

## **PROJETO CONCEITUAL-TECNICO PARA A PRODUÇÃO DE H<sub>2</sub> BASEADO EM FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA**

**Bruno Arsioli<sup>1</sup>, Pablo Cadavid<sup>2</sup> and Wagner Oliveira<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Departamento de Tecnologia de Polímeros – Faculdade de Engenharia Química  
Universidade Estadual de Campinas  
Cidade Universitária Zeferino Vaz, Av. Albert Einstein, 500 – Barão Geraldo – CEP: 13083-970  
Campinas – SP – Brasil  
<sup>1</sup>grilloh2@yahoo.com.br ; <sup>2</sup>pablo@feq.unicamp.br

<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
wagner@ipen.br

### **RESUMO**

O aumento da demanda energética mundial tem chamado a atenção devido ao grande impacto sobre as fontes energéticas naturais não renováveis. Adicionalmente, nos dias de hoje há uma grande preocupação com relação à poluição atmosférica causada pela utilização de combustíveis fósseis. Nesse contexto o trabalho apresenta dois projetos técnicos e conceituais para a produção de hidrogênio baseados em fontes alternativas de energia. Uma delas é a produção termoquímica do hidrogênio alimentada por um reator nuclear onde a reação global fica sendo: calor mais água produz H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. O outro trabalho trata da produção de hidrogênio a partir da reforma de metano proveniente de aterros sanitários onde a reação global fica: metano mais água produz H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>. A configuração geral dos sistemas e a disposição das correntes dos processos e das plantas químicas foram analisadas nesse trabalho, de maneira que os principais aspectos foram ilustrados. Para o primeiro caso, a eficiência energética do processo de obtenção termoquímica do hidrogênio foi comparada com a da obtenção convencional por meio da eletrólise, numa tentativa de traçar um quadro comparativo entre as duas tecnologias.

### **1. INTRODUÇÃO**

O aumento da demanda energética mundial chama a atenção para o impacto desse crescimento sobre as fontes energéticas naturais e não renováveis, como as reservas de petróleo e carvão. Atualmente existe uma grande preocupação com relação ao esgotamento dessas reservas e com poluição causada pela utilização contínua e crescente dos combustíveis fósseis, o que impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias, baseadas em fontes energéticas alternativas, com o objetivo de reduzir a emissão de poluentes associados ao ciclo dos combustíveis. Avanços promissores foram atingidos nas áreas de aproveitamento da energia nuclear, eólica, hidráulica e da biomassa. A energia dessas fontes pode ser armazenada em um vetor energético para posteriormente alimentar dispositivos chamados Células a Combustível. O vetor energético mais cotado até o momento é o H<sub>2</sub>. Existem várias maneiras de produzi-lo a partir das fontes alternativas já citadas. Duas dessas formas de produção são: a produção termoquímica, utilizando-se de calor e água, e a produção baseada na reforma de metano proveniente de aterros sanitários.

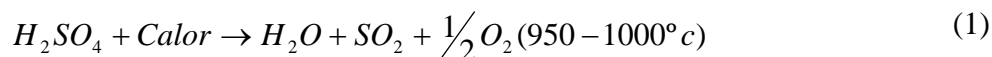
## 2. PRODUÇÃO TERMOQUÍMICA DO HIDROGÊNIO

Um reator nuclear é capaz de produzir uma grande quantidade de  $H_2$ . Para que essa produção torne-se economicamente viável, uma grande demanda deve existir [1]. Atualmente, a demanda de  $H_2$  em regiões altamente povoadas, torna sua produção baseada em energia nuclear economicamente compatível e atrativa.

Esse tipo de processo impõe algumas condições especiais para reduzir os riscos de sua utilização. Considerando isso, o conceito de Reator Nuclear de Alta Temperatura, RNAT, foi desenvolvido. A viabilidade da produção de  $H_2$  nesse tipo de reator depende de como as características particulares a cada sistema serão mescladas e da capacidade de distribuição do  $H_2$  produzido. Esses sistemas poderiam ser construídos nas proximidades de grandes centros urbanos sendo que tubulações transportariam o  $H_2$  produzido até o consumidor. Considerando-se que grandes tubulações são capazes de transportar 20GW de energia, enquanto que linhas de transmissão convencionais transportam apenas 2 GW de energia [2], podemos perceber que a produção e distribuição de  $H_2$  tem capacidade suficiente para suprir as necessidades urbanas. Há inúmeras maneiras de produzir  $H_2$  a partir da energia térmica fornecida por um reator nuclear. Um dos processos mais eficientes é a produção termo química, particularmente, o processo “Iodine-Sulfur”, no qual calor e água são cataliticamente convertidos em  $H_2$  e  $O_2$ .

### 2.1 O processo “Iodine-Sulfur”

Primeiramente temos a decomposição termoquímica do ácido sulfúrico em uma reação endotérmica a alta temperatura e baixa pressão.



Depois da separação do  $O_2$ , outras reações são necessárias para a produção de  $H_2$

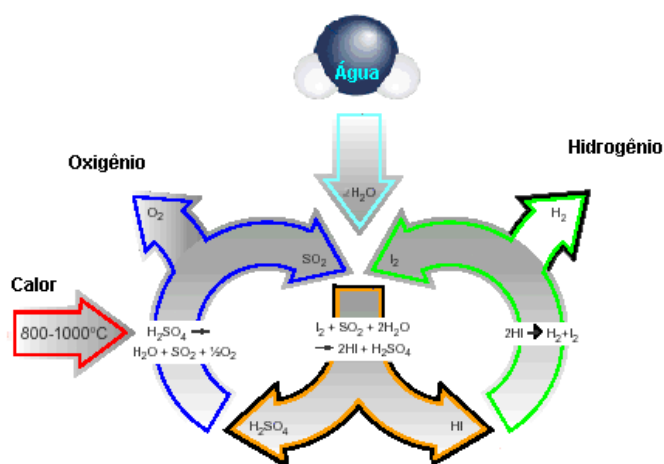
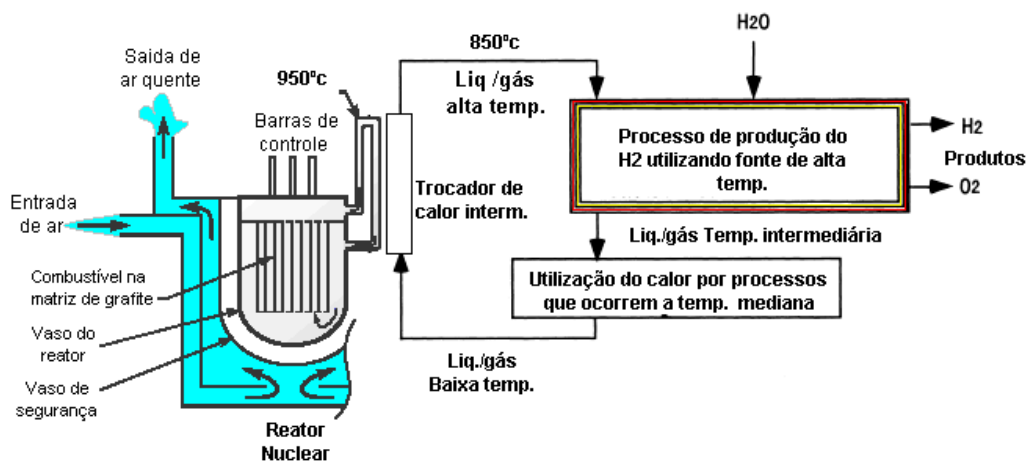


Figura:1 Processo “Iodine-Sulfur” para a produção de  $H_2$

## 2.2. Arranjo das plantas nuclear / química e análise da eficiência

A planta química precisa de uma fonte de alta temperatura e que se mantenha aproximadamente constante. Ao mesmo tempo a planta nuclear precisa ser isolada da planta química. Para que isso seja possível, utiliza-se um sistema intermediário de troca térmica capaz de transportar com eficiência a energia térmica da fonte nuclear até a planta química. É possível utilizar um gás, como He, ou um líquido, como água ou NaF/ZrF<sub>4</sub> fundidos, para atuar como fluido refrigerante do reator nuclear e no sistema de troca térmica intermediário. O uso de um sistema de refrigeração baseado na utilização de sais de fluoreto fundidos é indicado, pois são um tipo de fluido que apresenta grande compatibilidade química com a matriz de grafite que suporta o combustível no RNAT [3]. Além disso, eles apresentam grande capacidade calorífica, boas propriedades de condução térmica, reduzem os custos do aparato de bombeamento e proporcionam uma interface de baixa pressão com o sistema de troca térmica intermediário. A interface de baixa pressão é vantajosa, já que reduz o stress sobre os materiais e as chances de vazamento. Os sistemas de troca térmica do reator e intermediário precisam ser capazes de isolar a planta química do Trítio (H<sup>3</sup>) que é produzido na planta nuclear. O H<sup>3</sup> tem propriedades radioativas e deve ser evitado. A utilização de sais fundidos a base de flúor nos sistemas de troca térmica, reduzem a produção de H<sup>3</sup> [2] e dificultam sua difusão até a planta química.



**Figura:2 projeto conceitual para a integração da planta nuclear com a planta química**  
**Conceito do reator nuclear de alta temperatura, RNAT**

O reator nuclear do tipo RNAT ( reator nuclear de alta temperatura ) possui um núcleo composto por pequenas esferas de UO<sub>2</sub> recobertas com carbeto de silício. Essas micro esferas são agrupadas em uma matriz de grafite formando pastilhas, que são arranjadas na forma de um bastão. Estes são agrupados formando um bloco de grafite hexagonal que compõe o núcleo do reator e que gera o calor necessário para a planta química. Uma análise termodinâmica de todo o processo mostra que a produção termoquímica do H<sub>2</sub> pode alcançar eficiência maior que 50%, e que os custos chegam a ser 60% menores [4] que os da eletrolise a temperatura ambiente. Isso é consequência do reduzido número de transformações

INAC 2005, Santos, SP, Brazil.

energéticas. No processo termoquímico, a energia termonuclear é diretamente convertida em energia química, E nuclear → E química, com uma eficiência em torno de 50–60%. No processo de eletrólise, a energia termonuclear precisa ser transformada em energia elétrica, com eficiência em torno de 34%, e somente depois, transformada em energia química, com eficiências em torno de 75 – 80% (cuba eletrolítica convencional) ou 80–90% (utilizando a tecnologia das Células a Combustível revertíveis). Assim, temos as seguintes transformações energéticas: E nuclear → E elétrica → E química, com eficiência global em torno de 25-30%. Isso mostra quanto o processo termoquímico é mais atraente em termos econômicos e de eficiência. De qualquer forma, é necessário um grande desenvolvimento dos métodos de produção do H<sub>2</sub> baseados em sistemas alimentados por energia nuclear, o que certamente fará desta, uma importante fonte alternativa de energia.

### 3. PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO A PARTIR DA REFORMA DE GASES PROVENIENTES DE UM ATERRO SANITÁRIO

O objetivo dessa pesquisa é apresentar um projeto conceitual e técnico para a utilização de gases provenientes de um aterro sanitário na alimentação de um sistema baseado em células a combustível, capazes de produzir energia elétrica e térmica. Este projeto apresenta uma idéia inovadora que consiste em um SISTEMA INTEGRADO (aterro sanitário de Campinas SP/ Brasil, Célula a Combustível e Planta de tratamento de esgoto).

No Brasil os aterros sanitários são muito ricos em material orgânico. Isso contribui para a produção de grandes quantidades de CH<sub>4</sub> que podem ser utilizadas como fonte de energia. Com o objetivo de avaliar o potencial energético desse sistema, a quantidade de gás aproveitável gerada pelo aterro ao longo dos anos, foi calculada utilizando-se diferentes metodologias teóricas e experimentais [5]. Esses cálculos comparados aos valores experimentais medidos no aterro de Campinas, mostraram grande similaridade.

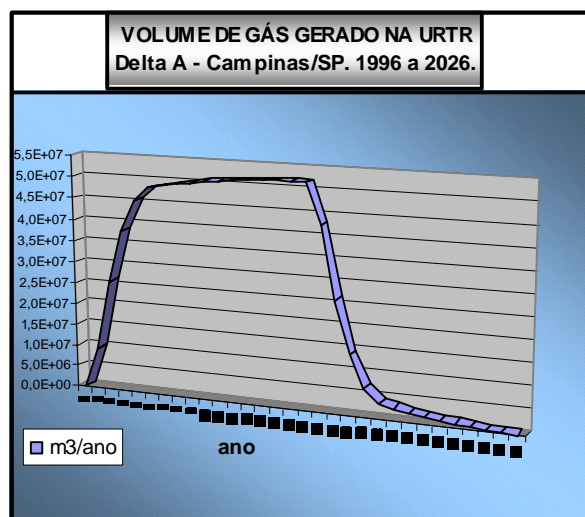


Figura:3 Geração volumétrica de gás , Delta A – Campinas/SP

O gás é composto por uma mistura de 55% CH<sub>4</sub>, 40% CO<sub>2</sub> e 5% de outros gases. O CH<sub>4</sub> é um gás estufa muito prejudicial. Sua utilização em um ciclo de combustão ou um ciclo Célula a Combustível produz como subprodutos, água e CO<sub>2</sub>, que é um gás estufa 10 vezes menos poderoso que o CH<sub>4</sub>. Os benefícios ambientais associados a utilização do CH<sub>4</sub> são evidentes, porém melhores resultados serão alcançados se um eficiente sistema de conversão energética for utilizado. O CH<sub>4</sub> pode ser queimado em um motor a combustão, acoplado a um gerador elétrico, sendo que essa configuração alcançaria eficiência máxima de 25%. A utilização de Células a Combustível permite a produção de energia elétrica com eficiência de 45%, o que certamente faz esse sistema mais atrativo.

### 3.1 Configuração do sistema

O sistema proposto utiliza a energia produzida por uma célula a combustível para alimentar uma estação de tratamento de esgoto. Evidentemente, o excesso de energia do sistema pode servir como fonte suplementar para a rede elétrica pública. Os gases produzidos pelo aterro são coletados por uma grande extensão de tubos que os leva até um módulo de pré-tratamento.

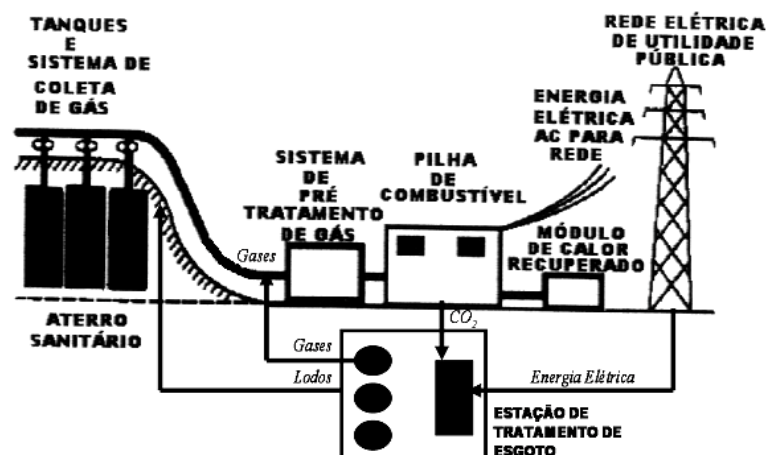


Figura:4 Representação conceitual do sistema

Com o objetivo de serem utilizados em uma Célula a Combustível do tipo PAFC, Célula de Ácido Fosfórico, os gases precisam estar livres de componentes como hidrocarbonetos pesados, enxofre e halogênios. Essa é a razão que torna necessário o uso de uma estação de pré-tratamento (UPG) (figura: 5) dos gases. A eficiência de eliminação de gases danosos á célula chega a 99,9%. Isso é de extrema importância para garantir a vida útil da PAFC. A estação de pré-tratamento desenvolvida por Sandelli USA, pode ser acoplada a PAFC, Célula de Ácido Fosfórico PC-25<sup>TM</sup> da UTC.

# UPG

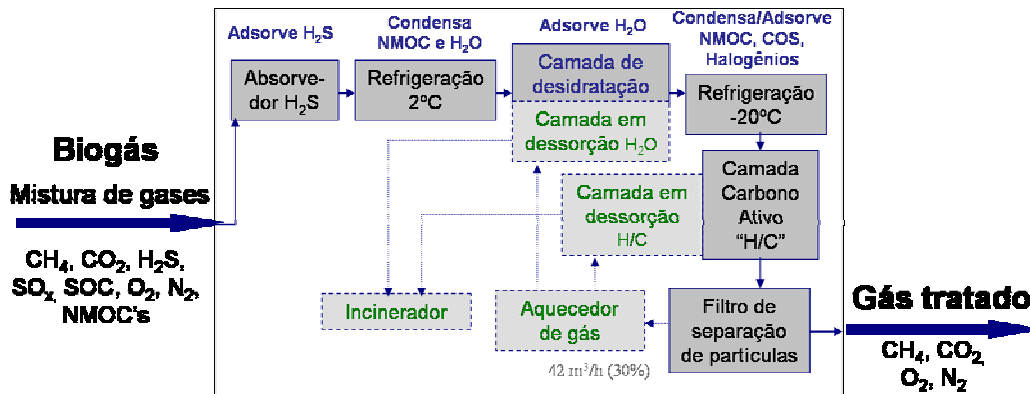


Figura: 5 Unidade de pré-tratamento dos gases

Uma estimativa preliminar do custo de instalação desse sistema, baseado em um módulo PAFC de 200 KW e considerando-se os custos de captação e tratamento dos gases, indica um investimento inicial de 1.000.000,00 US\$ [6]. ( 1998; 1,00US\$ = 2,50 R\$ ). Finalmente, o custo de instalação desse sistema está em torno de 15.000 R\$/KW, o que é bem alto quando comparado ao custo de instalação de um ciclo baseado em motor a combustão, que é cerca de 2.800 R\$/KW [5]. Essa é uma consequência dos altos preços dos equipamentos relacionados à tecnologia das Células a Combustível que ainda estão em desenvolvimento. Certamente, quando essa tecnologia tornar-se amplamente utilizada, os custos e os benefícios ambientais farão desta, a melhor alternativa para o aproveitamento dos gases energéticos produzidos em aterros sanitários e que hoje, em sua maioria, são desperdiçados.

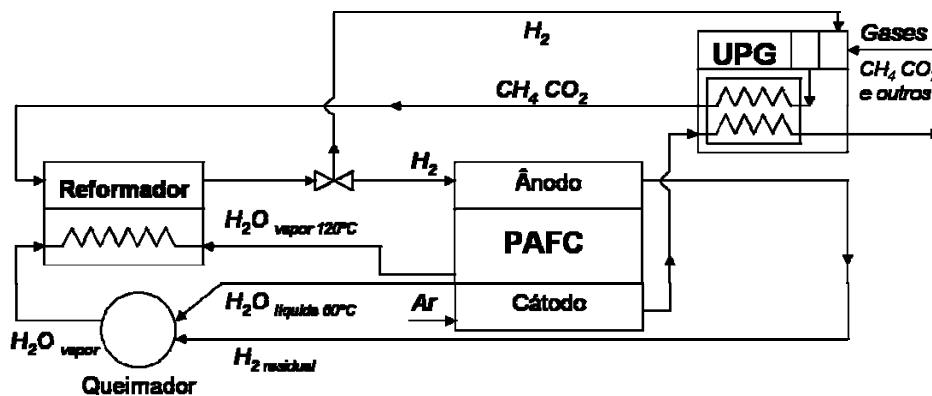


Figura: 6 Fluxograma do sistema

## 4. CONCLUSÕES

Como pode ser observado há muitas maneiras a serem utilizadas para a produção de H<sub>2</sub>. Algumas são baseadas na produção de grandes quantidades de H<sub>2</sub>, como no processo termoquímico. Outras são baseadas na utilização de fontes energéticas alternativas que atualmente vem sendo desperdiçadas, como os gases gerados em aterros sanitários. É evidente que atualmente a fonte predominante de energia primária são os combustíveis fósseis. É essa dependência que torna esses tipos de pesquisa tão importantes. Os pesquisadores estão tentando encontrar maneiras atrativas para a diversificação das fontes primárias de energia com um e importante objetivo: reduzir a dependência de combustíveis fósseis e o impacto ambiental causado por sua utilização. Essa realidade torna-se cada vez mais próxima e é dever da comunidade científica/empresarial gerar meios e disponibilizar recursos para que essa idéia se concretize.

## AGRADECIMENTOS

Nós estamos muito agradecidos ao Dr. Wagner dos Santos Oliveira que foi o orientador desses estudos e que sempre chama a atenção de seus alunos para as mais novas tendências científicas. Esse trabalho recebeu suporte do SAE(Unicamp) e Capes. Obrigado a todos.

## REFERENCIAS

1. TORJMAN, M. "Nuclear energy as a primary source for a clean hydrogen energy system", *Energy authority, Egypt, Energy Conversion*, vol **39**, pp 27-32 (1996)
2. FORSBERG, Charles W. "Hydrogen, Nuclear energy and the High Temperature Reactor" *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol **28**, pp 1073 – 1081 (2003)
3. GRIMES, WR. "Molten salt reactor chemistry" *Nucl Appl Technol*, 8(2), pp137–55 (1970)
4. OECD-NEA Nuclear Science Committee. *First International Exchange Meeting on Nuclear Production of Hydrogen*, Paris, France, October 2–3, (2000)
5. CADAVID, P. "Análise técnico-econômica para aproveitamento energético do gás gerado em aterros sanitários utilizando pilhas a combustível - O caso do município de Campinas - S.P. – Brasil. 2004" Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP.
6. TREVISAN, E. "Estudo da implementação de pilhas de combustível no Hospital das Clínicas, Unicamp. 2004" Tese (Doutorado) – Ciência e Tecnologia de Materiais, Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas.