



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO DA USINA DE ITAIPU

Marcelo Miguel, M.Sc. Esp. Eng. (marcelom@itaipu.gov.br), +55.45.3520.3090)

Jose Wenceslao Boveda Villasboa, Ing. (boveda@itaipu.gov.py), 061-599.3092)

CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ITAIPU

Supercarretera de Itaipu - Edificio de Producción, 1º Piso – ENEE.DT

Hernandarias – Alto Paraná, Paraguay

RESUMO

Para ser sustentável no futuro, o mundo vai necessitar de combustíveis sem emissão de gases poluentes e causadores do efeito estufa. O hidrogênio tem sido estudado como uma das alternativas para a substituição dos combustíveis fósseis por ter qualidade e quantidade suficientes. No entanto, apesar de ser o elemento mais abundante no universo, necessita de uma fonte de energia para ser extraído dos compostos químicos aos quais está associado na natureza.

O Paraguai e o Brasil são países com matrizes energéticas predominantemente hidráulicas, com mais de mil usinas hidrelétricas instaladas na região. Como estas usinas não armazenam energia, apenas água, todos os anos se repetem períodos hidrológicos onde o excedente de água nas barragens tem de ser liberado pelos vertedouros. Quantidades significativas destas águas poderiam ser turbinadas para produção de energia elétrica a ser utilizada na produção de hidrogênio, que pode ser armazenado e utilizado em células a combustível para produção de energia. O aproveitamento desta energia vertida pode aumentar a eficiência energética das usinas, combatendo o desperdício de água e energia, além de viabilizar a introdução na matriz energética de um combustível totalmente descarbonizado, contribuindo para a segurança energética e para o meio ambiente.

Este trabalho estuda o projeto da planta experimental de produção de hidrogênio da usina de Itaipu, assim como o potencial de produção de hidrogênio que a usina poderá alcançar quando houver demanda de mercado.

PALAVRAS CHAVES

Produção de hidrogênio, usinas hidrelétricas, eficiência energética, desenvolvimento sustentável.



1. INTRODUCCIÓN

Num mercado cada vez mais competitivo, as empresas buscam incessantemente melhorar a eficiência energética. Nas usinas hidrelétricas, os campos para oportunidades são otimizar a produção, a manutenção, a operação e a atualização tecnológica dos sistemas.

No aspecto econômico, significa reduzir os custos de produção e/ou aumentar a receita com a venda adicional dos ganhos de produção [1].

No aspecto técnico significa minimizar os desperdícios e perdas técnicas, promovendo melhoria da eficiência dos sistemas [2].

A busca não só pela redução das perdas, mas também pelo melhor aproveitamento dos processos produtivos tem sido objeto de grande esforço científico desde que o homem se deu conta que os recursos disponíveis são finitos e podem cada vez mais se tornarem escassos e impactantes ao meio ambiente, devidas às cada vez mais vorazes necessidades das crescentes demandas energéticas da sociedade [3].

Neste contexto, este trabalho procura o aproveitamento produtivo das perdas hidroenergéticas em usinas hidrelétricas, com aplicação na usina de Itaipu [4].

No âmbito mundial, a crise do petróleo de 1973/1974 deu origem à geração dos primeiros programas mundiais estruturados na Inglaterra e nos Estados Unidos para melhorar a eficiência energética, sendo que a preservação deste insumo estratégico da matriz energética mundial se tornou primordial.

No Brasil, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL em 1985. No Paraguai, foi criada a Comissão Nacional de Eficiência Energética – CNEE em 2011.

Existe uma relação direta entre a energia e o meio ambiente. Atualmente, o desafio da expansão passa pela busca de alternativas energéticas, pois o uso de recursos não renováveis possui a limitação no esgotamento das matérias primas mundiais [5]. Sendo assim, a procura de fontes renováveis caracteriza as atuais prioridades energéticas. Quanto ao meio ambiente, sabemos do grande impacto ambiental causado pela indústria energética mundial, e da emissão de gases de efeito estufa dos combustíveis fósseis, além de uma dependência cada vez maior do homem pela energia elétrica, assim como a preocupação com a sustentabilidade do planeta.

Conforme Rifkin [6], precisamos “repensar” a Terra e a energia precisa ser “descarbonizada”, o que levaria inevitavelmente ao futuro com hidrogênio, o que proporcionaria a democratizar a energia e evitaria conflitos entre as nações pela posse das reservas energéticas mundiais.

2. OBJETIVO

Avaliar as oportunidades de produção de hidrogênio na usina de Itaipu, particularmente no contexto do aproveitamento da energia vertida turbinável, contribuindo para a redução de desperdícios hidroenergéticos de centrais hidrelétricas, assim como o seu impacto e sua contribuição para a melhoria da eficiência energética.

3. METODOLOGIA

A eletrólise se apresenta atualmente como o processo mais adaptável às usinas hidrelétricas [7], por várias razões:

- Matéria prima: água, matéria prima para a produção de hidrogênio por eletrólise, é também a utilizada nas usinas hidrelétricas para a produção de energia;
- estoque: as usinas hidrelétricas possuem, em sua maioria, reservatórios de acumulação de água. Mesmo as usinas a fio d'água, como Itaipu, possuem uma margem de utilização, mesmo que pequena [8];
- energia: as usinas hidrelétricas possuem energia que não é aproveitada, chamada de energia vertida turbinável, que poderia ser usada sem prejuízo da geração de energia para o sistema elétrico;
- logística: no caso de Brasil e Paraguai, temos usinas hidrelétricas espalhadas por todas as regiões, o que torna esta geração distribuída, facilitando a logística de distribuição [9];
- custo: a utilização de uma energia que seria desperdiçada, ou energia secundária, de menor custo, e os menores custos de distribuição devida à logística privilegiada, reduzem os custos para dar competitividade ao produto;
- tecnologia: a tecnologia da eletrólise está consolidada pelos fabricantes e em estágio operacional comprovado, o que consolida sua utilização [10];
- armazenamento: as usinas hidrelétricas possuem vastas áreas que podem ser aproveitadas para alocação dos tanques de armazenamento do hidrogênio.

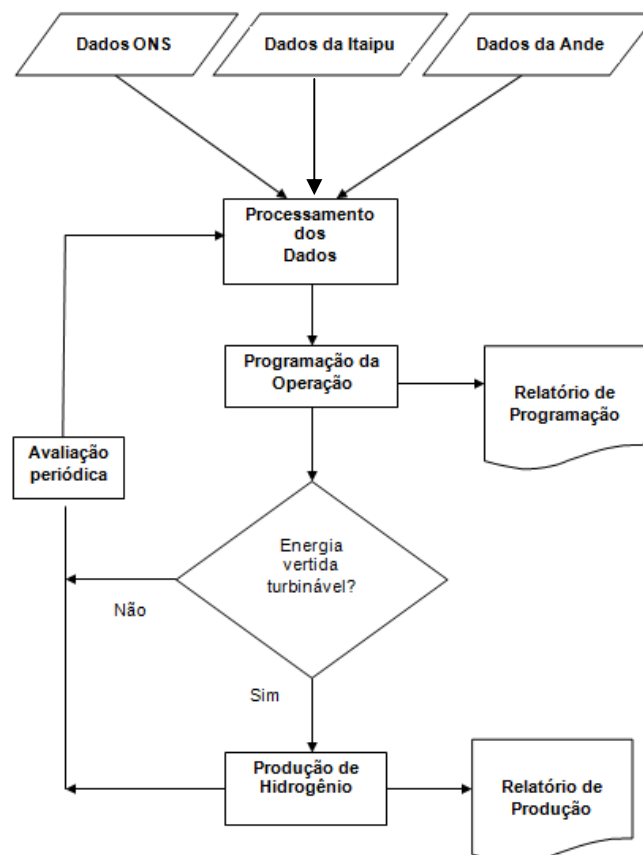


Figura 1: Fluxograma do modelo de produção.

4. RESULTADOS

A usina de Itaipu entrou em operação comercial no ano de 1984. A partir deste ano, os mercados brasileiro e paraguaio foram consumindo sua energia de forma crescente, como mostra o gráfico abaixo.

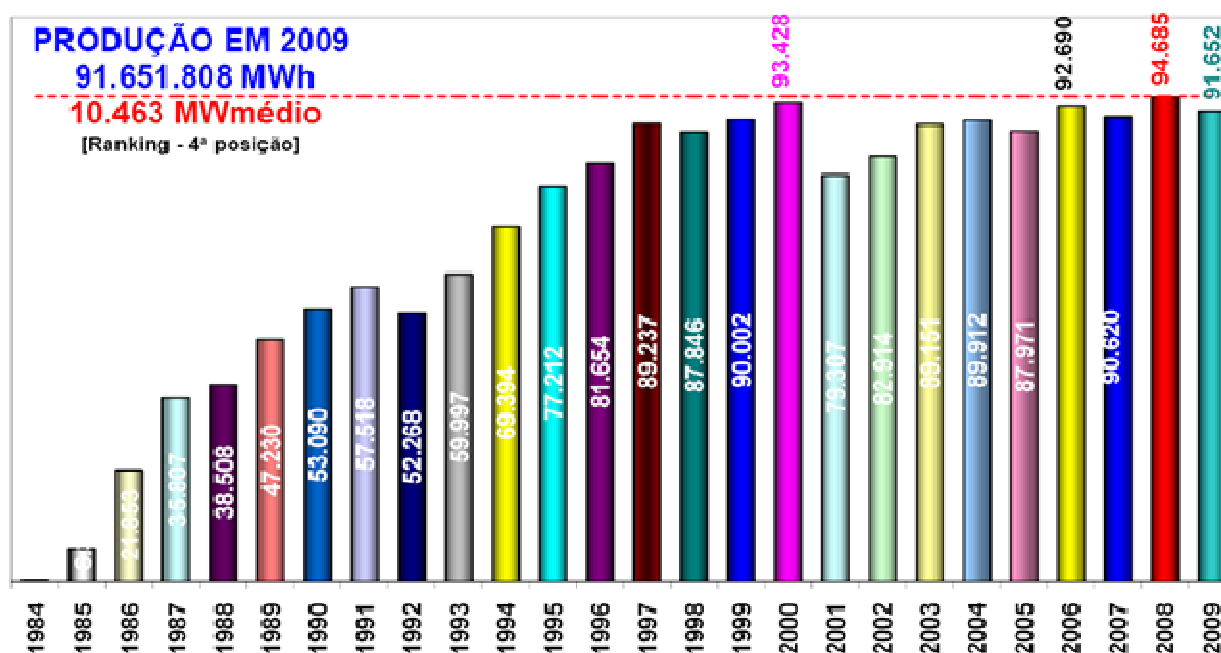


Gráfico 1: Energia disponível anual. Fonte: OPSP.DT, Itaipu Binacional

A partir do ano de 1997, consideramos que a operação da usina passou a ser em regime permanente, sofrendo apenas variações por conta de condições operativas do mercado brasileiro e do mercado paraguaio.

Sendo assim e, para se ter uma melhor noção ao longo prazo, foram levantados os dados dos últimos 12 anos, conforme tabela 5, já que nos anteriores o mercado ainda não exigia produção em regime como está atualmente, por isso não consideramos como típicos.

Tabela 1: Totais anuais de energia disponível ou vertida turbinável anual, em GWh

1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
10.439	11.695	5.225	968	1.854	5.167	4.113	3.969	5.319	3.637	4.135	2.316	6.426

Fonte: Itaipu IMAT: Informe Mensal da Área Técnica, janeiro 2010.

À semelhança do cálculo de capacidade das usinas hidrelétricas, para efeito deste trabalho será calculada a média histórica do período considerado, neste caso de 1997 a 2009.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

$$EVT_M = \sum_{1997}^{2009} \frac{EVT_n}{n} \quad (1)$$

Conforme a fórmula (1) aplicada na tabela 1:

$$EVT_M \text{ anual} = 5.020 \text{ GWh}$$

$$EVT_M \text{ mensal} = 418 \text{ GWh}$$

Para o dimensionamento da capacidade de produção de hidrogênio de uma planta hidrelétrica, consideraremos sua capacidade de energia vertida turbinável [11] com parâmetros conhecidos de eficiência de produção de hidrogênio. Para efeito destes cálculos, tomamos como referência Pinto [11], conforme a seguir:

Consumo elétrico da planta de eletrólise (C_e):

$$C_{e_{\min}} = C_p \cdot C_{el} \quad (2)$$

$$C_{e_{\min}} = C_p \cdot C_{el_{\min}} = 6,1 \times 4,1 = 25 \text{ kWh}$$

$$C_{e_{\max}} = C_p \cdot C_{el_{\max}} = 6,1 \times 6,4 = 39 \text{ kWh}$$

Para efeito destes cálculos, consideraremos o pior índice referenciado de eficiência para a produção por eletrólise: $6,4 \text{ kWh/m}^3$

O consumo elétrico depende da eficiência do equipamento escolhido e da pressão do hidrogênio na saída do eletrolisador.

Para previsão de energia disponível utilizamos os como exemplo dados dos últimos 13 anos (conforme anexo 1):

➤ Energia vertida média anual = 5.020 GWh

Para a previsão da capacidade de produção de hidrogênio em Nm^3/ano utilizamos o índice de consumo energético máximo (conforme 4.2.1):

➤ Capacidade de produção anual de hidrogênio: $784.413.906 \text{ Nm}^3/\text{ano}$

Para a previsão da capacidade de produção de hidrogênio em kg/ano utilizamos o índice $0.0899 \text{ kg}/\text{Nm}^3$ (conforme tabela 7):

➤ $784.413.906 \text{ Nm}^3 \times 0.0899 \text{ kg}/\text{Nm}^3 = 70.518.810 \text{ kg}/\text{ano}$ de hidrogênio

Para a previsão da melhoria na eficiência energética em %, dividimos a energia vertida média anual (conforme anexo 1) pela energia gerada em 2009 (conforme gráfico 5):

➤ $5.020.249 / 91.651.808 = 5,48\%$



5. DISCUSSÃO

Podemos estimar a quantificação da melhoria da eficiência energética pela contribuição da produção de hidrogênio de acordo com as considerações e características de cada sistema ou tipo da usina considerada que, no caso da Itaipu, é uma usina a fio d'água. Nas de reservatório de acumulação, devemos considerar os parâmetros de acumulação.

6. CONCLUSÕES

O potencial energético associado à energia vertida turbinável, eleva os índices de eficiência alcançados pelas usinas hidrelétricas, gera a necessidade de quebra de paradigmas para aproveitamento das oportunidades de melhorias de eficiência energética pelo aproveitamento desta energia que seria perdida e toma uma dimensão especial neste novo momento global de busca por sustentabilidade, qualidade e quantidade de energia para o futuro.

A produção de hidrogênio, em especial em países como o Brasil que possui elevada parcela da matriz com energia renovável, se bem aproveitada e gerenciada pode ter um potencial encorajador para a inserção desta tecnologia no mercado, integrando a energia do hidrogênio definitivamente na matriz energética brasileira.

Apesar dos benefícios ambientais e técnicos advindos da melhoria da eficiência energética das usinas, o preço do combustível ainda está elevado comparativamente aos outros combustíveis, necessitando de uma escala de produção que reduza o preço ou redução nos custos de produção.

7. AGRADECIMENTOS

Ao Comitê Nacional Paraguayo do Cigré, por permitirem a apresentação deste artigo no X Seminário do Setor Elétrico Paraguayo.

À entidade ITAIPU BINACIONAL e a seu corpo gerencial, Jorge Habib Hanna el Kouri, Antonio Carlos Fonseca Santos Junior, Julio Cesar Montania Escobar e Pedro Chudyk Lylyk, por acreditarem e ajudarem a viabilizar este artigo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] NADEL, S.; GELLER, H. S. Smart energy policies: saving money and reducing pollutant emissions through greater energy efficiency. Washington, D.C.: ACEEE – American Council for na Energy-Efficient Economy, 2001.
- [2] GELLER, H. S. O Uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, 1994.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

- [3] WORLD ENERGY COUNCIL. Energy for Tomorrow's World – Acting Now!. World Energy Council. Londres: 2000.
- [4] GARCIA, J. L. A. Produção de Hidrogênio Eletrolítico Utilizando Energia Secundária e seu uso como Vetor Energético. In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia, XV, 1999, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 1999
- [5] PADILHA, J. C. et al. Na evaluation of the potential of the use of wasted hydroelectric capacity to produce hydrogen to be used in fuel cells in order to decrease CO2 emissions in Brazil. Elsevier: International Journal of Hydrogen Energy 34, 2009.
- [6] RIFKIN, J.. A Economia do Hidrogênio: a criação de uma nova fonte de energia e a redistribuição do poder na Terra. 300p. São Paulo, SP: M.Books do Brasil LTDA, 2003.
- [7] GOMES NETO, E. H.. Hidrogênio, evoluir sem poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. 240p. Curitiba, PR: Brasil H2 Fuel Cell Energy, 2005.
- [8] SÓRIA, M. A. Z. et al. Dams & The World's Water. CIGB – Commission Internationale des Grands Barrages. Paris, 2008.
- [9] SOUTO, J. J. de N. Estruturação da economia do hidrogênio no Brasil In: Brasil Fuel Cell Expo/Seminar 2007: Curitiba, 2007.
- [10] SOUZA, S. N. M. de Aproveitamento da Energia Hidroelétrica Secundária para Produção de Hidrogênio Eletrolítico. 1998. 192p. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
- [11] SANTOS JÚNIOR, A. C. F.. Análise da viabilidade econômica da produção de hidrogênio: estudo de caso na Itaipu. 144p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- [12] PINTO, C. da S. et al. Itaipu hydroelectric power plant and its experimental hydrogen production unit. 69p. (Especificação técnica: esp-002/07) Foz do Iguaçu, PR: International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems - 22ND ECOS, 2009.