

**Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade em Diferentes Setores**

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UMA PLANTA A CÉLULAS A  
COMBUSTÍVEL PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NOS HORÁRIOS  
DE PICO DE DEMANDA**

**PROJECT AND SIZING OF FUEL CELL PLANTS FOR REDUCING POWER  
CONSUMPTION IN PERIODS OF PEAK DEMAND**

Guilherme Basso, Felix Alberto Farret, Frank Gonzatti, Fredi Zancan Ferrigolo, Diogo Franchi e  
Maicon Miotto

**RESUMO**

Este trabalho visa discutir os conceitos para produção, armazenagem e consumo de hidrogênio com o intuito de reduzir o consumo. Além disso, são especificados os equipamentos da planta para gerar hidrogênio, o armazenamento e a conversão deste em energia elétrica através de células a combustível e hidretos metálicos, com a finalidade de reduzir o consumo no horário de ponta de demanda.

**Palavras-chave:** Hidrogênio, Hidretos metálicos, Célula a combustível.

**ABSTRACT**

This paper aims at the discussion of concepts for production, storage and consumption of hydrogen with fuel cells and metal hydrides. This combination may be used to store energy in the early hours of each day and use it in daily periods of peak demand. There is an economy in the operation of the whole system since \$/kWh in this peak period is from 5 to 15 times more expensive than other periods.

**Keywords:** Hydrogen, Metal hydrides, Fuel cell.

## 1. OBJETIVOS

Projetar, adquirir experiência, e especificar equipamentos para uma planta usando hidrogênio como combustível com o intuito de gera-lo, armazená-lo e convertê-lo em energia elétrica através de células a combustível. Este trabalho trará a concepção da planta e as especificações que facilitem tais etapas.

## 2. METODOLOGIA

Para a geração de energia através do hidrogênio armazenado foi feito um levantamento no mercado as células de combustível já com a automação interna e de menor preço. O mesmo foi feito para os equipamentos para geração de hidrogênio que atendessem as características da planta e de menor custo.

Logo após, foram realizados estudos para decidir pelo melhor meio de armazenagem de hidrogênio, levando-se em conta o custo, eficiência e segurança da operação. Os periféricos tais como: válvulas solenoides, redutores de pressão, válvulas manuais, sensores de pressão, sensores de vazão mássicos, mangueiras entre outros itens de segurança foram dimensionados e pesquisados apenas no mercado nacional.

## 3. REVISÃO DA LITERATURA

O hidrogênio ( $H_2$ ) como fonte de geração de energia elétrica com células a combustível ( $CaC$ ) apresenta-se como uma alternativa promissora devido às vantagens da energia por ele produzida por ser renovável, silenciosa, eficiente, limpa cujos subprodutos são água e calor. O hidrogênio não é um combustível primário, pois comumente está associado a um composto químico e pode ser um excelente vetor energético e exercer a função de conector e conversor entre as fontes e forma de energia (SILVA, 1991). O processo assim formado para geração de energia elétrica permite armazenar energia na forma de hidrogênio. Uma das aplicações pode ser a geração de hidrogênio na madrugada quando a energia é mais barata para reconvertê-lo em energia elétrica nos períodos de energia mais cara que são os horários de ponta de demanda. Esta forma de se utilizar o hidrogênio gerou este e outros projetos entre o CEESP/UFSM e a CEEE.

Entre os vários modelos de  $CaC$  o tipo  $PEM$  (Proton Exchange Membrane - Membrana de Troca de Prótons) é o que parece ser a melhor opção, pois são mais fáceis de ser adquiridos, tem água pura como resíduo, operam em baixas temperaturas, possibilitam uma partida relativamente rápida, seu eletrólito é um polímero sólido, o que reduz as preocupações na construção, transporte e segurança e apresentam elevada densidade de potência.

O armazenamento do gás hidrogênio pode ser feito por diferentes meios, entre os quais se destacam: a compressão em cilindros de alta pressão, armazenamento na forma líquida em tanques criogênicos e hidretos metálicos. A armazenagem de hidrogênio por compressão em cilindros de alta pressão com a massa do hidrogênio de 6 a 10% do total do armazenador a

pressões de 35 a 70 Mpa. Embora seja comercialmente disponível, essa forma de armazenamento tem custo elevado, consumo elevado de energia (uns 30%) além de problemas com a fratura mecânica e a insegurança devido à necessidade de energia para compressão do gás (LINARDI, 2010).

Na forma líquida o  $H_2$  pode ser armazenado em tanques criogênicos comumente em cilindros isolados, 20% de massa de  $H_2$  e pressões de 0,1 MPa a  $-253^\circ\text{C}$ . As desvantagens desse método são os problemas relacionados à quantidade de energia para liquefação e as perdas por evaporação (LINARDI, 2010).

A melhor opção para armazenamento atualmente parece ser na forma de hidretos metálicos, onde o  $H_2$  é absorvido ou adsorvido em estado sólido em hidretos metálicos, possuindo potencial máximo de 7% em massa de  $H_2$  e 90 kg  $H_2/m_3$  a pressões entre 0,1 e 6,0 MPa. A desvantagem são as altas temperaturas de dessorção, enquanto as vantagens são as menores pressões de trabalho o que representa maior segurança de operação e tempos de recarga favorável, além de ocupar menor volume (LINARDI, 2010).

O hidrogênio a ser armazenado pode ser obtido através da eletrólise da água. O método convencional consiste em eletrodos imersos em uma solução eletrolítica como meio condutor iônico. A temperatura de operação é de  $70^\circ\text{C}$  a  $80^\circ\text{C}$  com rendimento de 70% a 80% (STOJIC et al., 2003). A solução eletrolítica é geralmente básica, composta de hidróxido de potássio (KOH) dissolvido em água deionizada. A concentração do eletrólito, bem como a temperatura e a pressão de operação, variam para cada modelo de célula, geralmente situados na faixa de 25-30%,  $70-100^\circ\text{C}$  e 1-30 atmosferas, respectivamente.

Os eletrolisadores modernos diferem dos convencionais apenas pela existência de coberturas especiais nos eletrodos, com a deposição de catalisadores e superfícies rugosas. Os eletrodos são de aço de alta condutividade elétrica, o ânodo é recoberto por níquel rugoso e o ânodo tem a superfície ativada por tratamento eletroquímico para que a deposição de níquel possa garantir menores sobrepotenciais catódicos (ULLERBERG, 2003). Isso garante rendimentos maiores, na faixa de 75% a 85% (ULLERBERG, 2003). Alguns modelos utilizam membranas separadoras à base de teflon ou outros materiais, permitindo operar em temperaturas maiores que o convencional, os eletrolisadores avançados. Estes se caracterizam pela compacticidade e elevada densidade de corrente, usando catalisadores e metais nobres.

Muitos modelos de eletrolisador apresentam eletrólito sólido desempenhando a função de membranas separadoras. A temperatura de operação destes modelos é superior a  $120^\circ\text{C}$ , dando um rendimento que varia entre 80% e 90%. A eletrólise avançada possui características diferentes dos modelos convencionais e modernos, sendo que o modelo avançado mais conhecido baseia-se na tecnologia de funcionamento das células a combustível. A principal característica é a utilização de uma membrana iônica formada por um polímero de estrutura similar ao teflon, denominada nafion (BARBIR, 2005).

#### 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para a planta do projeto CEESP/CEEE foram adquiridas duas pilhas de célula a combustível GreenHub 3000 da empresa italiana Horizon, com potência máxima cada uma de 3 kW, alimentada com hidrogênio sob pressão de 7 a 10 bar e com pureza mínima 99,995%.

Para a alimentação da célula a combustível a melhor opção encontrada foi o eletrolisador moderno do tipo alcalino (modelo comercial “HIDROGENIA 400”) já que este apresenta eficiência mais alta. Na Figura 1 tem-se o diagrama simplificado para a produção de hidrogênio.

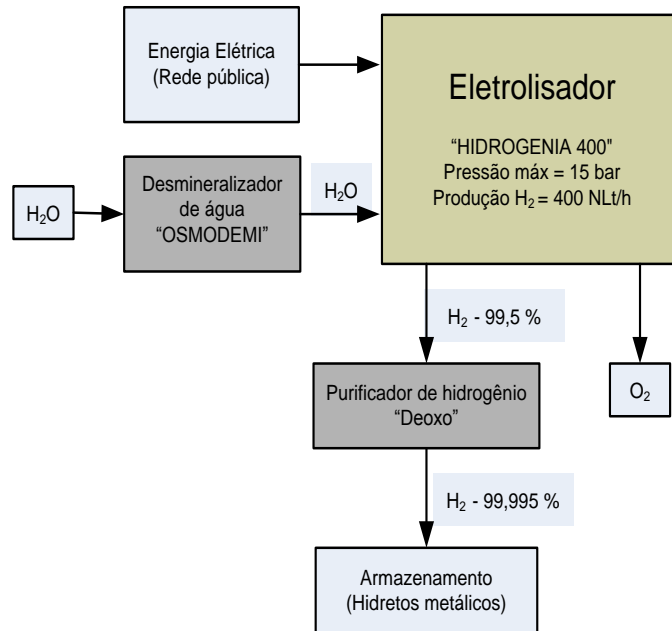


Figura 1 - Diagrama simplificado da central de produção de hidrogênio.

Das especificações técnicas do gerador de hidrogênio, nota-se que a pureza do hidrogênio na saída do eletrolisador é de, aproximadamente, 99,5%. Porém, a pureza de entrada do hidrogênio na *CaC* deve ser de 99,995%. Essa condição tem de ser atendida para garantir o bom desempenho da célula e também a vida útil da membrana. Com isso, torna-se necessária a instalação de um purificador de hidrogênio (modelo comercial “Deoxo”).

A água usada no eletrolisador deve ser isenta de minerais, pois estes podem contaminar a membrana e prejudicar o desempenho do eletrolisador. Para isso instalou-se um desmineralizador de água (modelo comercial “water demineralizer OSMODEMI 8”) com capacidade de processar até 8 L/h.

Para armazenar a produção em cilindros seria necessário um pressurizador o que elevaria o custo da planta e comprometeria a eficiência. Então, optou-se nesta planta pela armazenagem de  $H_2$  em hidretos metálicos por estes permitirem o armazenamento de  $H_2$  sob pressões menores.

Outro fator que fez com que os hidretos metálicos fossem escolhidos foi a segurança. A *CaC* trabalha em baixa pressão, assim como a geração e o armazenamento do hidrogênio tornando-se ideal para ambientes fechados. Logo, a segurança da planta toda será maior.

O modelo dos hidretos metálicos escolhido foi a da LABTech HBOND - 7000L com capacidade de 7000 litros de hidrogênio e com pressão de carga de 15 bar e de descarga de 2 a

10 bar com a liga à base de níquel, tipo de metal hidreto  $\text{LaNi}_5$ , devido as disponibilidade no mercado, assistência técnica direta do fabricante e custo acessível.

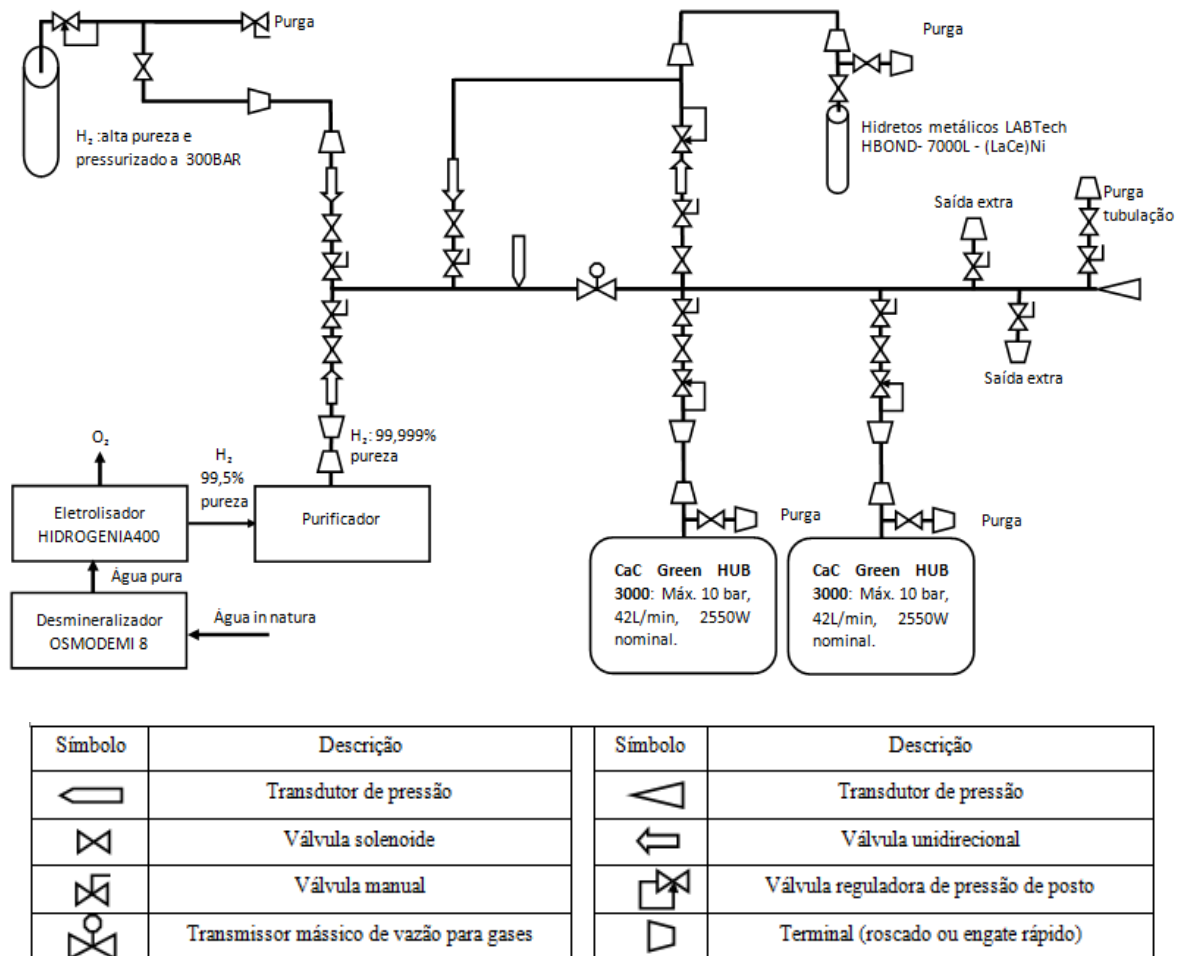


Figura 2 – Diagrama completo da planta.

## 5. LIMITAÇÕES e CONCLUSÃO

Os hidretos metálicos são a próxima geração dos armazenadores de energia na forma de combustível, e este projeto  $\text{H}_2$  pretende contribuir com esta tecnologia. Pretende-se estabelecer até onde o mercado brasileiro dispõe dos equipamentos necessários para isto, válvulas especiais para hidrogênio, sensores, atuadores e itens de segurança da tecnologia do hidrogênio e como contornar as limitações.

Quanto a  $\text{CaC}$  propriamente, os geradores de hidrogênio e os hidretos metálicos, tanto na fabricação quanto na venda estão disponíveis quase que em outros países do primeiro mundo, mas pouco em outros, incluindo o Brasil. Isto gera grandes dificuldades na concepção, domínio da tecnologia e montagem deste tipo de planta.

## **6. REFERÊNCIAS**

BARBIR, F. PEM Electrolysis for Production of Hydrogen from Renewable Energy Sources. *Solar Energy*, Vol. 78, N. 5, 2005. 661 – 664 p.

LINARDI, M. Introdução à Ciência e Tecnologia de Células a Combustível. Editora Artliber, São Paulo, 2010. 125 – 128 p.

SILVA, E. P. Introdução à Economia de Hidrogênio. 1ª Ed., Editora da Unicamp, 1991. 200 – 204 p.

STOJIC, D. L.; MARCETA, M. P.; SOVILJ, S. P.; MILJANIC, S. V. S. Hydrogen Generation from Water Electrolysis – Possibilities of Energy Saving. *Journal of Power Sources*, v. 118, n. 1-2, 2003. 315 – 319 p.

ULLERBERG, O. Modeling of Advanced Alkaline Electrolyzers: a System Simulation Approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, n.28, 2003. 21 – 33 p.