



# **CÉLULA COMBUSTÍVEL - HIDROGÊNIO A ENERGIA DO FUTURO**

**Romario de Carvalho Nunes**

**Paloma Ribeiro dos Santos**

**Julio Cesar Chalegre Coutinho**

**Jakeline Regina Alves Rezender**

**Glemerson Rodrigo Nunes Walter**

**Bárbara Emília Monteiro Nunes da Silva Lobo**

## **RESUMO**

Esta temática apresenta um breve estudo sobre a célula combustível hidrogênio. Serão abordados três temas: a obtenção, o custo benefício e o armazenamento do hidrogênio, bem como a evolução das tecnologias de captação e produção dessa célula combustível. Descreveremos aqui os principais processos de produção, a eficiência energética deste material e como o armazenamento é de extrema importância pois há diversas formas de hidrogênio ser armazenado (gasoso, líquido ou compostos intermediários) com suas vantagens e desvantagens. Ressaltamos que a viabilidade e a seleção do processo de produção de hidrogênio vão depender de alguns fatores, dentre os quais: a escala de produção, a disponibilidade da matériaprima e a utilização imediata ou armazenamento.

**Palavras-chave:** Eficiência; fósseis; produção; renováveis; tecnologia.

## **ABSTRACT**

This theme presents a brief study on the hydrogen fuel cell. The themes that will be addresses are: hydrogen achievement and benefit cost of use hydrogen storage and the evolution of hydrogen fuel cell reception and production technologies. We describe here the main production processes, the energy efficiency of this material and how storage is extremely important as there are different forms of hydrogen storage emphasize (gaseous, liquid or intermediate compounds) with its advantages and disadvantages. We stress that the viability and the selection of the hydrogen production process will depend on several factors, as: the scale of production, the raw materials and the immediate usage or storage.

**Keyword:** Efficiency; fossils; production; renewable; technology.



## **1- INTRODUÇÃO**

A cada dia é mais notável a busca de alternativas eficientes, com base no avanço tecnológico, para diminuir a dependência de suprir com fontes de energias não renováveis a matriz energética mundial. O desenvolvimento de energias renováveis vem crescendo há algum tempo, a célula combustível – hidrogênio não está entre as mais conhecidas popularmente, contudo o assunto tem sido tratado diversos autores conceituados na área, contribuindo para disseminação dos meios para seu uso sustentável.

## **2- DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 JUSTIFICATIVA:**

O preâmbulo desta temática consiste em trazer para a esfera acadêmica a discussão acerca da viabilidade da produção e comercialização do hidrogênio para células combustíveis como produto para obtenção de ENERGIA;

### **2.2 OBJETIVO GERAL:**

Explorar o conceito de energia alternativa às energias não renováveis;

### **2.3 OBJETIVO ESPECÍFICO:**

Demonstrar a possibilidade de redução da utilização de energias não renováveis e, consequentemente diminuição dos impactos socioambientais causados pelo mesmo, bem como difundir conhecimento sobre novas tecnologias geradoras desta energia;

### **2.4 OBTENÇÃO DO HIDROGÊNIO:**

O hidrogênio não existe isoladamente na natureza em seu estado puro, ele está associado a outros elementos como combustíveis fósseis e água por exemplo e está presente em todos os seres vivos.

Há várias tecnologias para a produção de hidrogênio. A viabilidade e a seleção do processo de produção de hidrogênio vão depender de alguns fatores, dentre os quais: a escala de produção, a disponibilidade da matéria-prima e a utilização imediata ou armazenamento. (FATSIKOSTAS KONDARIDES VERYKIOS, 2002)

Os principais processos de produção de hidrogênio podem ser divididos em três grandes áreas: eletrolítica, fotolítica e termoquímica (BRAGA, 2010; SILVA, 2010).

Os processos eletrolíticos para produção de hidrogênio contemplam a utilização de energia elétrica ou térmica para que se promova a reação química de decomposição da molécula de água em oxigênio e hidrogênio. Os principais exemplos destes processos são a eletrólise da água (processo convencional) e a termólise (eletrólise a vapor). Os processos fotolíticos contemplam tecnologias que utilizam a energia da luz e seus principais exemplos são os sistemas fotobiológicos e fotoeletroquímicos. A produção de hidrogênio através de processos termoquímicos envolve basicamente a matéria-prima, de origem fóssil ou renovável, calor e catalisadores para realizar as reações químicas de transformação da matéria-prima (por exemplo, metanol, gás natural, gasolina, etanol etc.) em hidrogênio.

- Principais processos termoquímicos para produção de hidrogênio: gaseificação de biomassa e pirolise, reforma a vapor, oxidação parcial e reforma auto térmica. (BRAGA, 2010; SILVA, 2010).

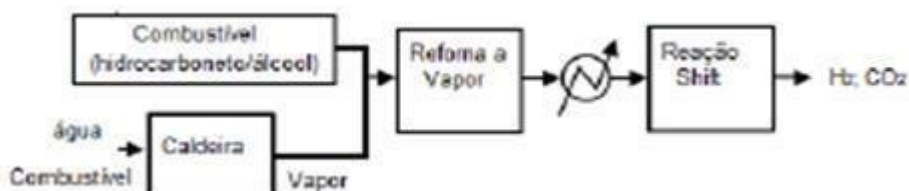
#### 2.4.1 Produção de hidrogênio por reforma a vapor:

Este tipo de reforma tem sido empregada como o principal processo para a produção de hidrogênio e responsável por metade da sua produção mundial.

A popularidade desse processo pode ser entendida devido a sua alta eficiência de conversão e relação custo-benefício em comparação com os outros processos concorrentes. (CHENA et al., 2008) A Figura 1 mostra uma configuração simples de um processo de reforma a vapor.

Conforme ilustra a Figura 1, esse processo ocorre em 2 etapas principais, uma em alta temperatura (reforma a vapor – *steam reforming*), na qual consiste o combustível (hidrocarboneto ou álcool) reagir com vapor sendo convertido em uma mistura gasosa de H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, hidrocarboneto ou álcool e vapor não reagido. A outra etapa ocorre em menor temperatura, no reator *shift* (reação de deslocamento), e o CO presente no gás síntese reage com H<sub>2</sub>O formando CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> adicional.

Figura 1- Configuração de processo de reforma a vapor (adaptado)



Fonte: (SPATH, MANN; 2000)

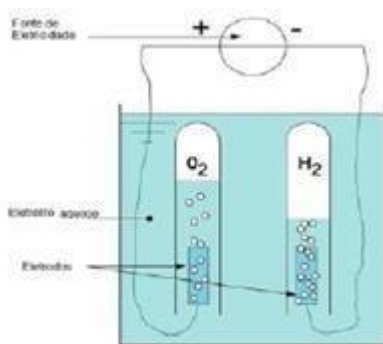
Dependendo das especificações da célula combustível em questão, uma etapa adicional de remoção de CO torna-se necessária para purificar os gases de síntese.

#### 2.4.2 Produção de hidrogênio por eletrólise da água:

Define-se eletrólise como uma reação química desencadeada a partir de uma fonte externa de energia, ou seja, a reação não é espontânea. A eletrólise da água ocorre a partir de reações parciais que se realizam nos eletrodos e em presença de condutores de energia (eletrólito) (KOLB et al., 1997). A Figura 2 ilustra uma configuração simples de eletrólise.

Conforme mostrado na Figura 2, o processo de eletrólise consiste, basicamente, de uma fonte de eletrodos (catodo e anodo), eletricidade (corrente contínua) e de eletrólito condutor de corrente. Tanto em eletrólitos ácidos como básicos, no anodo ocorre oxidação e no catodo, redução, com a consequente produção de hidrogênio. A diferença está nas espécies envolvidas no processo de oxirredução: por um lado, estão envolvidos os prótons ( $H^+$ ) e por outro, os íons hidroxila ( $OH^-$ ).

Figura 2- Configuração de um processo de eletrólise



Fonte: (HY GENERATION, 2014)

O processo de eletrólise esbarra em algumas dificuldades específicas sendo uma delas o fato da alta energia térmica necessária para quebrar a molécula de água. Estima-se que a energia necessária para realizar a eletrólise seja a mesma que a energia fornecida pelo hidrogênio.

Assim, considerando-se as dissipações da energia, gasta-se mais para realizar a eletrólise do que ela pode produzir. (LOPEZ, 2004). Contudo, sendo o hidrogênio um insumo energético, o processo parece ser interessante, à medida que se utilizem fontes renováveis na produção de energia.

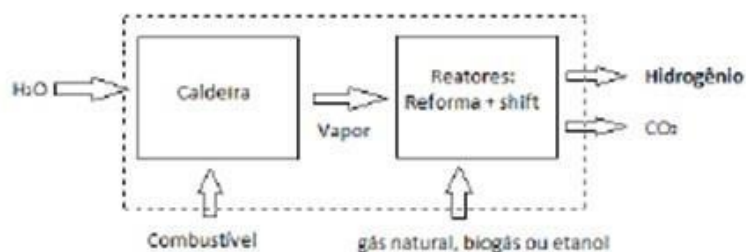
## 2.5 CUSTO-BENEFÍCIO:

### 2.5.1 Eficiência termodinâmica:

A eficiência termodinâmica calculada para os processos de reforma foi baseada na figura 3;

De acordo com a Figura 3, o processo de reforma é composto por uma caldeira, que fornece vapor para o processo e um sistema de reforma, que no caso é composto por um reformador e um reator *shift*. Como produto do processo global, tem-se o hidrogênio e, como reagentes, tem-se o combustível utilizado na caldeira e na reforma.

Figura 3- Esquema dos processos de reforma



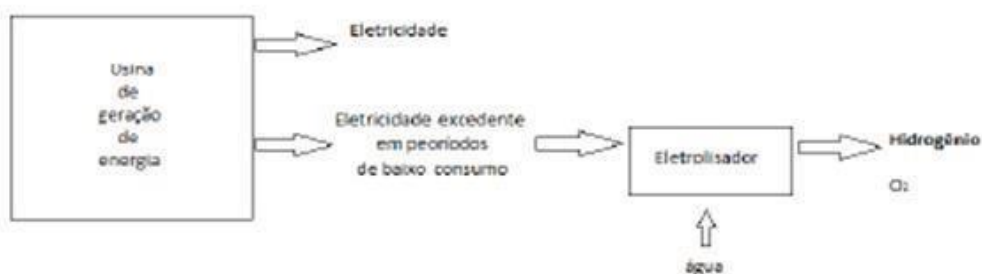
(Fonte: Braga, 2014)

### 2.5.2 Eficiência termodinâmica de processos eletrolíticos:

Para o cálculo da eficiência teórica de processos eletrolíticos, baseou-se na eficiência do eletrolisador e nas eficiências médias de usinas eólicas, fotovoltaicas e hidrelétricas.

Para o eletrolisador, sua eficiência foi calculada através de um eletrolisador comercialmente disponível. Considerou-se que a eletricidade usada para acionar esse eletrolisador e a eletricidade que deixaria de ser produzida pelas usinas em períodos de baixo consumo, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4- Esquema do processo eletrolítico



(Fonte: Braga, 2014)



Em suma, podemos resumir a eficiência energética de cada tecnologia para obtenção de hidrogênio no seguinte gráfico:



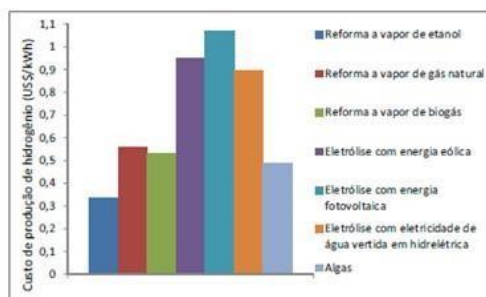
(Fonte: Braga, 2014)

### 2.5.3 Comparação econômica entre os processos de produção hidrogênio:

Foi realizada uma comparação entre os custos de produção de hidrogênio de todos os processos estudados (Figura 5). Considerou-se o período de operação de 3650 h/ano, taxa de juros de 8% e k=9 anos.

Segundo a Figura 5, é possível observar que o custo do hidrogênio a partir de eletrólise com energia fotovoltaica é o mais alto e o menor custo é de reforma a vapor de etanol.

Figura 5- Comparação do custo de produção de hidrogênio nos diferentes processos estudados



(Fonte: Braga, 2014)



De acordo com as figuras apresentadas na análise econômica, os custos diminuem com o aumento do período de amortização do capital e com o aumento do período equivalente de utilização.

Os custos de investimento influenciam, significativamente, no custo inicial e final do hidrogênio produzido. Dessa forma, como nos processos de eletrólise, o investimento no eletrolisador é maior, o custo de hidrogênio produzido por esse tipo de processo é maior do que os que utilizam sistema de reforma, principalmente, durante os primeiros anos.

A influência dos custos de operação deve-se ao consumo de combustível. No caso do sistema de reforma, o custo de operação refere-se a vaporização de água na caldeira e ao consumo de combustível na reação de reforma. Para o caso de eletrólise, o custo de operação refere-se à compra de eletricidade de usinas para acionar o eletrolisador e da água utilizada no processo.

No caso das algas, o custo de manutenção refere-se ao custo do meio que precisa ser reposto, tanto para o crescimento da alga quanto para a produção de hidrogênio.

Percebe-se que o custo inicial da produção de hidrogênio por algas é mais baixo, porém a queda do custo é menos acentuada ao longo do tempo que dos demais processos, isso se deve aos meios TAP e TAP-S que devem ser constantemente repostos. Sendo assim, é o custo de operação desse processo que influencia o custo final da produção de hidrogênio.

Como o investimento nos processos eletrolíticos são os mesmos, a diferença dos preços é bem pequena e deve-se apenas aos custos de operação.

No caso dos processos de reforma, o investimento no reformador de etanol é menor que nos reformadores de biogás e gás natural, devido a diferença de preço para manter a diferença de temperatura de operação. E por fim, se analisarmos a eficiência ecológica dos processos de obtenção do hidrogênio, temos o seguinte:



Tabela 1- Eficiências ecológicas dos processos de produção de hidrogênio

Processos	(CO <sub>2</sub> )e [kgCO <sub>2(e)</sub> /kg comb]	Indicador [kgCO <sub>2(e)</sub> /kgH <sub>2</sub> ]	ε [%]
Reforma a vapor do etanol	3,56	39	90
Reforma a vapor do etanol*	2,03	21	92,13
Reforma a vapor do gás natural**	7,52	25,05	91,63
Reforma a vapor do biogás	3,14	16,87	92,54
Reforma a vapor do biogás***	-	-	100
Eletrólise com energia de Usina eólica	-	0,60	94,9
Eletrólise com energia de Usina fotovoltaica	-	2,05	93,46
Eletrólise com energia de hidrelétrica com reservatório	-	0,34	99
Algas	-	-	100

\*considerando o ciclo do carbono

\*\* considerando a sua obtenção

\*\*\*considerando o metano que deixa de ser emitido

(Fonte: Braga, 2014)

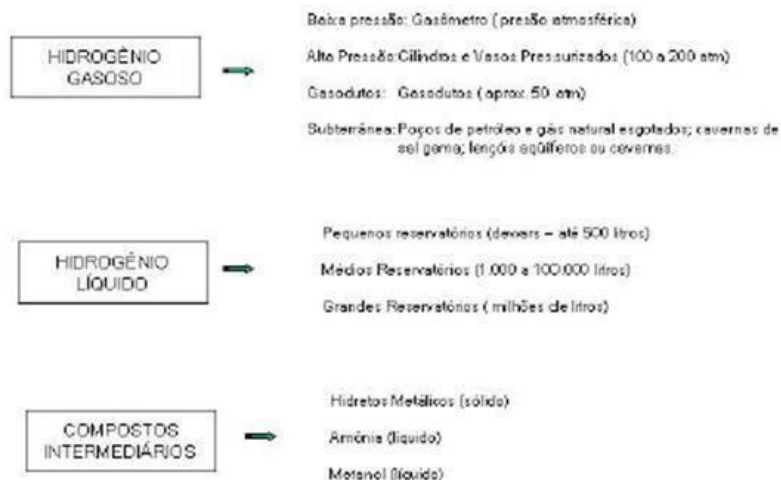
## 2.6 ARMAZENAMENTO:

Deve-se, no entanto, utilizar bancos de baterias para armazenar energia a ser utilizada em períodos nos quais a radiação não pode ser aproveitada, o que encarece muito o investimento em plantas fotovoltaicas.

O hidrogênio pode ser armazenado como um gás comprimido, na sua forma líquida ou combinado com hidretos metálicos (AMOS, 1998).



A figura 6 apresenta um resumo das formas de armazenamento do hidrogênio. Cada uma das alternativas possui vantagens e desvantagens.



(Fonte: Adaptado de Silva, 1991)

### 3 CONCLUSÃO

Desde o século passado, se pensa, com seriedade em utilizar o hidrogênio como uma alternativa para os combustíveis fósseis, por este ser um gás em grande abundância e pouco poluidor do meio ambiente. Porém, essa é uma realidade muito mais próxima, graças às diversas tecnologias que já foram e que estão sendo desenvolvidas por pesquisadores.

Considerando o fim da era do petróleo nas próximas décadas e os problemas ambientais devido às emissões de gases poluentes, a vertente que coloca o hidrogênio como possível substituto dos combustíveis fósseis ganha cada vez mais força. Conforme visto neste estudo acadêmico, existem várias formas de se obter o hidrogênio, porém para que seja ambientalmente limpo, o hidrogênio deve ser obtido através de fontes renováveis de energia.



Essas fontes incluem uso de energia oriunda de geradores eólicos, células fotovoltaica, biomassa, geotérmica e outros. A ciência da eletrólise da água tem apresentado progressos expressivos no que diz respeito ao rendimento do processo. Estudos recentes sugerem que o rendimento da reação eletroquímica pode ser aumentado consideravelmente a tornar-se atraente do ponto de vista energético e estratégico.

## **BIBLIOGRAFIA**

AMOS, W. A. *Costs of Storing and Transporting Hydrogen*. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, EUA, 1998. 216p.

BRAGA, L B. Análise econômica do uso de célula a combustível para acionamento de ônibus urbano. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Energia, UNESP, Guaratinguetá, 2010.

CHENA, Y, WANG, Y; XUB, H; XIONG, G. Efficient production of hydrogen from natural gas steam reforming in palladium membrane reactor. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 80 pp.283–294, 2008.

FATSIKOSTAS, A.N., VERYKIOS, X.. Reaction network of steam reforming of ethanol over Ni- based Catalysts. *Journal of Catalysis*, v.225, pp.439-52, 2004.

KOLB, D.M; ULMANN, R.; WILL, T. Nanofabrication of small copper clusters on gold electrodes by a scanning tunneling microscope. *Science*, vol.275, p. 1097-1099, 1997.

LOPEZ, R. A. Célula combustível a hidrogênio: fonte de energia da nova era. São Paulo: Artliber, 182 p., 2004.

SILVA, E. P. Introdução à tecnologia e economia do hidrogênio. ISBN 85-268-0174-0 Campinas: Unicamp, p. 204, 1991.