



**COBENGE 2005**

**XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPG-UFPE

## **PLANO DE APLICAÇÃO DE CÉLULA A COMBUSTÍVEL (PEMFC) NA ILHA DA FEITORIA, LAGOA DOS PATOS - MUNICÍPIO DE PELOTAS - RS**

**Carlos E. F. Raposo - [carloser@ceee.com.br](mailto:carloser@ceee.com.br)**

Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE),

Rua Bernardo Pires, 295, Pelotas, RS,

CEP 96020-710

**Vicente M. Canalli - [vicente@ee.pucrs.br](mailto:vicente@ee.pucrs.br)**

**Adriene S. Pereira,**

**Marçal R. Pires,**

**Jorge L. Gavillon,**

**Carla Azevedo, Henrique M. B. Simonetto,**

**Fábio A. Rahmeier,**

**Luciano L. Cerva,**

**Fernando S. dos Reis,**

**Julio C.M. de Lima.**

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica,

Av. Ipiranga 6681 - Prédio 30 – Sala 151, Porto Alegre, RS.

**Resumo:** Neste trabalho é descrito um plano de implantação de uma célula combustível na Ilha da Feitoria, Lagoa dos Patos, município de Pelotas, RS. A célula, com potência de 1 kW, abastecerá a única família de moradores permanentes na localidade. Será também realizado o tratamento da água consumida através de uma planta de ozonização, monitorada e controlada remotamente. O difícil acesso à localidade torna muito oneroso o atendimento da ilha pela rede de distribuição convencional, o que faz apontar para fontes alternativas e renováveis integradas. Simultaneamente é abordada a geração de hidrogênio por eletrólise e seu armazenamento, bem como, o desenvolvimento de uma célula do tipo PEMFC, para que na segunda etapa do projeto seja possível tornar o ciclo energético auto-suficiente e com menor dependência tecnológica

**Palavras-chave:** Célula combustível, Energia renovável, Hidrogênio, Eletrólise, Geração de energia distribuída.



combustíveis fósseis deverão ser substituídas por fontes de energia limpas, tais como hidrogênio ou outras fontes de energia renováveis. (BOCKRIS & APPLEBY, 1971; WINTER & NITSCH, 1989; PADILHA et al. 2003).

A geração de energia elétrica por células de combustível, pode ser resumida como o processo inverso da eletrólise. As células de combustível estão diretamente associadas à utilização do hidrogênio como fonte de energia e são originárias de um princípio descrito por William Grove em 1839. Este pesquisador descobriu que a combinação de hidrogênio e oxigênio resulta em água e corrente elétricas (ALDABÓ, 2004).

As células de combustível, além de configurar uma tecnologia limpa e renovável, também possibilitam sua instalação em locais distantes ou de difícil acesso, onde atualmente se torna inviável o atendimento pela rede convencional das concessionárias de energia elétrica.

Como principais objetivos deste trabalho pretende-se abordar aspectos relacionados com:

- a) Características da célula combustível a ser instalada na Ilha da Feitoria
- b) Tratamento da água por ozônio
- c) Aspectos da produção de hidrogênio por eletrólise
- d) Principais técnicas de armazenamento do hidrogênio

## 2- CARACTERÍSTICAS DA CÉLULA COMBUSTÍVEL EMPREGADA

Para produzir energia a partir do hidrogênio na Ilha da Feitoria, será empregado um gerador comercial marca Airgen ilustrado na figura 3, que opera com membrana de troca de prótons, comercializado pela Ballard.

<b>GERADOR AIRGEN DA BALLARD - 1kW</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>
<b>Potência Máxima</b>	<b>1000 Watts, 1200 VA (baterias com carga total)</b>
<b>Capacidade Sobrecarga</b>	<b>de 1400 VA por 2 segundos</b>
<b>Volts</b>	<b>120 Vac, +/- 3%</b>
<b>Frequência</b>	<b>60 Hz, +/- 1Hz</b>
<b>Forma de onda</b>	<b>Senoidal</b>
<b>THD</b>	<b>3% para carga linear e 6% para não linear</b>
<b>Ruído</b>	<b>65 dBa a 1 metro</b>
<b>Temperatura operação</b>	<b>de De 5°C à 32°C</b>

Figura 3- Módulo AirGen, Ballard com alimentação externa

As características do hidrogênio necessário para a alimentação da fonte são descritas na tabela 1:

Tabela 1 – Características do hidrogênio empregado no módulo gerador

CARACTERÍSTICAS DA ALIMENTAÇÃO COM HIDROGÊNIO	
Recipiente	Cilindro de hidrogênio comprimido
Concentração Mínima	99,995 % (níveis extremamente baixos de CO e NH <sub>3</sub> )
Consumo de combustível	18,5 slpm (standard liter per minute), c/ carga total
Autonomia (50% da carga)	Aproximadamente 15 horas com cilindro de 5,44 m <sup>3</sup>

Simultaneamente está sendo desenvolvida uma pequena célula de combustível a membrana (GAVILLON et al. 2004), como ilustra a figura 4 junto a Faculdade de Química da PUCRS, com o objetivo de reduzir a dependência tecnológica. No futuro pretende-se criar pilhas destas células, de forma a poder substituir o equipamento comercial que deverá ser instalado na ilha.



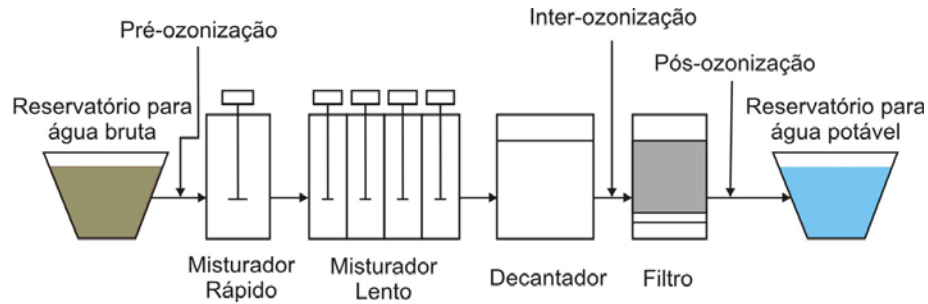
(a) Protótipo da célula

(b) Testes realizados na célula alimentada com hidrogênio

Figura 4 – Célula PEM implementada na PUCRS.

### 3- TRATAMENTO DA ÁGUA POR OZÔNIO

O aspecto da água consumida na ilha é ilustrado na figura 5(a). O tratamento da água será efetuado por uma planta de tratamento de água empregando ozônio figura 5(b). O ozonizador, com tecnologia - OZ Engenharia, empresa incubada na Universidade, será alimentado por fontes alternativas e células de hidrogênio.



(a) água coletada

(b) estação de tratamento com  $O_3$

Figura 5 - A água será tratada empregando ozônio

O ozônio tem sido indicado como um dos mais promissores meios no pré-tratamento da água uma vez que é auto-suficiente dispensando o emprego de outros produtos químicos. A matéria orgânica pode ser removida por precipitação, o controle biológico é efetivo e dependente da dosagem que pode ser controlada eletricamente em tempo real (PREISSLER, 2004). Neste processo pode ser grandemente reduzida a formação de trihalometanos. O ozônio possui uma meia vida bastante curta (15 minutos), sendo o agente oxidante mais forte depois do flúor (1,5 vezes mais forte que o cloro) (PEREIRA et. al. 2004).

#### 4- SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ESTUDADO

Está sendo implementado e estudado um sistema de comunicação, empregando telefonia celular com módulo GPRS, uma vez que foi constatada a presença de sinal na ilha. O sistema de comunicação permitirá monitorar e controlar o estado dos geradores e da água obtida na estação de tratamento de água por um responsável, desde o continente até a estação de tratamento. O projeto consiste em enviar para um IP fixo as informações das condições atmosféricas (temperatura e umidade), qualidade da água (temperatura, pH e ORP) e controle (acionamento da bomba, nível do reservatório e consumo). Os sensores conectados a uma placa de controle desenvolvida pela OZ engenharia permitirão que as informações cheguem até ao módulo transmissor GPRS e enviadas ao continente.

#### 5. POSSIBILIDADE DE GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO POR ELETRÓLISE - AUTO-SUFICIÊNCIA

A principal vantagem da eletrólise é a pureza do hidrogênio obtido, o qual é essencialmente puro, o que concorre positivamente para sua aplicação nas células combustíveis do tipo eletrólito polimérico, que suportam a presença de CO a menos de 10 ppm (GONZALEZ, 2000). A fonte de energia primária para a eletrólise pode ser o sol, empregando painéis fotovoltaicos. O hidrogênio é considerado atualmente como o principal elo energético, em função de que qualquer tipo de energia pode ser convertida em hidrogênio, por meio da eletrólise da água. Várias pesquisas vêm sendo realizadas no sentido de aumentar a eficiência da eletrólise para produção de hidrogênio, como desenvolvimento de materiais para eletrodos (visando diminuir os sobre-potenciais), novos eletrólitos de suporte e utilização dos raios infravermelhos do sol além dos fótons para gerar o hidrogênio.

O hidrogênio se adapta à maior parte das tecnologias de utilização de energia existentes, sem modificações maiores sendo considerado o combustível que tem a maior eficiência de conversão em energia, com isso sua produção torna-se um tópico extremamente importante, que atrai grande atenção no meio acadêmico e tecnológico (BOCKRIS & KHAN, 1993; PADILHA et al. 2003). É constituído de uma molécula com grande capacidade de armazenar energia e por este motivo sua utilização como fonte renovável de energia elétrica e também térmica vem sendo amplamente pesquisada. Se for produzido a partir de fontes renováveis (etanol e água) e tecnologias renováveis, como as células fotovoltaicas, turbinas eólicas e turbinas hidroelétricas, o hidrogênio torna-se um combustível renovável e ecologicamente correto (GOMES NETO, 2005). Sistemas tradicionais de aproveitamento de energia solar acumulam a energia produzida em baterias para uso mais imediato, porém, este sistema não é eficiente se o objetivo for acumular energia por um período mais prolongado, como, por exemplo, acumular energia no verão (maior incidência solar) para utilização no inverno. Podem ser empregados conversores multientrada para o processamento de energia de múltiplas fontes alternativas, incluindo as células de combustível (MATSUO et al. 1993). O hidrogênio não é considerado uma fonte primária de energia visto não existir em estado livre, em quantidade apreciável. Obter o hidrogênio significa extraí-lo de alguma substância natural com a intervenção de alguma fonte primária de energia. Em qualquer conversão há perdas relacionadas com a fuga de energia do sistema, avaliada pela Lei de Conservação, e com a dissipação, forma de perda descrita pela lei da Entropia.

## **6- PRINCIPAIS FORMAS DE ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO**

Segundo GOMES NETO (2005), se o primeiro desafio da tecnologia do hidrogênio é a sua produção e auto-suficiência, o segundo é como armazená-lo. Trata-se de um dos principais obstáculos para o estabelecimento da infra-estrutura para a tecnologia do hidrogênio. O hidrogênio tem a menor densidade no estado gasoso e o segundo ponto de ebulição de todas as substâncias conhecidas, fazendo com que se tenha dificuldades para armazená-lo no estado gasoso ou líquido. Quando em forma de gás, necessita de um sistema de armazenamento de grande volume e pressão. No estado líquido, seu armazenamento necessita de sistemas criogênicos ou com baixíssima temperatura (-253°C). As principais formas de se armazenar hidrogênio comercialmente, descritas pelo autor são:

### **6.1. Reservatórios de Gás Hidrogênio Comprimido**

Nos sistemas de armazenamento de gás em alta pressão são os mais comuns e desenvolvidos para armazenamento de hidrogênio. Cilindros de alta pressão normalmente armazenam hidrogênio com pressão de 3.600 psi (250 bar) embora recentes projetos já tenham obtido certificação para operar com 5000 psi (350 bar). O estado da arte da tecnologia atualmente em desenvolvimento já superou o teste padrão de explosão para 23.500 psi (1620 bar), utilizando um cilindro de 10.000 psi (700 bar). Os cilindros carregam informações como a marca do fabricante, o padrão de construção, número serial, pressão para uso, máxima pressão de abastecimento, e tempo de validade. Os cilindros têm uma vida útil de aproximadamente 15 anos ou 11.250 abastecimentos.

### **6.2. Reservatórios para Hidrogênio Líquido**

Os sistemas de armazenamento de hidrogênio líquido resolvem vários problemas como peso e tamanho que estão associados aos sistemas de compressão em alta pressão. Para que atingir o estado líquido o hidrogênio deve estar abaixo do seu ponto de ebulição (-253 °C) na pressão ambiente num tanque muito bem isolado, geralmente com vácuo entre duas camadas, muito parecido com uma garrafa térmica. Os tanques de armazenamento não precisam ser altamente reforçados como acontece com os cilindros de alta pressão, mas necessitam ser adequadamente robustos no caso de aplicações automotivas. O hidrogênio não pode ser armazenado no estado líquido indefinidamente. Todos os tanques, mesmo aqueles com excelente isolamento, permitem a troca de calor com os ambientes externos. A taxa de transferência de calor depende do projeto e tamanho do tanque - neste caso, quanto maior o tanque, melhor. O calor faz com que parte do hidrogênio evapore e a pressão no tanque diminua. Para diminuir a perda por evaporação, a maioria dos tanques utiliza a forma esférica, pois oferecem a menor área para um determinado volume, possuindo assim uma menor área de transferência. Os tanques têm uma pressão máxima de operação de 72 psi (5 bar).

### **6.3. Emprego de Hidretos Metálicos**

Os sistemas de armazenamento de hidrogênio através de hidretos metálicos são baseados no princípio de que alguns metais absorvem o hidrogênio gasoso sob condições de alta pressão e temperatura moderada para formar os hidretos metálicos. Esses metais liberam o gás hidrogênio quando aquecidos em baixa pressão e em alta temperatura. Resumindo, os metais absorvem e liberam o hidrogênio como uma esponja. A maior desvantagem dos hidretos metálicos não é tanto a temperatura e pressão necessárias para liberar o hidrogênio, mas a sua baixa densidade de energia. Mesmo os melhores hidretos metálicos contém somente 8% de hidrogênio em relação ao peso e assim se tornam muito pesados e caros. Outra desvantagem do armazenamento através de hidreto metálico é que devem ser carregados somente com hidrogênio puro, pois podem ser contaminados e perderem a capacidade de armazenamento caso impurezas sejam inseridas. A presença de oxigênio e água é o principal problema enfrentado, pois quimicamente eles adsorvem na superfície do metal retirando potenciais ligações para o hidrogênio. A perda de capacidade de armazenamento devido a contaminantes pode ser resolvida com inserção de calor. Outro problema associado aos hidretos de metal está relacionado à sua estrutura. Eles são geralmente produzidos na forma granular ou em pó possibilitando assim uma grande área para armazenar o gás. Todavia, as partículas são suscetíveis ao atrito, o que pode diminuir a eficiência. Até o momento, nenhum hidreto metálico atingiu uma excelente performance considerando-se alta capacidade de absorção, alta densidade, necessidade de pouco calor e de baixo custo. Em alguns casos, uma mistura de hidretos de baixa e alta temperatura pode ser usada para manter algumas vantagens inerentes a cada tipo, ao mesmo tempo em que pode introduzir desvantagens. Uma alternativa recente oferece algumas vantagens sobre os métodos anteriores, utilizando compostos como o sódio, potássio e o lítio. Estes compostos reagem com água para liberar o hidrogênio sem necessidade de calor. Assim como os outros sistemas, os hidretos de sódio são pesados e tem uma densidade de energia que pode ser comparada a obtida pelos hidretos metálicos de alta temperatura. As desvantagens são complicações mecânicas durante o processo relacionado ao corte em pequenas esferas. Outras formas de armazenar o hidrogênio também vêm sendo pesquisadas, e não estão disponíveis comercialmente.

#### **6.4.Técnica da Adsorção de Carbono**

A adsorção de carbono é uma técnica similar à aplicada aos hidretos metálicos onde o hidrogênio migra quimicamente para a superfície dos grânulos de carbono porosos. O carbono é adsorvido na temperatura de  $-185^{\circ}\text{C}$  a  $-85^{\circ}\text{C}$  e na pressão de 300 a 700 psi (21 a 48 bar). A quantidade de carbono adsorvido aumenta em baixas temperaturas. O calor em excesso de aproximadamente  $150^{\circ}\text{C}$  libera o hidrogênio.

#### **6.5.Emprego de Micro-Esferas**

Os sistemas de armazenamento empregando micro-esferas utilizam pequenas esferas de vidro, nas quais o hidrogênio é infiltrado sob alta pressão. Uma vez armazenado o hidrogênio, as esferas podem ser mantidas na temperatura ambiente sem perda. Dependendo da temperatura, o vidro é impermeável ao hidrogênio que está dentro da esfera (baixa temperatura) ou permeável (alta temperatura) para que seja libertado. A adição de uma pequena quantidade calor é suficiente para liberar o hidrogênio. Para aumentar a taxa de hidrogênio libertado, experimentos de choque entre as esferas estão sendo feitos.

### **7- CONCLUSÃO**

Através de um Projeto de P&D da ANEEL, a CEEE e a PUCRS dirigem esforços para minimizar a falta de energia elétrica na Ilha da Feitoria situada no município de Pelotas no estado do Rio Grande do Sul, empregando tecnologia de ponta e buscando manter a qualidade ambiental. Além da falta de energia a Ilha da Feitoria apresenta outros problemas que poderão ser solucionados através de equipes multidisciplinares. Este artigo pretende chamar atenção para uma nova era energética que vem surgindo com o eminente colapso dos combustíveis fósseis, bem como descrever o estado da arte da utilização do hidrogênio como matriz energética, fonte de geração distribuída e auto-sustentável. Espera-se também que o referido trabalho possa auxiliar os habitantes da Ilha e que a Universidade possa assim desempenhar seu papel junto à sociedade, com tecnologia aplicada e buscando reduzir a dependência tecnológica. O apoio recebido da CEEE neste sentido tem sido muito importante. Muitas unidades da Universidade se beneficiarão deste projeto multidisciplinar uma vez que a ilha apresenta características peculiares a estudos de diversas áreas. Através deste trabalho visa-se ressaltar a importância dos trabalhos aplicados tão pouco valorizados na área científica de nosso país. A partir desta comunidade muita outras poderão ser no futuro beneficiadas com o emprego das tecnologias absorvidas pelo meio-acadêmico.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALDABÓ, R. **Células de Combustível a Hidrogênio**, Editora Artilber, 2004.
- AWAD, A. H. & VEZIROGLU, T. N. Intern. **J. of Hydrogen Energy**, 9, 355, 1984.
- BOCKRIS, J. O'M., A. J. APPLEBY. **Environment**, 13, 51, 1971.



BOCKRIS, J. O'M & KHAN, S. O'M. **Surface Electrochemistry**, Plenum Press, New York, p. 927 e 939, 1993.

GAVILLON, J.; SIMONETTO, H. M. B.; PIRES, M. R.; AZEVEDO, C. M. N.; HOPPE, L.; KAEHLER, J. M. W.; RUSSOMANO, T.; CANALLI, V. M. Estudo e Implementação de um Protótipo de Célula de Combustível PEM, **INDUSCON**, 2004.

GOMES NETO, E. H. Hidrogênio, evoluir sem poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. Curitiba: **Brasil H2 Fuel Cell Energy**, 2005.

GONZALEZ, E. R. "Eletrocatalise e Poluição Ambiental", **Química Nova**, 23 (2), p.262-266, 2000.

MATSUO, H.; SHIGEMIZU, T.; KUROKAWA, F.; WATANABE, N. "Characteristics of The Multiple Input DC-DC Converter", **IEEE Power Electronics Specialists Conference**, p.p.115-120, 1993.

PADILHA, J. C.; SOUZA, R. F.; GONÇALVES, R. S. & DUPONT, J.. Aspectos eletroquímicos da utilização do líquido iônico BMI.BF 4 como eletrólito suporte no processo de geração de hidrogênio a partir da eletrólise da água **Anais do 12º Congresso Brasileiro de Catalise**, 2003.

PEREIRA, A. M. S.; CANALLI, V. M.; PIRES, M. R.; CERVA, L. L.; PREISLER, A. G.; PEREIRA, L. A.; REIS, F. S.; CANTELLI, M.; RAHMEIER, F. A.; LIMA, J. C. M. Tratamento de Água do Rio Guaíba com O<sub>3</sub> Empregando Protótipo de Planta de Baixo Custo, **COBEQ**, 2004.

PREISLER, A. G.; CANALLI, V. M.; CERVA, L. L.; PIRES, M. R.; REIS, F. S.; PEREIRA, L. A.; PEREIRA, A. M. S. Implementação e Automatização de uma ETA Empregando Ozônio, **CBA**, 2004.

WINTER, C. J., NITSCH, J. Intern. **J. of Hydrogen Energy**, 14,785, 1989.

## **PLAN OF IMPLANTATION OF A FUEL CELL IN FEITORIA ISLAND, LAGOA DOS PATOS, MUNICIPAL OF PELOTAS, IN STATE OF RIO GRANDE DO SUL**

*Abstract: In this work is described a plan of implantation of a fuel cell in Feitoria Island, Lagoa dos Patos, municipal of Pelotas, in state of Rio Grande do Sul. The cell, with potency of 1 kW, it will supply the only family of permanent residents in the place. It will be also accomplished the treatment of the water consumed through an ozonization, monitored and controlled remotely. The difficult access to the place makes very onerous the service of the island for the net of conventional distribution, the one that does point for integrated alternative and renewable sources. Simultaneously the hydrogen generation using electrolysis and its storing is approached, as well as, the development of a PEMFC cell type, so that in the second stage of the project, will be possible a self-sufficient energy cycle, with smaller technological dependence.*

**Key-words:** Fuel cell, Renewable Energy, Hydrogen, Electrolysis, Power Distribution.