

PROCEL - Programa de Células a Combustível do IPEN

Estudo Econômico sobre a Utilização de Hidrogênio para Aplicação em Células a Combustível

**Centro de Ciência e Tecnologia dos Materiais
CCTM – IPEN – CNEN/SP - USP**

Eng. Miguel Luiz Miotto Negro

Introdução

- A “Economia do Hidrogênio” parece ser inevitável no futuro.
- O Brasil deve se preparar para ela.
- Há muitas possibilidades de produção de hidrogênio em larga escala no Brasil.

Produção de H₂ no Brasil

- **Por eletrólise da água.**
- **Por reforma de**
 - **Combustíveis fósseis**
 - **Combustíveis renováveis**

Produção de H₂ por eletrólise da água

- **Reação de eletrólise da água:**
- **$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$**
- **$\Delta H = 0,07909 \text{ MWh kmol}^{-1}$ de H₂**
- **Eficiência da reação = 85%.**

Produção de H₂ por eletrólise da água

- **Consideram-se os custos da eletricidade proveniente das fontes nuclear, hidráulica, termelétrica e solar.**
- **Aplicam-se esses diferentes custos à quantidade de energia necessária à reação de eletrólise da água.**

Produção de H₂ por eletrólise da água

- Adiciona-se aos valores obtidos a parte correspondente à eficiência da reação de eletrólise.
- Obtém-se o custo de produção de gás hidrogênio para cada uma das quatro fontes de eletricidade selecionadas.

Custos em US\$ por kmol de H₂

● Energia nuclear (subsídio)	1,503
● Energia nuclear (mercado)	3,955
● Hidroelétrica	
● Em bloco	3,164
● Na usina	1,186
● Vertimento	0,396
● Termelétrica a GN	3,164
● Solar fotovoltaica	41,522

Produção de H₂ por reforma

- **Combustíveis fósseis**
 - Gás natural
 - Gasolina
 - Metanol
- **Combustíveis renováveis**
 - Biogás
 - Etanol

Produção de H₂ por reforma

- Parte-se da reação de reforma de cada um dos combustíveis selecionados.
- Por estequiometria calcula-se a quantidade de hidrogênio formada para cada mol de combustível reformado.

Produção de H₂ por reforma

- Com os resultados do cálculo estequiométrico e com o custo de cada combustível, calcula-se o custo do hidrogênio por regra de três.
- Este custo não inclui o custo da energia necessária para processar as reações.

Produção de H₂ por reforma

- As reações de reforma são geralmente endotérmicas.
- Considera-se que a energia para processar essas reações provém da combustão de parte do próprio combustível.

Produção de H₂ por reforma

- Para cada combustível calcula-se o custo da energia de ativação de sua reforma com:
 - o custo do combustível em questão,
 - seu poder calorífico e
 - o valor da entalpia da reação (ΔH).

Produção de H₂ por reforma

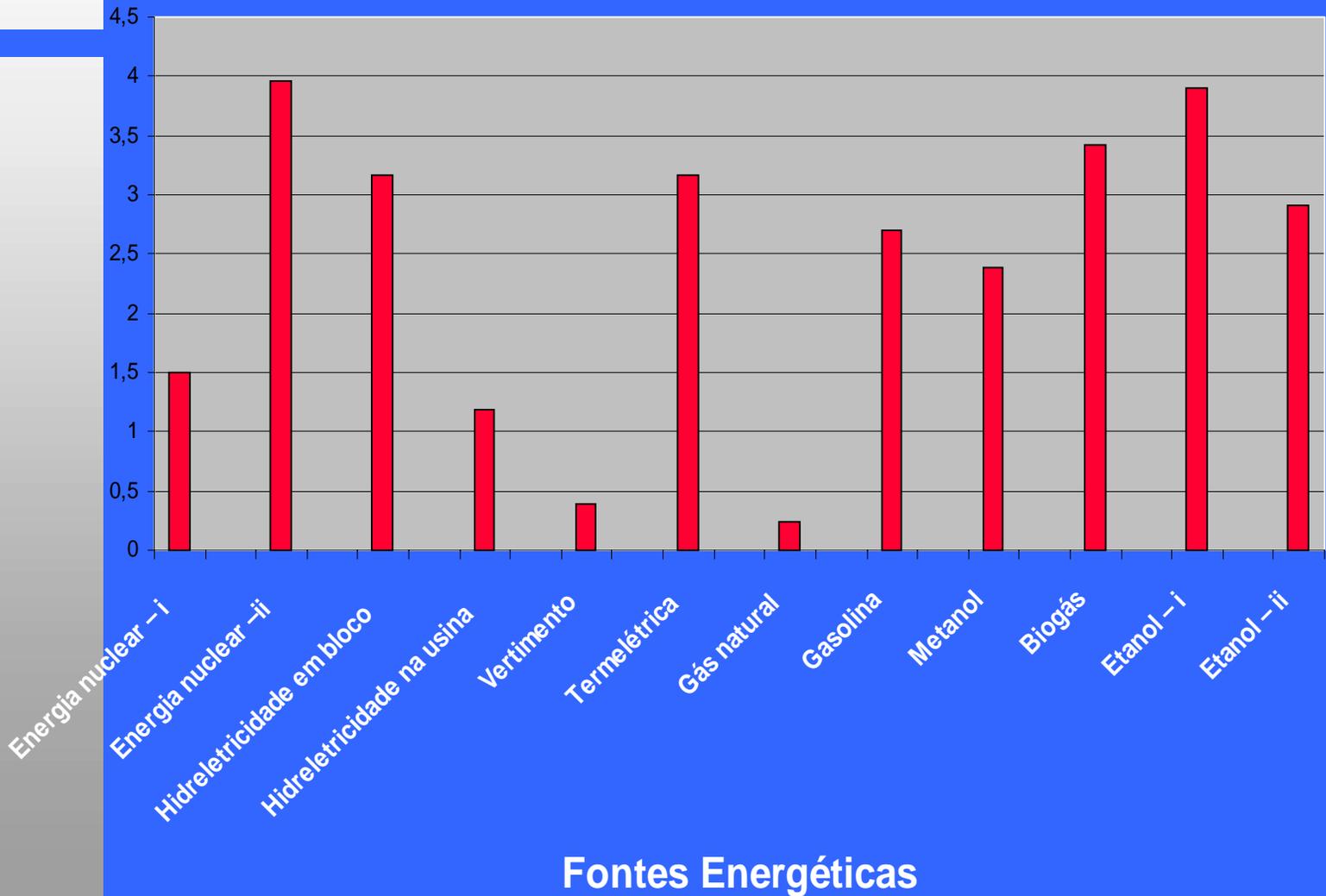
- O custo final é a soma do custo do hidrogênio obtido por estequiometria com o custo da energia para processar a reação de reforma.
- Para etanol considera-se também o caso de a energia de ativação da reação ser fornecida por gás natural.

Custos em US\$ por kmol de H₂

- Reforma de combustíveis fósseis
 - Gás natural 0,243
 - Gasolina 2,700
 - Metanol 2,387
- Reforma de combustíveis renováveis
 - Biogás 3,427
 - Etanol – i 3,904
 - Etanol – ii 2,911

Custos de Produção de Hidrogênio no Brasil

Custo em US\$ por kmol de H₂



Conclusões

- **Melhores possibilidades a curto prazo: reforma de gás natural e vertimento, devido ao baixo custo.**
- **Médio prazo: menos reforma de gás natural e transição para renováveis.**
- **Longo prazo: Hidreletricidade, energia nuclear e reformas de biogás e etanol.**