

ESTUDO SOBRE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO ATRAVÉS DA ELETRÓLISE DA ÁGUA: UM DESAFIO A ENGENHARIA NACIONAL

Eduardo Lima Costa – eduardolima.ufopa@gmail.com

Universidade Federal do Oeste do Pará

Rua Vera Paz, Bairro Salé. S/N

CEP 68035-110 – Santarém-Pará

Georgios Joannis Ninos Neto – georgios.ninos@gmail.com

Universidade Federal do Oeste do Pará

Rua Vera Paz, Bairro Salé. S/N

CEP 68035-110 – Santarém-Pará

José Roberto Branco Ramos Filho - robertobrancofilho@gmail.com

Universidade Federal do Oeste do Pará

Rua Vera Paz, Bairro Salé. S/N

CEP 68035-110 – Santarém-Pará

Marlison Jorge Imbiriba Corrêa – marlisonmjjc@hotmail.com

Universidade Federal do Oeste do Pará

Rua Vera Paz, Bairro Salé. S/N

CEP 68035-110 – Santarém-Pará

***Resumo:** A matriz energética internacional ainda é liderada pelo uso de combustíveis fósseis, e se torna preocupante a dependência desses recursos devido à emissão de gases poluentes na atmosfera. Neste contexto, cada vez mais países procuram alternativas energéticas limpas e/ou renováveis. O estudo de células de combustível vem apresentando resultados mais satisfatórios, mas ainda inviáveis economicamente. Essas células, de modo geral, são transdutores eletroquímicos cuja operação contínua converte energia química em energia elétrica, através do processo de rearranjo de um átomo de oxigênio com dois átomos de hidrogênio (H_2), resultando em água, energia elétrica e energia térmica. Como o hidrogênio não está de forma livre na natureza, para sua obtenção é necessário dissociar uma fonte primária de energia como, por exemplo, hidrocarbonetos, biomassa ou a água. Cada país usa a alternativa de produção do H_2 do modo que mais os convém, adequando aos recursos disponíveis em seu território. A produção por meio da eletrólise da água é considerada o processo mais versátil de produção de hidrogênio, pois podem ser construídos equipamentos para geração de gás puro de até 100.000 m³/h. O modelo brasileiro de produção de H_2 busca associar fontes renováveis como a gaseificação da biomassa, reforma do etanol e eletrólise da água, ainda que não domine completamente a tecnologia do último item. Para os engenheiros brasileiros que atuam nessa área hoje, o desafio é reduzir o custo dos equipamentos e o consumo de eletricidade nos eletrolisadores de água.*

***Palavras-chave:** Energia renovável, Células de Combustível, Hidrogênio.*

INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX o uso da energia elétrica se tornou amplamente difundida. Garantir seu suprimento de forma sustentável é de suma importância. Hoje a matriz energética internacional ainda é liderada pelo uso de combustíveis fósseis, como petróleo e seus derivados e o carvão, porém, torna-se preocupante a dependência desses recursos devido a emissão de gases poluentes na atmosfera, que podem acarretar prejuízos ao meio ambiente, além de não serem fontes renováveis. Neste contexto, cada vez mais países procuram alternativas energéticas limpas e/ou renováveis para substituição dos combustíveis fósseis, sendo fundamental conhecer a dinâmica que controla os mercados da energia para definir estratégias que tentem conciliar os objetivos econômicos, energéticos e ambientais.

O estudo de células de combustível, nas quais a energia elétrica é gerada através de células eletroquímicas, por meio de uma conversão contínua da energia química do combustível e de um oxidante, vem apresentando resultados cada vez mais satisfatórios, mas ainda inviáveis economicamente. Estas células produzem emissões que poluem pouco se comparada às tecnologias que utilizam combustíveis fósseis ou até mesmo nada, dependendo da tecnologia utilizada. Seus subprodutos, em geral, além da eletricidade, são vapor d'água e calor. As células de combustível são muito mais eficientes na conversão em trabalho da energia liberada na reação de combustão, porque não são dispositivos térmicos (VILLULLAS *et al.*, 2002).

A maioria das células utiliza o hidrogênio como combustível e este não está disponível de forma livre na natureza, apenas ligado a outros elementos. Segundo FOSTER *et al.* (2005) dentre as vantagens do hidrogênio se evidenciam seu alto poder calorífico (apesar da pequena massa específica), não ser tóxico e ser bastante reativo. Para sua obtenção é necessário dissociar uma fonte primária de energia como, por exemplo, hidrocarbonetos, biomassa ou a água. O processo que envolve a água pode ser considerado o mais atraente hoje em dia, pois com ausência de carbono não se gera gases poluentes, apenas moléculas de oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2), e ainda possui maior taxa de geração do combustível. Isso é possível com o uso da técnica de eletrólise, onde uma corrente elétrica através do fluido gera reações químicas na água, e conseqüentemente a separa em O_2 e H_2 . O mesmo vapor d'água ainda pode ser condensado e reutilizado, com o conceito de célula regenerativa, para gerar mais energia. Pode-se associar outra fonte de energia renovável, como a solar fotovoltaica, hidroelétrica ou eólica, para obter a eletricidade necessária na eletrólise.

A engenharia tem um papel importante na busca por novas técnicas e materiais que ajudem no desenvolvimento dessa tecnologia, baixando os custos de produção e incentivando a geração de energia elétrica em larga escala para atender indústrias, serviços e residências. Vários governos investem em pesquisas para o avanço das células a hidrogênio, prova disso foi a criação da Parceria Internacional para Economia do Hidrogênio - IPHE, na sigla em inglês – da qual o Brasil é integrante. Embora o governo brasileiro apoie essa linha de estudo, os investimentos ainda são poucos comparados aos das outras nações interessadas. Entretanto, o planejamento nacional traça metas a curto, médio e longo prazo, para a ampliação e inovação desse setor, considerado por muitos a energia do futuro, eficiente e limpa.

CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL

Seja para a manipulação ou para o armazenamento de combustíveis e substâncias inflamáveis, sempre deverão prevalecer critérios básicos para a segurança, e condições impostas pelos próprios elementos. Esses cuidados nos possibilitam a utilização diária de nossos carros, ou quaisquer outros meios de transporte, que apresentam riscos iminentes com a utilização destas substâncias. Empiricamente difundiu-se, em meio ao público, o conceito de

que o hidrogênio é altamente perigoso, contudo, pesquisas recentes já evidenciam que ao se comparar o hidrogênio com outras fontes, como por exemplo, a gasolina, os perigos inerentes aos mesmos não se sobressaem um ao outro, do ponto de vista da segurança.

As células de combustíveis, de modo geral, são transdutores eletroquímicos cuja operação contínua converte energia química em energia elétrica, através do processo de rearranjo de um átomo de oxigênio com dois átomos de hidrogênio, resultando em água, energia elétrica e energia térmica. As células de combustíveis são nomeadas por suas tecnologias de funcionamento, produção ou modo de utilização. Porém, para a compreensão de seu funcionamento, será abordada a célula do tipo PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, traduzida por Célula de Combustível com Membrana de Troca de Prótons), pois sua produção no Brasil possui um conteúdo significativo de tecnologia nacional.

As células do tipo PEMFC (Figura 1) são caracterizadas principalmente por um eletrocatalisador, um cátodo, um ânodo e uma membrana polimérica entre os eletrodos. Esta última permite a passagem dos íons positivos, além de ser resistente à passagem da corrente elétrica, pois caso a membrana polimérica apresentasse essa condutividade, os elétrons migrariam por ela, ao invés de pelo circuito externo, e causaria um curto-circuito na célula.

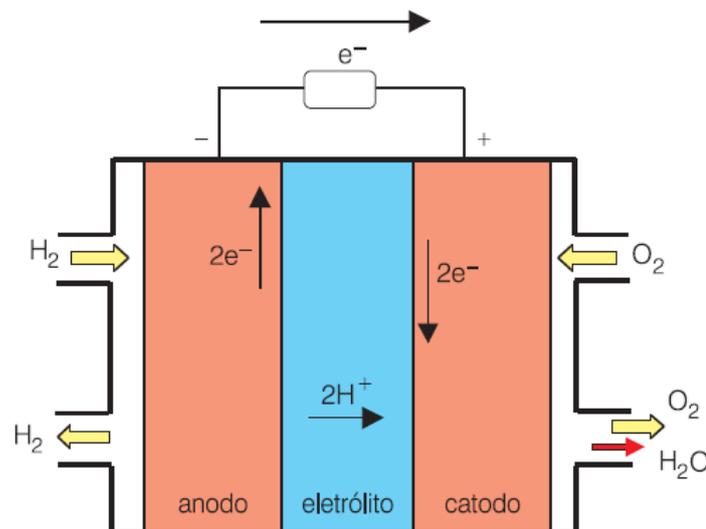


Figura 1 - Esquema de célula a combustível hidrogênio/oxigênio. FONTE: (VILLULLAS et al. , 2002).

O ânodo desempenha a função de conduzir os elétrons liberados das moléculas de hidrogênio para que sejam usados no circuito externo, cujo papel é dispersar igualmente o hidrogênio sobre o catalisador. Por outro lado o cátodo exerce a função de dispersar o oxigênio na superfície do catalisador além de encaminhar os elétrons a retornarem ao circuito externo. A membrana funciona como um eletrólito especialmente tratado que somente conduz íons positivamente carregados, bloqueando assim os elétrons. O catalisador tem como objetivo facilitar a reação entre o oxigênio e o hidrogênio, sendo geralmente feito de pó de platina finamente coado através de papel de carbono poroso ou tecido (STEFANELLI,2013¹).

¹Célula a combustível – energia elétrica a partir do hidrogênio. Em: <http://www.stefanelli.eng.br/webpage/celula-combustivel/celula-a-combustivel.html> Acesso em: 29/12/2013.

Para o funcionamento é necessário que combustível seja fornecido à célula pelo lado do ânodo, para que em seguida entre em contato com o catalisador, e a molécula do hidrogênio se desassocie em dois íons positivos e dois elétrons numa reação exotérmica. Devido à resistência do eletrólito ao fluxo dos elétrons e sua permeabilidade aos íons, estes seguem para o cátodo, que é abastecido com o oxigênio atmosférico. A molécula de oxigênio se dissocia em dois íons negativos, cada qual interage com dois íons de hidrogênio e dois elétrons, provenientes do circuito externo, formando uma molécula de água. O eletrólito altera o equilíbrio elétrico da célula, forçando os elétrons a migrarem por algum caminho de menor resistência, este fluxo caracteriza a corrente elétrica gerada pela célula. Esta reação é caracterizada pelas seguintes equações presentes na tabela 1.

Tabela 1 – Equações de reações no ânodo e cátodo

Ânodo	Cátodo
$2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

ELETRÓLISE

A eletrólise (do grego, *eleto*=eletricidade e *lisis*=decomposição) é um processo que separa os elementos químicos de um composto através do uso da eletricidade. Ocorrendo primeiro a decomposição (ionização ou dissociação) do composto em íons e, posteriormente, com a passagem de uma corrente contínua, são obtidos os elementos químicos. Em muitos casos, dependendo da substância a ser eletrolisada e do meio em que ela ocorre, pode-se formar além de elementos, novos compostos. O processo da eletrólise é uma reação de oxirredução sendo, portanto, um fenômeno físico-químico não espontâneo devido à necessidade de energia para que o mesmo ocorra (BIANCHI, 2005).

Tipos de eletrólise

Eletrólise-ígneas

A palavra ígnea vem do latim, *ígneos*, que significa ardente, inflamado. A eletrólise ígnea é feita em um recipiente, chamado de célula ou cuba eletrolítica, constituído de modo a suportar temperaturas elevadas, pois o ponto de difusão das substâncias iônicas normalmente é muito alto.

Eletrólise em meio aquoso

Quando uma substância qualquer libera íons em meio aquoso, seja por dissociação ou por ionização, obtemos um sistema constituído por íons da substância e da auto ionização da água, apesar de ocorrer em escala muito pequena (de cada 555 milhões de moléculas da água,

apenas uma reioniza) possibilita duas alternativas de íons para se descarregarem no cátodo e no ânodo (BIANCHI, 2005).

Eletrolise alcalina da água

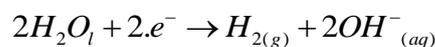
A eletrólise da água é o processo pelo qual se pode obter o hidrogênio a partir da água e eletricidade. É praticada desde o início do século XX, porém com instalações de tamanhos relativamente pequenos. Entre 1920 e o final da década de 30, um grande número de projetos diferenciados de eletrolisadores de grande porte foram desenvolvidos, levando à construção de plantas de 20 a 25.000 m³/h de hidrogênio, as quais funcionavam através da utilização de energia hidroelétrica de baixo custo, no Canadá, na Noruega e em outras localidades, para suprir a produção de amônia para fertilizantes nitrogenados (LeROY, 1983).

Denomina-se eletrólise da água o processo eletroquímico de dissociação da água, onde os produtos finais das reações desencadeadas são hidrogênio e oxigênio moleculares (FURLAN, 2012).

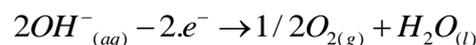
Com a aplicação de uma diferença de potencial entre os eletrodos (cátodo e ânodo) e com a existência entre eles de um meio condutor iônico líquido (solução aquosa ácida ou básica) ou sólido (membranas poliméricas ou cerâmicas permiônicas), esta decomposição é realizada através do fornecimento de corrente contínua por uma fonte de energia elétrica. Quando se aplica a força eletromotriz acima de um determinado potencial mínimo, há passagem de corrente entre os eletrodos, desencadeando as reações eletrolíticas para evolução de hidrogênio no cátodo (redução) e oxigênio no ânodo (oxidação) (FURLAN, 2012).

Para o caso de um meio condutor básico, as reações do processo são as seguintes:

No cátodo:



No ânodo:



Total:



SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO-HIDROGÊNIO

Por meio da eletrólise, o hidrogênio pode ser usado no armazenamento de energia excedente advinda de outras fontes como a hidroelétrica, solar e eólica. A principal vantagem é a possibilidade de estocagem de energia química para posterior conversão em eletricidade para atendimento de demanda no horário de ponta (FOSTER *et al.*, 2005).

Um sistema solar fotovoltaico-hidrogênio fornece diretamente a eletricidade, proveniente da radiação solar, ao eletrolisador a energia necessária para a produção do hidrogênio. As células solares são dispositivos capazes de converter de forma direta a energia luminosa em eletricidade, sendo que para isso são utilizadas as propriedades eletrônicas de uma classe de materiais conhecidas como semicondutores.

Os principais projetos de produção de hidrogênio a partir da fonte solar fotovoltaica atualmente no mundo são para fins de pesquisa de sua viabilidade técnica e financeira, e estão localizados em países europeus. São usinas destinadas ao estudo e a elaboração de métodos

matemáticos globais que envolvam todos os fluxos de energia e eficiências das transformações envolvidas, além da produção de modelos e simulações de operações desses sistemas para determinar a viabilidade dos mesmos (FURLAN, 2012).

A compreensão do funcionamento dos equipamentos tanto do sistema solar- fotovoltaico, quanto dos eletrolisadores é fundamental para a otimização do desempenho do sistema e o desenvolvimento de técnicas de operação e controle apropriadas. Esses estudos servem também para levar o consumo elétrico das células eletrolíticas o mais próximo possível do fornecimento máximo instantâneo do painel fotovoltaico.

Projetos de produção de hidrogênio no mundo a partir da energia solar

GARCIA-CONDE e ROSA (1992) apresentam uma descrição técnica de um sistema de produção de hidrogênio da energia fotovoltaica realizado na Espanha, com o objetivo de testar e verificar o uso desta tecnologia. O sistema é composto por 8,5 kW (potência pico) de painéis fotovoltaicos, com um sistema de controle que possibilita uma mudança na conexão dos painéis para que o fornecimento de tensão e corrente se ajuste à operação de um eletrolisador alcalino de 5,2 kW.

GALLI e STEFANONI (1997) descrevem uma montagem demonstrativa realizada na Itália de um sistema fotovoltaico/hidrogênio/célula a combustível, com objetivo de testar o funcionamento e a eficiência dos componentes. São descritos também o sistema de armazenagem de hidrogênio em hidretos metálicos e as características e os resultados de testes da célula a combustível. Ainda são descritos os sistemas de controle e monitoramento, importantes para a segurança do sistema, e uma planta da construção realizada para receber a montagem.

PANORAMA INTERNACIONAL

As células a combustível têm sido alvo de pesquisa e desenvolvimento (P&D) desde a década de 50; um grande incentivo foi a corrida aeroespacial entre os Estados Unidos e a extinta União Soviética, os quais utilizaram o conceito em seus ônibus espaciais e na Estação Espacial Internacional. Essa tecnologia avançou bastante ao longo dos anos, tanto em técnicas de obtenção do hidrogênio, quanto no aumento de eficiência com o advento de novos processos e materiais. O reconhecimento do hidrogênio como vetor energético do futuro reflete-se assim nos pesados investimentos mundiais, [...], mais especificamente da América do Norte (EUA e Canadá), Europa (representada por cerca de 20 países) e a Ásia (Japão, China e Coreia) (CGEE, 2002).

O Brasil e mais dezessete países integram o IPHE, estabelecido em 2003 como uma instituição internacional com a finalidade de acelerar a transição para uma economia do hidrogênio. Os países parceiros tem o compromisso de colaborar para o avanço da comercialização de tecnologias de hidrogênio e células de combustível, em um esforço para melhorar a sua oferta de energia e meio ambiente (IPHE, 2013²).

Cada país usa a alternativa de produção do H₂ do modo que mais os convém, se adequando aos recursos disponíveis em seu território. Os EUA tem como insumo, a energia nuclear, o carvão e gás natural. Embora o carvão e o gás natural sejam combustíveis fósseis, e a produção de hidrogênio através destes insumos resulte em emissões de gases de efeito estufa, a estratégia norte-americana contempla a realização da captura do carbono emitido na

² Em: www.iphe.net. Acesso em: 28/12/2013.

produção (CGEE, 2010). Os países da União Europeia priorizam o uso de fontes renováveis de energia elétrica para obterem o hidrogênio; tais como a geração solar fotovoltaica e eólica, associadas aos eletrolisadores de água. O modelo brasileiro segue a mesma linha do europeu, onde se busca associar fontes renováveis como a gaseificação da biomassa, reforma do etanol e eletrólise da água, ainda que não domine completamente a tecnologia do último item.

Profissionais como engenheiros e químicos estrangeiros estudam a substituição de materiais raros e caros, como o rutênio e a platina, na fabricação de catalisadores por materiais mais baratos com um grau igual ou superior de eficiência. E os resultados obtidos ficam cada vez mais satisfatórios devido aos elevados investimentos internacionais. Com a inserção de recursos em P&D, o Brasil avançaria no domínio da tecnologia de eletrólise da água para o uso de hidrogênio como combustível, considerado o processo mais versátil de produção de hidrogênio, pois podem ser construídos equipamentos para geração de gás puro de até 100.000 m³/h. Para efeito de comparação, segundo o CGEE (2010), os investimentos brasileiros em tecnologias de hidrogênio, tanto de origem pública, quanto privada, entre 1999 e 2007, totalizaram cerca de R\$ 134 milhões, correspondente a uma margem de 25% a 35% dos investimentos de Rússia, Índia, China ou Coreia do Sul, individualmente, e de apenas 3% a 5% dos investimentos de Japão, União Europeia ou EUA.

Grandes sistemas de cogeração de eletricidade e calor estão presentes no mundo todo, mas pequenos sistemas de geração com células PEMFC, da ordem de 10 kW, também são desenvolvidos para utilização em residências. Células combustíveis já são desenvolvidas para aplicação em meios de transporte particulares e também, com menor ênfase, em ônibus e outros veículos a células de combustível, como empilhadeiras elétricas. Neste último caso, as células PEMFC já atingiram um estágio de desenvolvimento e custos que viabilizam sua utilização comercial na substituição de bancos de baterias (CGEE, 2010).

PANORAMA BRASILEIRO

Diversas iniciativas brasileiras são reflexos das ações tomadas por outros países no sentido de desenvolvimento e utilização da tecnologia do hidrogênio, dentre elas evidencia-se grandes ações de agências financiadoras (públicas e privadas), que respondem ao interesse dos pesquisadores, das companhias de energia, das instituições associadas e da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), esta última com o papel de avaliar o uso do hidrogênio e outros combustíveis na matriz energética do país, além de investimentos prévios em centros de excelência em catálise heterogênea, petróleo e gás natural. Todas essas ações divergem para uma das áreas mais promissoras na aplicação de células a combustível atualmente no Brasil, a de sistemas de produção de energia elétrica de 5 a 200 kW para atender especialmente os casos de cargas essenciais, isto é, consumidores que necessitam de suprimento de energia elétrica com alto grau de confiabilidade. Esses consumidores são formados por empresas de telecomunicações, bancos, centros de pesquisa, hospitais, aeroportos, entre outros. Para essas finalidades células de eletrólito polimérico e de ácido fosfórico (SOFC, na sigla em inglês) são atualmente as melhores opções (CGEE, 2002).

O Brasil apresenta uma matriz energética bastante diversificada, e é um país referência em energias renováveis. De acordo com a Resenha Energética Brasileira realizada pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 2012, as energias renováveis passaram a ter uma participação de 42,4% na oferta interna de energia. Assim, torna-se favorável a introdução gradual do hidrogênio como fonte de energia. O MME vem, desde 2005, com a elaboração do Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil, se empenhando no planejamento e desenvolvimento de ações que conduzam à introdução do hidrogênio na Matriz Energética Brasileira até 2020 (FOSTER *et al.* 2005). As principais aplicações deste vetor energético são os mercados de geração distribuída de energia elétrica e transporte

veicular. O governo traça metas para avançar no P&D dessa tecnologia, como se pode ver na Figura 2:

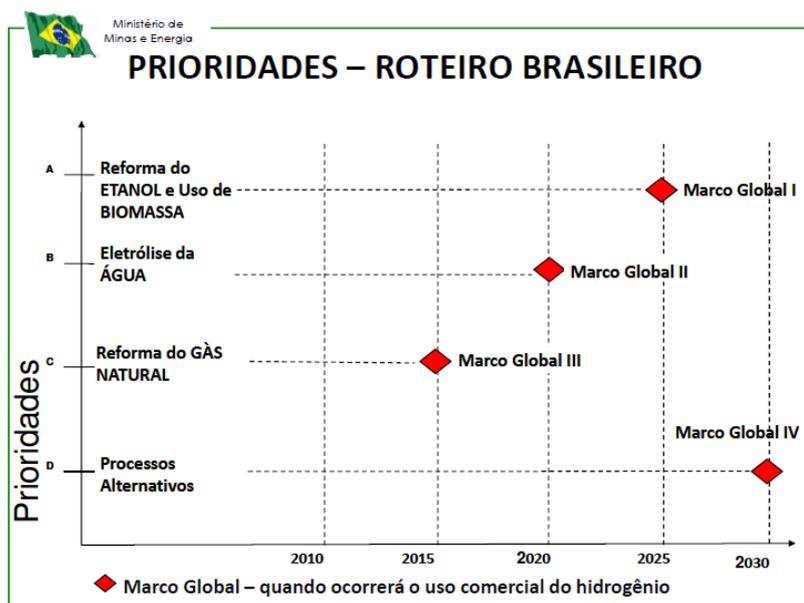


Figura 2 – Marcos globais das prioridades de produção de hidrogênio do Roteiro Nacional, revisado em 2010 (Fonte: SOUTO, 2010)

Esses marcos globais levaram primeiramente em consideração a maturidade tecnológica nas formas de produção, armazenamento, transporte e distribuição do hidrogênio, mais propícias no cenário nacional, no ano de 2005, mas como o próprio roteiro previa, esses marcos poderiam ser revisados conforme houvesse necessidade, sendo a última revisão em 2010. Com isso, manteve-se o foco nessas quatro linhas de pesquisa: reforma do etanol, eletrólise da água, reforma do gás natural e gaseificação da biomassa. A base científica para elaboração dessas metas provém de P&D de diversos grupos brasileiros sediados em universidades e em centros de tecnologia. A tecnologia brasileira em Hidrogênio está em estágio embrionário, com uma concentração de esforços nas áreas de células PEMFC, células SOFC e catalisadores e sistemas para reforma do etanol. Isso se deve ao primeiro programa para o hidrogênio do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) em 2002, Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível - *PROCaC* que contava com grupos de pesquisa em eletroquímica, sistema de produção eletrolítica do hidrogênio, entre outros. Atualmente o programa atende como Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio, PROH₂.

O PROH₂ é um importante instrumento na busca pelo avanço tecnológico, pois incentiva a cooperação em P&D, infraestrutura, projetos e principalmente a formação de recursos humanos na área de combustível de hidrogênio. Com esse fomento à formação e treinamento de pessoas, e ênfase na pós-graduação, principalmente em cursos de engenharia e química, o Brasil pode no futuro ter a sua própria tecnologia de produção de H₂ por meio da eletrólise da água. É necessária a formação de engenheiros, pois é um profissional que sabe lidar com processos de inovação e otimização, e é um setor muito carente de mão de obra no país. Uma maneira de impulsionar esse aumento de pesquisadores é por meio de bolsas de estudos em todos os níveis (estágios, formação de técnicos, iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado).

Para os engenheiros brasileiros que atuam nessa área hoje, o desafio é reduzir o custo dos equipamentos e o consumo de eletricidade nos eletrolisadores de água. Esse objetivo pode ser alcançado ao se desenvolver materiais poliméricos ou metálicos mais baratos e com resistência química adequada, eletrodos com menor consumo de energia nos catalisadores, membranas resistentes e aumento de temperatura de operação dos eletrolisadores visando menor gasto de energia. A eletrólise da água poderá ser amplamente utilizada na produção de hidrogênio, pois segundo o balanço energético de 2012, 70,1% da capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil advém da hidroeletricidade. Além é claro, da associação com outras fontes renováveis, como solar e eólica.

Ao contrário das tendências internacionais para aplicações veiculares de células a combustível, os programas nacionais visam o emprego de células no transporte coletivo rodoviário de passageiros (CGEE, 2010). Isso beneficia a forte indústria nacional de ônibus, a melhoria no trânsito urbano e a redução de emissões de poluentes nas grandes cidades.

O Projeto Ônibus Brasileiro a Hidrogênio é mais um passo importante para consolidar a invejável vocação brasileira para o uso de combustíveis renováveis e funcionará como um importante vetor que ajudará a impulsionar o desenvolvimento da nova economia no País, na medida em que permitirá a demonstração da viabilidade técnica e operacional de ônibus a célula a combustível e da estrutura de produção e abastecimento de hidrogênio (MME, 2014³).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evidentemente as células a combustível são o futuro do setor energético mundial, sendo responsáveis pela inovação e revolução do conceito de energia pura, limpa e renovável. Na corrida mundial em busca da melhor tecnologia e manipulação dessa fonte de energia, cada país faz o que mais lhe convém e nesse critério o Brasil se destaca. Países das Américas, em especial os Estados Unidos e o Canadá, visam à manipulação e utilização das células no suprimento direto do setor comercial e manufatureiro, apoiando a economia na garantia dos mais variados tipos de produtos e serviços oferecidos pela planta industrial. Os membros da UE (União Europeia), devido sua já avançada tecnologia em outras fontes de energias renováveis e ambientalmente mais seguras, como por exemplo a solar fotovoltaica e eólica, buscam investir na utilização das células de combustível como fonte auxiliar no suprimento energético residencial e na aplicação em meios de transportes, em especial os carros, sendo essa atitude a mesma adotada pelos países da Ásia. O Brasil por sua vez promove a aplicação da tecnologia no transporte público urbano e no setor logístico de distribuição de serviços e produtos.

A iniciativa brasileira ganha destaque por ser um dos mais populosos e um dos maiores países, em critério territorial, dentre os países que já são referências ou estão emergindo na tecnologia, e tal fato o coloca em grave situação. Com sua população em crescimento acentuado e já não suportando tamanha concentração em certas regiões (especialmente à região compreendida próximo ao litoral, onde se apresenta a maior aglomeração habitacional), processos migratórios de interiorização já começam a tomar força e o desafio de garantir a logística e atendimento mínimo, básico e de qualidade aos cidadãos preocupa o governo. Porém, o próprio governo fica responsável, devido sua alta burocracia e entraves institucionais, de não avançar com facilidade e naturalidade (como noutros países), na aplicação da tecnologia de forma industrial e doméstica, acessível a todos.

³ Em: www.mme.gov.br. Acesso em: 03/01/2014.

As pesquisas e o desenvolvimento das células de combustível no Brasil prosseguirão como deveriam, no momento que políticas públicas, financiamentos públicos e privados, regulamentações e incentivos advindos do setor governamental, empresarial e de P&D surgirem numa articulação de aliança consolidada. O Brasil perde muitos profissionais e tecnologia sem essas iniciativas. Investimentos em reformas de centros de pesquisas, além da capacitação de mão de obra nacional promoveriam a viabilização e desenvolvimento da tecnologia, colocando o Brasil entre os países de referência e em um possível status de exportador de conhecimento.

REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Disponível em <www.mme.gov.br>. Acesso: 03/01/2014.

BRASIL, Ministério de Ciência e Tecnologia. Disponível em <www.mct.gov.br>. Acesso: 28/12/2013.

BIANCHI, J. C. A.; ALBRRECHT, C. H.; MAIA, D. J. Universo da química: ensino médio: volume único. 1. Ed.- São Paulo: FTD, 2005.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Energéticos. Programa brasileiro de células a combustível. 2002.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Energéticos. Hidrogênio energético no Brasil: Subsídios para políticas de competitividade 2010-2015.

FOSTER, M. G. S.; ARAÚJO, S. C. S.; SILVA, M. J. Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. Anais: 3ª Conferência Nacional de C, T & I. Brasília. 2005.

FURLAN, André Luis. *“Análise comparativa de sistemas de armazenamento de energia elétrica fotovoltaica por meio de baterias e hidrogênio em localidades isoladas da região Amazônica”*/ André Luis Furlan. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

FURLAN, André Luís. *Análise técnica e econômica do uso do hidrogênio como meio armazenador de energia elétrica proveniente de fontes eólicas*. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

GALLI, S, STEFANONI, M. *“Development of a solar-hydrogen cycle in Italy”*, Int. J. Hydrogen Energy, 22(5), 453-458, 1997.

GARCIA-CONDE, A G. e ROSA, F. *“Solar hydrogen producion: A Spanish experince”*, Int. J. Hydrogen Energy, 18(12), 995-1000, 1992.

IPHE – International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy. Disponível em <www.iphe.net>. Acesso: 28/12/2013.

LEROY, R.L.; *“Industrial Water Electrolysis: Present and Future”*; International Journal of Hydrogen Energy (IJHE); v.08 (06); pp. 401-407; 1983.

Ministério de Minas e Energia. Resenha energética nacional: Exercício 2012. Disponível em <www.mme.gov.br>. Acesso: 28/12/2013.

STEFANELLI, Eduardo J. **Célula a combustível – energia elétrica a partir do hidrogênio.** Disponível em <<http://www.stefanelli.eng.br/webpage/celula-combustivel/celula-a-combustivel.html>>. Acesso: em 29/12/2013.

SOUTO, João J. de N. **Cenários para estruturação da economia do hidrogênio no Brasil.** 2010. Disponível em <www.mme.gov.br>. Acesso: 06/01/2014.

ULLEBERG, O. Modeling of advanced alkaline electrolyzers: A system simulation approach. *International Journal of Hydrogen Energy* 28, 21–33, 2003.

VILLULLAS, H. Mercedes; TICIANELLI, Edson A.; GONZÁLEZ, Ernesto R. Células a combustível: Energia limpa a partir de fontes renováveis. *Revista Química Nova na Escola*, n.15, p. 28 – 34, 2002.

Abstract: *The international energy matrix is still led by use of fossil fuels, and becomes worrisome that dependence on these resources because of their emission of pollutants gases in the atmosphere. In this context, more and more countries seek to clean and / or renewable alternative energies. The fuel cell study has shown more satisfactory results, but still economically unviable. These cells, in general, are electrochemical transducers whose continued operation converts chemical energy into electrical energy through the process of rearrangement of an oxygen atom with two hydrogen atoms (H₂), resulting in water, electricity and thermal energy. Since hydrogen is not free in nature, for its obtainment is necessary to dissociate a primary energy source, for example, hydrocarbons, biomass or water. Each country uses the alternative production of H₂ mode that suits them, adapting to available resources in their territory. The production by water electrolysis is considered the most versatile process for producing hydrogen because there is equipment for the generation of pure gas of up to 100.000 m³ / h. The Brazilian model of H₂ production seeks to associate renewable sources such as biomass gasification, reforming of ethanol and water electrolysis, although don't control completely the technology of the last item. For Brazilian engineers working in this field today, the challenge is to reduce the cost of equipment and the electricity consumption of the electrolysis of water.*

Key-words: *Renewable energy, Fuel Cell, Hydrogen.*