atualmente, a maioria das microtecnologias energéticas são turbinas de combustão interna a diesel, gás natural ou recíprocos [14].

Uma vantagem da geração de energia distribuída é o tempo de construção das pequenas usinas de energia. Em geral a instalação é bem rápida, garantindo qualidade do suprimento de energia, especialmente em curto e médio prazos. As grandes usinas demoram de 4 a 10 anos para serem construídas, colocando em risco as necessidades de suprimento de energia em países como o Brasil, EUA e China.

Outra vantagem é a maior facilidade na obtenção do licenciamento ambiental e do financiamento [7]. Com substituição dessas turbinas por células a combustível, uma maior difusão e uma integração em rede podem-se gerar energia elétrica com um menor risco de panes, pois a geração será próxima ao consumidor, e eventualmente até mais barata, pois isso diminuirá drasticamente os custos e perdas na transmissão [3].

A Figura 2 mostra uma comparação entre o sistema centralizado de geração de energia elétrica e a geração distribuída. A geração distribuída de energia estacionária por sistemas de células a combustíveis tem o potencial para ser um importante nicho para esta tecnologia, onde sua capacidade instalada acompanharia a curva da demanda. Para que isso ocorra será necessária uma infra-estrutura para a geração do hidrogênio.

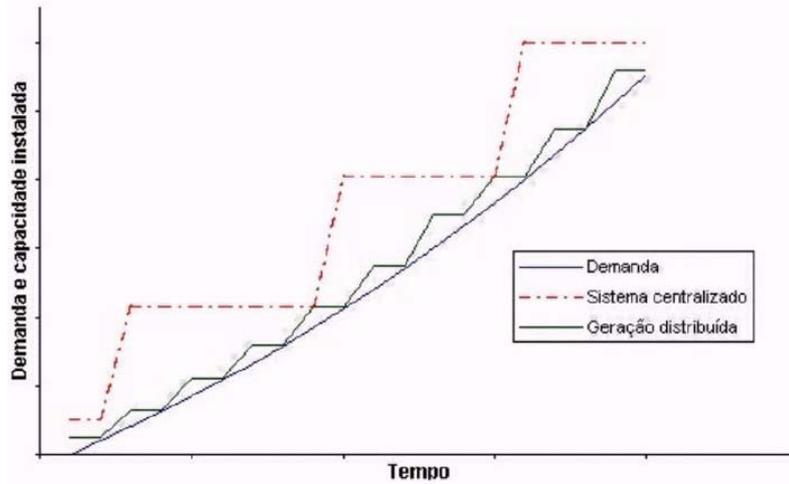


Figura 2 - Sistema centralizado e geração distribuída [15].

7. NICHOS TECNOLÓGICOS

A potência gerada pela tecnologia de célula a combustível varia de alguns Watts até 1 MW, a Figura 3 apresenta essa grande versatilidade tecnológica das células a combustível e a Figura 4 mostra o respectivo mercado potencial. Dos três tipos de aplicações (portáteis, móveis e estacionárias) as estacionárias são as únicas atualmente comercializadas, mesmo que ainda principalmente para fins de pesquisa, mas tem o potencial para serem utilizadas para sistemas de *back up* em hospitais, bancos e outros estabelecimentos que o fluxo ininterrupto de eletricidade é de suma importância e, posteriormente, para a geração de energia distribuída. Apenas esse mercado de aplicação estacionária pode chegar a 12 bilhões de dólares até 2011 [16].

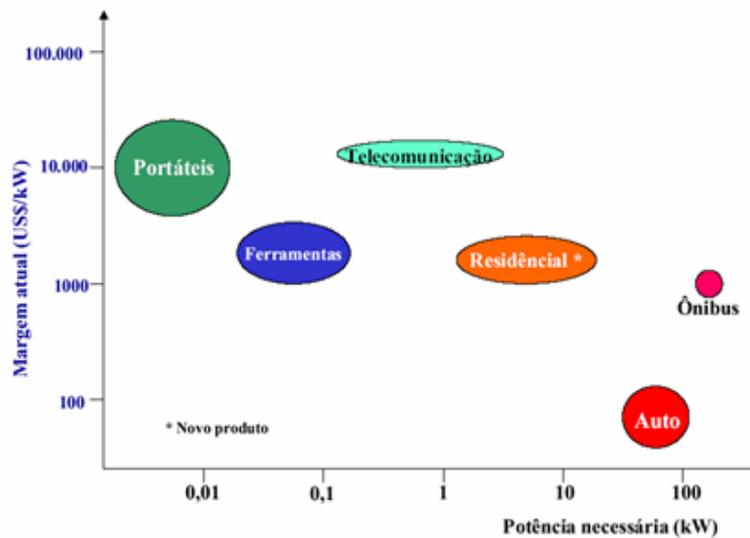


Figura 3 - Margem atual dos nichos tecnológicos para a tecnologia de célula a combustível [18].

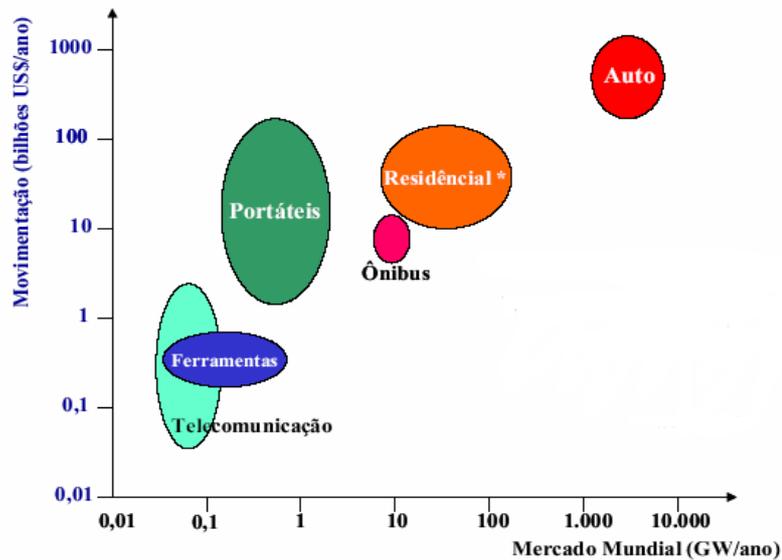


Figura 4 - Mercado potencial para a penetração de células a combustível [18].

As células a combustível portáteis serão as primeiras a conquistarem um mercado significativamente abrangente, mas as veiculares, especialmente as automotivas, devem ter as maiores movimentações financeiras em anos futuros, como indicam as figuras anteriores.

A principal barreira para uma maior difusão das células a combustível é seu custo. A aplicação portátil, se atingir custos de produção da ordem de US\$ 10.000,00 a US\$ 5.000,00 por kW e dependendo da aplicação, já será competitiva no mercado. As estacionárias precisariam atingir de US\$ 1.500,00 a US\$ 2.500,00 por kW e as veiculares de US\$ 100,00 a US\$ 200,00 por kW. A aplicação portátil, mesmo considerando os custos da redução de escala, tem potencial para ser a primeira a conquistar um mercado significativamente abrangente [18]. Apesar disso o Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil não contempla essa aplicação [19]. O motivo, provável, é desconsiderar o hidrogênio contido em álcoois, utilizado em células a combustível de álcool direto (*DAFC - Direct Alcohol Fuel Cell*), principal tecnologia para essa aplicação. As *DAFC* possuem um funcionamento idêntico com as *PEMFC* e seus principais combustíveis são o metanol e o etanol, sendo que o segundo é extremamente estratégico para o Brasil.

8. PANORAMA BRASILEIRO

No Brasil, país com enorme potencial energético em várias fontes de energia, na qual a energia hidráulica se destaca, a pesquisa em células a combustível está caminhando através da iniciativa de algumas empresas, institutos de pesquisa e universidades, apoiadas financeiramente pelas concessionárias de energia, algumas montadoras de automóveis e, aos poucos, pelo governo brasileiro [7].

O projeto de uma célula a combustível envolve desde estudos sobre quais combustíveis são mais apropriados para o mercado brasileiro (caso do etanol), quais as melhores formas de armazenar e/ou reformar estes combustíveis, qual tecnologia deve ser usada para determinada aplicação e como melhorar a durabilidade e eficiência destas tecnologias, particularmente em relação aos componentes, dentre outros estudos [20].

Verifica-se que os principais estudos de pesquisa estão voltados para o setor automobilístico e de geração de energia estacionária, principalmente residencial e comercial. Não há ainda no Brasil, instituições e empresas pesquisando aplicações de células a combustível para equipamentos portáteis. Apesar deste desinteresse nacional, esta aplicação será a de maior proximidade com o público mundial nos próximos anos [20].

Na área de combustíveis, tem-se dado uma atenção especial ao álcool da cana-de-açúcar como fonte de hidrogênio, assim como o tipo de armazenamento de hidrogênio em carros, desde comprimido até estocado em metais. Com o plano de massificação criado pela Petrobrás, o gás natural também deverá despertar a atenção dos pesquisadores e empresários [20].

O governo brasileiro tem demonstrado interesse em apoiar o desenvolvimento das células a combustível, através do lançamento oficial do ProH₂, uma iniciativa do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) coordenado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) do próprio ministério. O programa tem como principal objetivo incentivar um conjunto articulado de projetos de pesquisa, desenvolvimento e informações em diferentes áreas de atuação para desenvolver a tecnologia nacional de células a combustível [7,20].

O Instituto de Química da Universidade de São Paulo localizado em São Carlos (USP/São Carlos) foi o precursor em estudos relacionados às células a combustível.

O IPEN desenvolve pesquisas nas áreas de células a combustível dos tipos *PEMFC* e *SOFC*, produção e purificação de hidrogênio e sistemas de células a combustível, visando aplicação estacionária e geração de energia elétrica distribuída.

Empresas como a Clamper, a Unitech e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), estão investindo em projetos de células a combustível para o mercado residencial utilizando etanol e hidrogênio puro como combustíveis. No Paraná, a Companhia Paranaense de Energia (Copel) em parceria com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), está fazendo pesquisas com células a combustível da *UTC Fuel Cells*, que utiliza tecnologia *AFC*, direcionado ao mercado industrial, hospitais, para geração de energia estacionária de 200 kW ou mais, dentre outros.

Na Universidade Federal do Paraná (UFPR), há um estudo de otimização de células a combustível de tecnologia *PEMFC* financiado pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), e estudos de obtenção de hidrogênio pela eletrólise da água. Também se estuda uma modelagem teórica do funcionamento de todas as tecnologias de células a combustível.

Em São Paulo, a Electrocell em parceria com a Eletropaulo e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), está desenvolvendo *PEMFC* no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC), localizado dentro do IPEN, na USP. Os projetos envolvem o uso do etanol (álcool da cana-de-açúcar) como combustível além de aplicações em transportes e energia estacionária para o mercado industrial.

Inserido neste cenário, a UNICAMP, está desenvolvendo um protótipo de reformador de etanol para a produção de hidrogênio para aplicação em células a combustível e capaz de gerar 300 W em corrente alternada. Além deste projeto, a UNICAMP está desenvolvendo outros dois projetos de geração de energia a CaC. O primeiro, realizado em parceria com a FAPESP terá 1 kW de capacidade. O outro, desenvolvido com a Petrobrás, terá 5 kW de capacidade.

Para prestar apoio e troca de informações sobre estudos sobre o hidrogênio, foi criado o Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio pelo MCT, o Governo de São Paulo, a UNICAMP, a USP, a CEMIG e o Instituto Vitae Civilis.

Em Florianópolis, Santa Catarina, o Instituto Nacional de Eletrônica de Potência (INEP), com sede na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), juntamente com PHB Eletrônica de São Paulo, está se especializando no controle e monitoramento de uma célula a combustível de 3 kW.

A Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) também em Santa Catarina, em parceria com a Concessionária de Energia de Santa Catarina (CELESC), tem utilizado o hidrogênio puro no desenvolvimento da sua célula a combustível e pretende trabalhar também com o etanol.

Estudos também estão sendo feitos pelo Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR) para se avaliar a qualidade do álcool carburante comercial e analisar a questão da contaminação devido a transporte comum, e determinação das características do álcool para as células a combustível.

Diversas instituições pesquisam trabalhos na área de células a combustível como a Universidade Federal de São Paulo (UFSCar), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia/Universidade Federal do Rio de Janeiro (COOPE/UFRJ), Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (EMTU/SP), Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello/Petróleo Brasileiro. (Cenpes/Petrobras), Oxiteno, NovoCell, Raetch, entre outras.

Como se pode ver resumidamente, já temos no Brasil pesquisadores e investidores motivados a desenvolver células a combustível genuinamente nacionais, inclusive com intenções de exportar a tecnologia nacional. É importante, portanto, um incentivo de maior praticidade por parte do governo brasileiro para que estes atuais e futuros projetos rendam frutos para o nosso país.

O Brasil tem um grande potencial para ser referência em tecnologia do hidrogênio e ficar auto-suficiente em energia em todas as formas de aproveitamento de energia. É um ponto estratégico e crucial para o desenvolvimento e crescimento econômico do país. Com uma grande capacidade hidráulica e sucro-alcooleira, o Brasil poderá produzir hidrogênio para exportar e utilizar em suas próprias células a combustível e, com isso, poderá ser uma referência mundial em auto-suficiência em energia e exportador da tecnologia de produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio e também da tecnologia de células a combustível. Um trabalho de conscientização nas escolas deve ser feito fortemente para motivar os jovens brasileiros da importância que a energia e o meio ambiente terão no futuro deles, na nossa nação e em todo o mundo [20].

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As células a combustível estacionárias são as únicas atualmente comercializadas. As células a combustível portáteis serão as primeiras a conquistarem um mercado comercial significativamente abrangente. As aplicações móveis veiculares da tecnologia de células a combustível, especialmente as automotivas, devem ter as maiores movimentações financeiras no futuro.

No contexto internacional, verifica-se a adoção de ações visando ampliar o aproveitamento de energias renováveis com uma progressiva redução no uso dos combustíveis fósseis, reestruturando a produção, a distribuição, o uso da energia e incorporando novas tecnologias.

A maior parte do hidrogênio produzido em todo o mundo ainda é utilizado como matéria-prima na fabricação de produtos como os fertilizantes, na conversão de óleo líquido em margarina, no processo de fabricação de plásticos e no resfriamento de geradores e motores. Entretanto, as pesquisas sobre o hidrogênio estão rapidamente sendo concentradas na geração de energia elétrica, térmica e de água pura através das células a combustível.

Existe um movimento em favor de uma economia baseada no hidrogênio, e não mais no petróleo. Uma nova infra-estrutura de produção, armazenamento, distribuição e transporte e uso da energia deverá surgir nos próximos anos como forma de distanciar o mundo de um regime energético baseado em combustíveis fósseis, limitando as emissões de CO₂ a apenas duas vezes o nível pré-industrial, minimizando os efeitos do aquecimento global em todo o planeta e gerando energia de uma forma mais limpa, segura e eficiente.

Portanto, a tecnologia baseada no hidrogênio é sem dúvida muito promissora e o hidrogênio será o vetor energético do futuro, não apenas no setor energético, mas também sendo um importante alicerce sócio-ambiental.

10. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Comissão de Pós-Graduação do IPEN pelo auxílio financeiro.

8. REFERÊNCIAS

- [1] ALTVATER, E. **O Preço da Riqueza: Pilhagem Ambiental e a Nova (Des) Ordem Mundial** Editora da Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 1995.
- [2] GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento** Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- [3] RIFKIN, J. **A Economia do Hidrogênio** M.Books, São Paulo, 2003.
- [4] MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2)** Disponível em <<http://www.mct.gov.br>>, Acessado em 10 de Junho de 2006.
- [5] WENDT, H.; GÖTZ, M.; LINARDI, M. **Tecnologia de Células a Combustível** Química Nova, Vol. 23; Num. 4, Páginas 538 - 546, 2000.
- [6] CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL. **Tipos de Células.** Disponível em <<http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/tipos.html>>, Acessado em 05 de Agosto de 2007.
- [7] NETO, E. H. G. **Hidrogênio: Evoluir sem poluir** Brasil H2 Fuel Cell Energy, 1 ed., Curitiba, 2005.
- [8] CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM ENERGIA DO HIDROGÊNIO (CENEH). **Histórico** Disponível em <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh>>, Acessado em 14 de Dezembro de 2006.
- [9] FAPESP. **Comissão Européia Lança Programa para Estimular Pesquisas com Energias Sustentáveis** Disponível em <<http://www.ambientebrasil.com.br>>, Acessado em 22 de Junho de 2006.
- [10] FOLHA DE SÃO PAULO. **Eleito, Schwarzenegger se mantém vago** Edição de 9 de Outubro de 2003.
- [11] FOLHA DE SÃO PAULO. **Megablecaute persiste 30 horas depois** Edição de 16 de Agosto de 2003.
- [12] DIÁRIO DO GRANDE ABC. **Blecaute em Londres paralisa metrô e atinge 250 mil pessoas** Edição de 29 de Agosto de 2003.
- [13] FOLHA DE SÃO PAULO. **Blecaute deixa quase toda Itália sem luz** Edição de 29 de Setembro de 2003.
- [14] FARRET, F. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica** Santa Maria: Editora da UFSM, 1999.
- [15] SERRA, E. T. **Células a Combustível: Uma Alternativa para Geração de Energia e sua Inserção no Mercado Brasileiro** Rio de Janeiro, Cepel, 2006.
- [16] PRICEWATERHOUSECOOPERS. **Fuel Cells: The Opportunity for Canada** Montreal, 2002.
- [17] SERRA, E.T. **Células a Combustível: Fundamentos e Atividades do CEPEL** I Workshop Internacional de Células a Combustível, 2002.
- [18] CONTADINI, F. **P&D e o Estado-da-Arte de Células a Combustível na América do Norte** I Workshop Internacional de Células a Combustível, 2002.
- [19] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil** Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>, Acessado em 19 de Novembro de 2006.
- [20] ALDABÓ, R. **Célula a Combustível: fonte de energia da nova era** Editora Artliber, São Paulo, 2004.