

**Comissão Especial para Estudo, Avaliação e Acompanhamento  
das Iniciativas e Medidas Adotadas para Transição Energética**

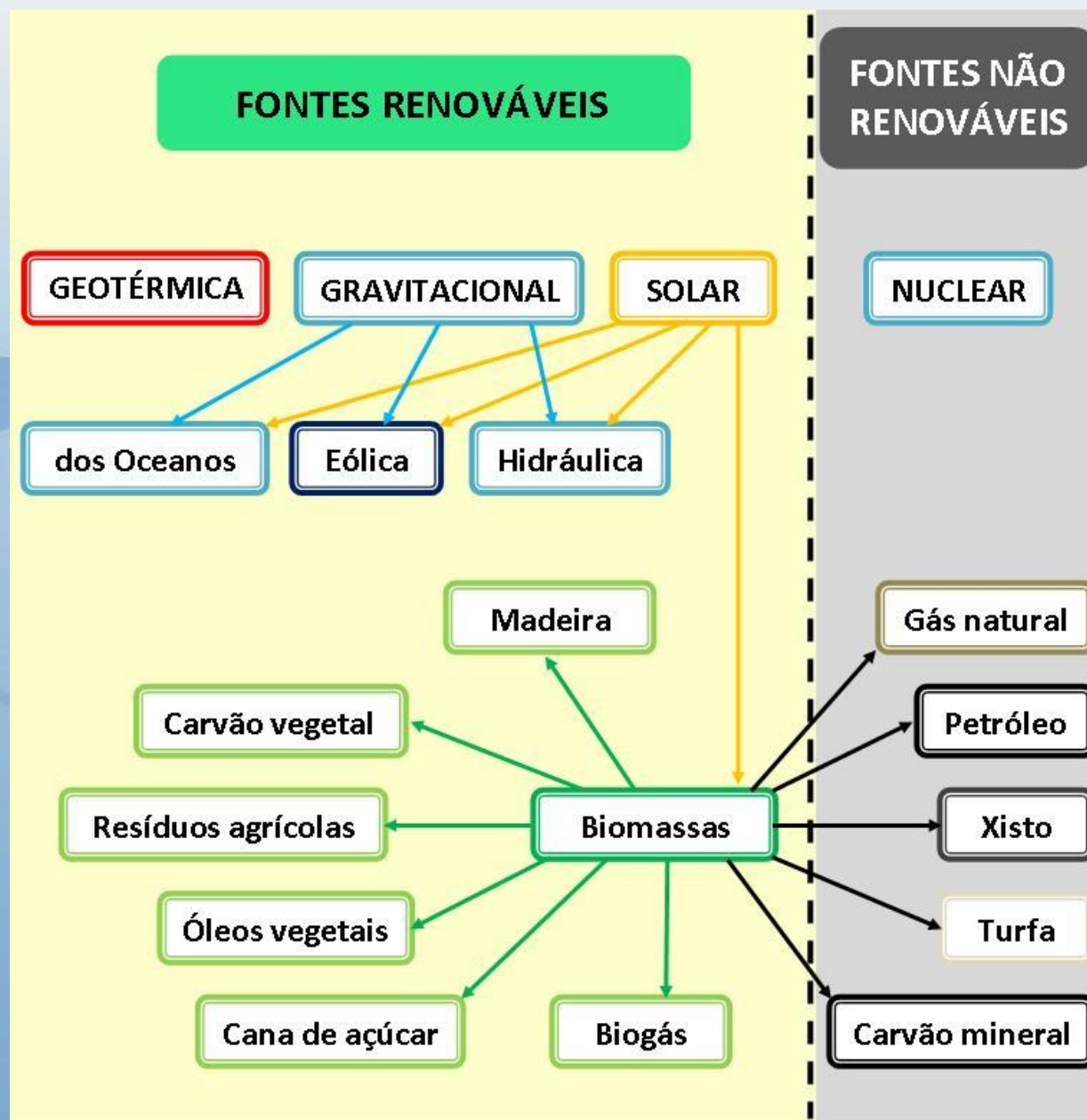
**Fontes Renováveis e Produção de Hidrogênio Verde no Brasil**

# **PRINCIPAIS ROTAS DE PRODUÇÃO DO HIDROGÊNIO**

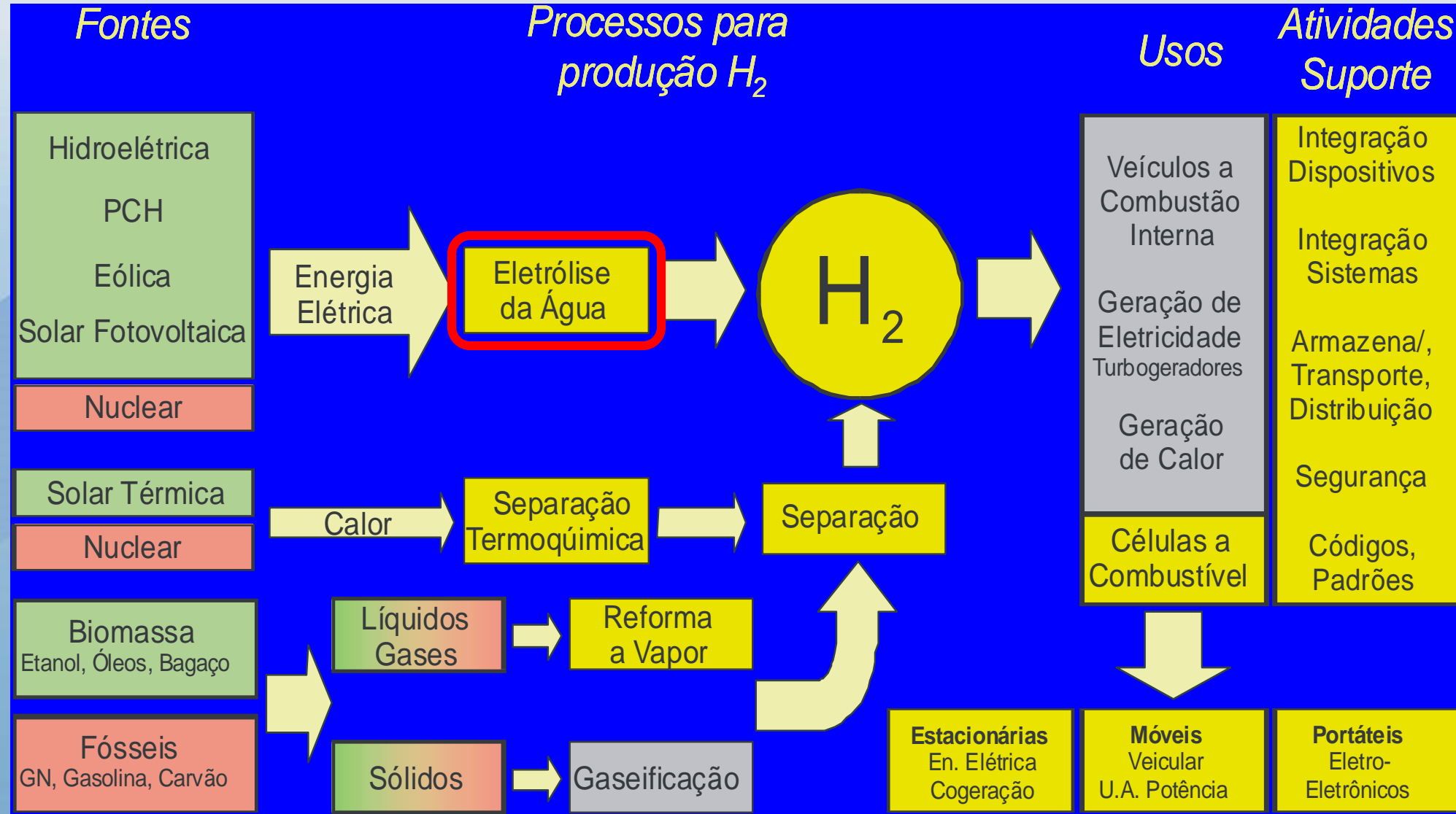
**Prof. Dr. Ennio Peres da Silva  
Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP  
Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético**

27 de Junho de 2023

# Fontes de energia

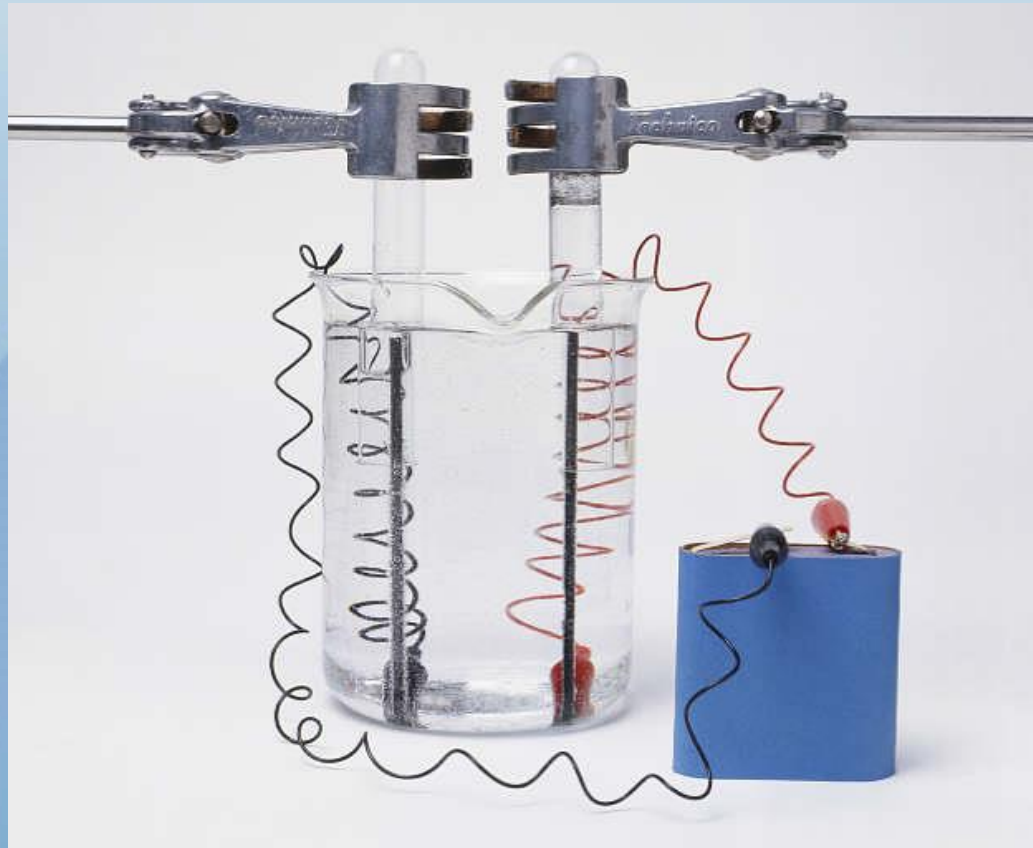


# O hidrogênio como vetor energético

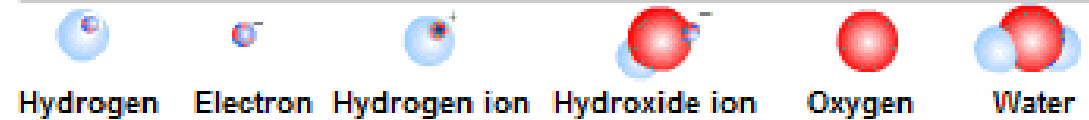
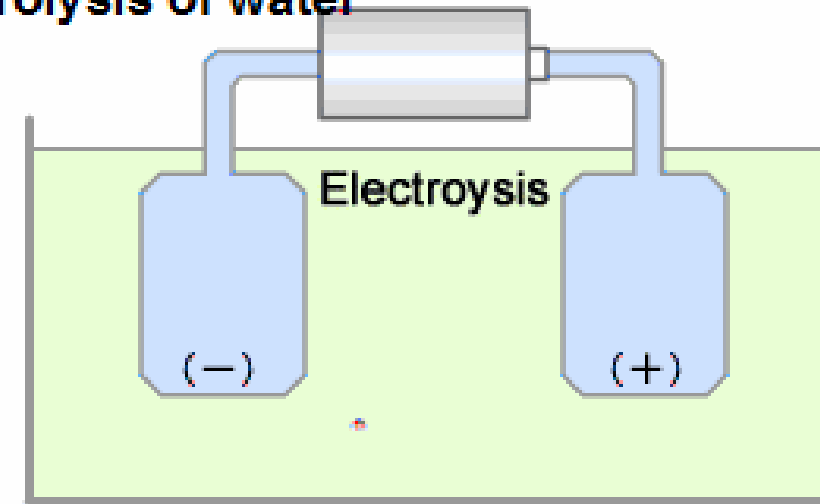


# Produção de H<sub>2</sub>: a eletrólise da água

## O princípio



### Electrolysis of water

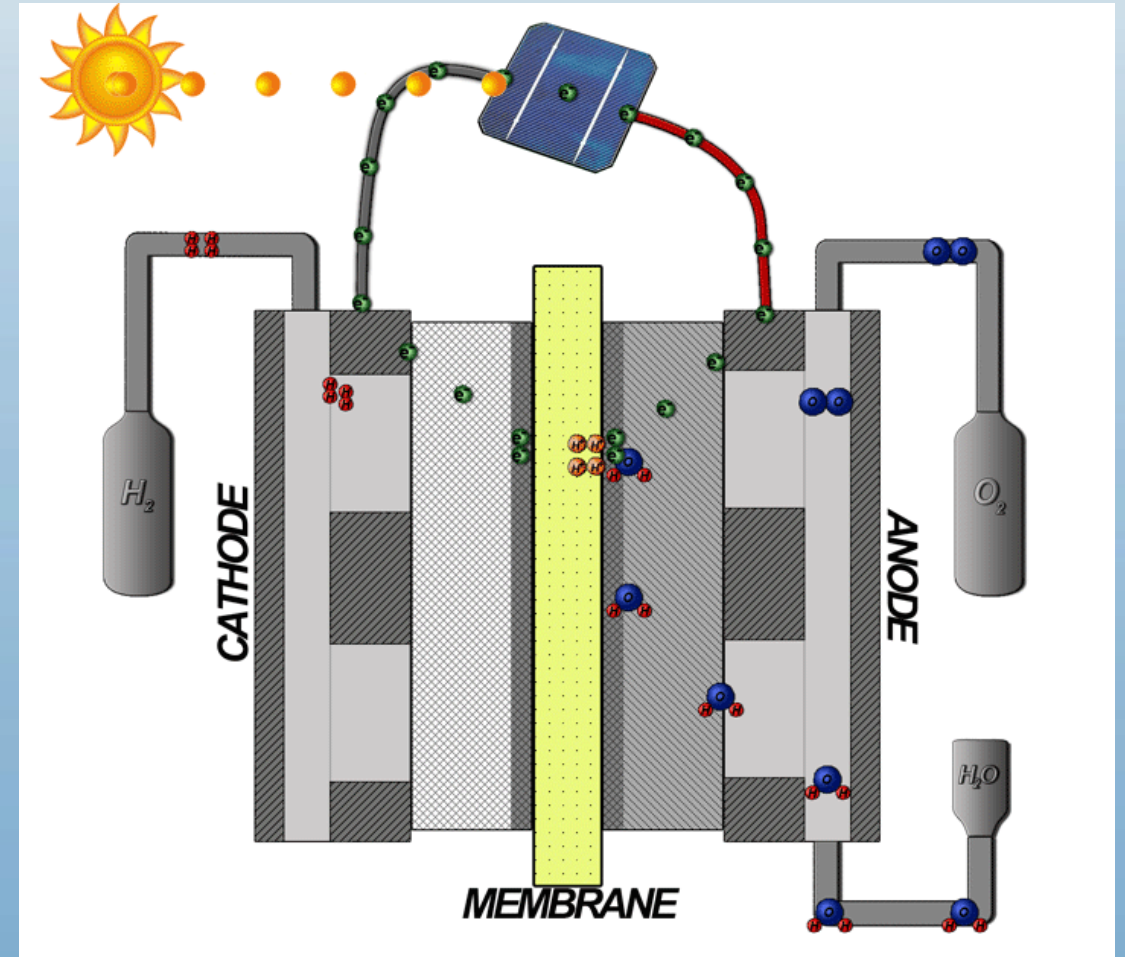
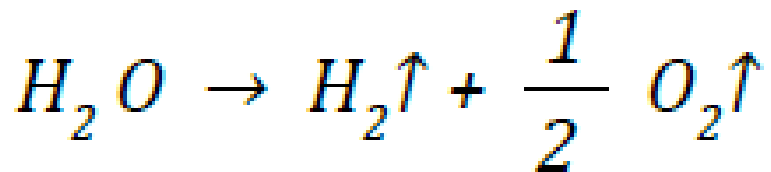
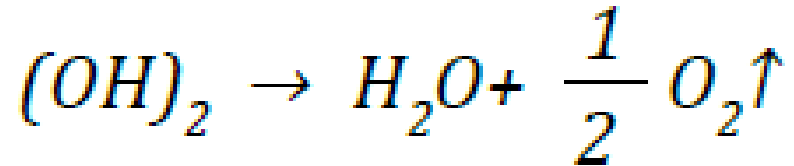
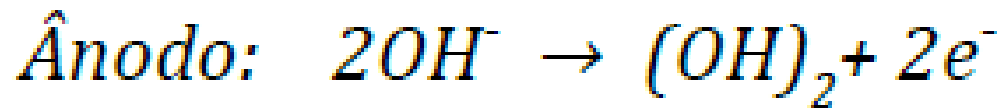


<https://giphy.com/gifs/water-xIcvEvbnrk8Pm>

# Produção de H<sub>2</sub>: a eletrólise da água

## Eletrólise da água:

Balanco das reações em cada eletrodo



# Produção de H<sub>2</sub>: a eletrólise da água

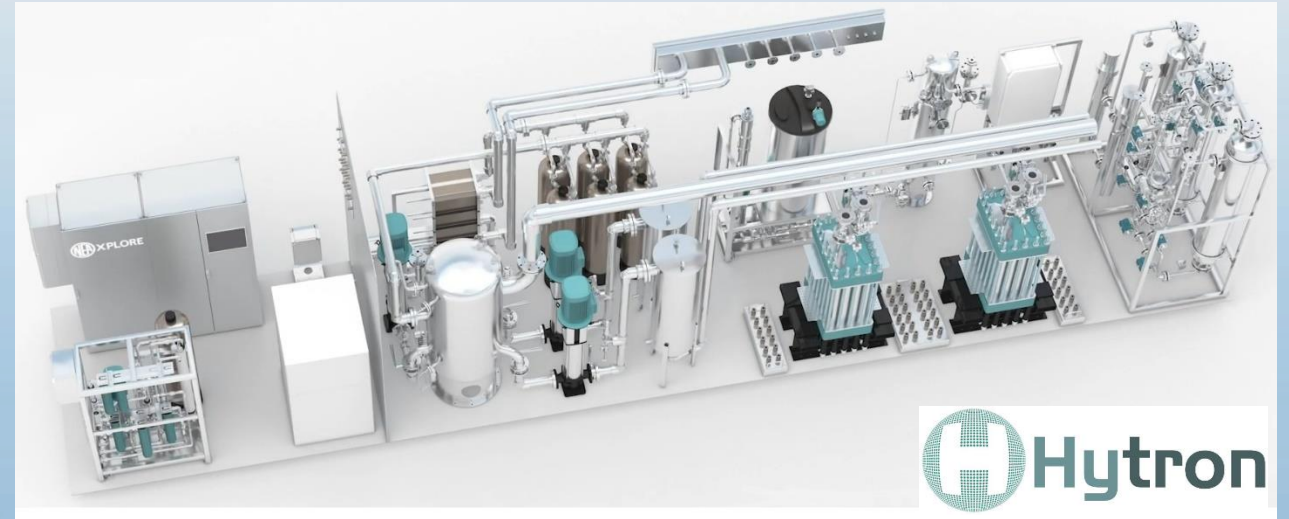
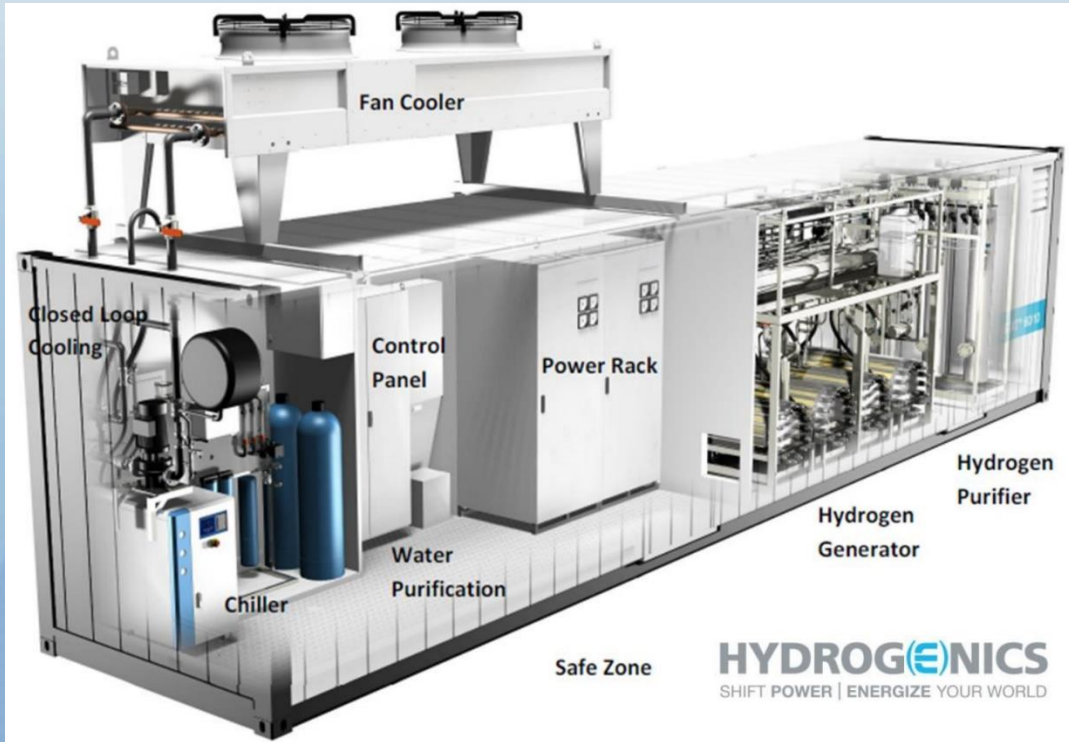
## Eletrólise da água: tipos de processos

Technology	Alkaline water electrolysis	SPE (Solid polymer electrolyte) electrolysis	SOEC (Solid oxide electrolysis cell)
Process	Aqueous electrolysis	"Reversed PEFC"	"Reversed SOFC"
Feed	30% KOH, 80°C	Pure H <sub>2</sub> O, 100°C	Steam, 800-900°C
Charge carriers	OH <sup>-</sup> , K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	O <sup>2-</sup>
Industrial use	Well developed Large scale	High current densities Differential pressure Expensive catalysts	Not yet commercial Pilot scale

# Produção de H2: a eletrólise da água

## Eletrólise da água: tipos de processos

### Eletrólizador PEM



### Eletrólizador alcalino



### Eletrólizador óxido sólido

**Bloomenergy**

# Produção de H<sub>2</sub>: a eletrólise da água



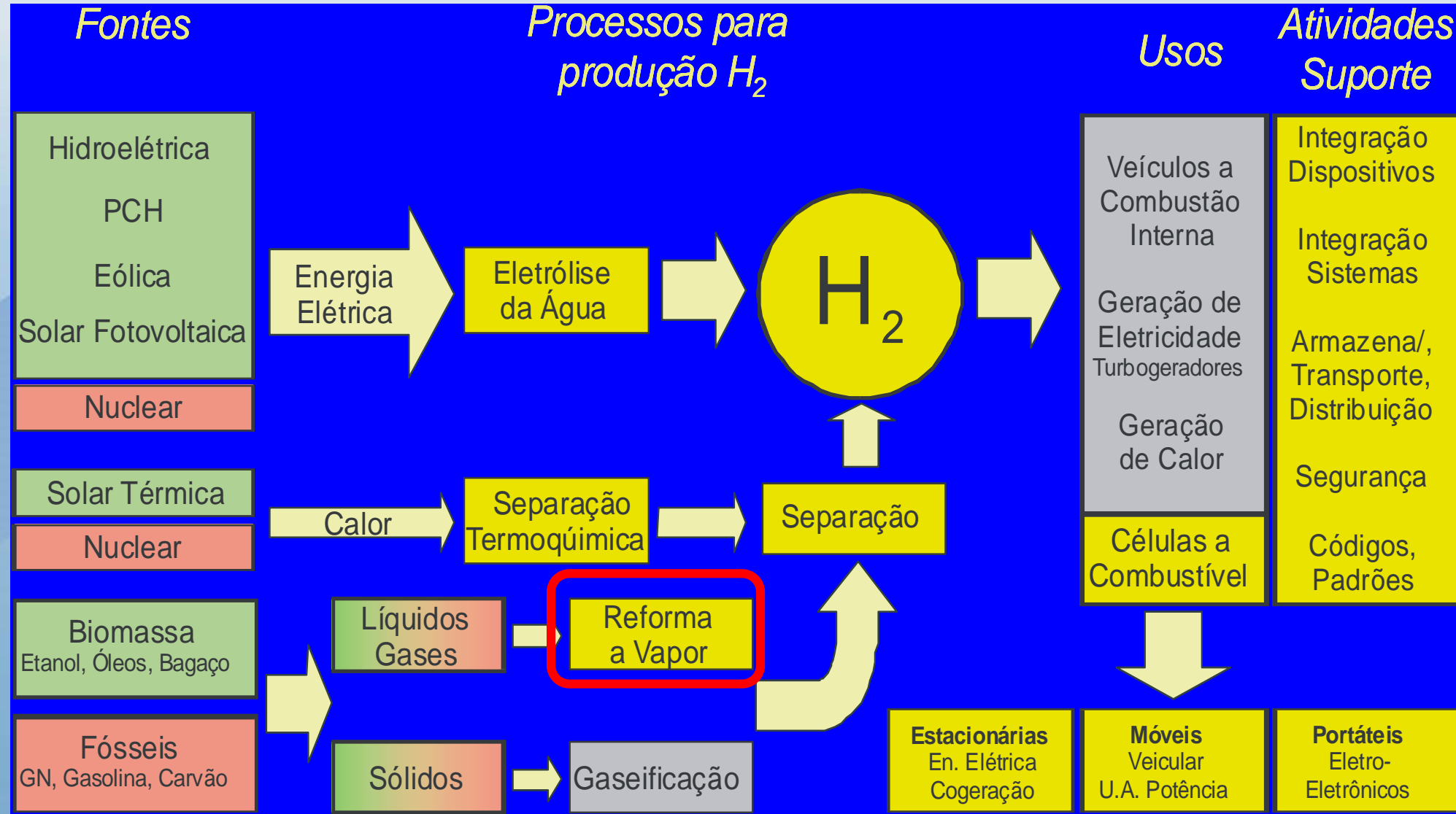
**Eletrolisador UNICAMP/CEMIG  
alcalino unipolar 5 m<sup>3</sup>/h**



**Eletrolisador VILLARES/BAMAG  
alcalino bipolar 100 m<sup>3</sup>/h**



# O hidrogênio como vetor energético



## PRINCIPAIS PROCESSOS DE REFORMA:

- Reforma-vapor: combustível + vapor d'água + calor
- Oxidação parcial: combustível + O<sub>2</sub> (parcial)
- Autotérmico: combustível + vapor d'água + O<sub>2</sub> (parcial)

## PRINCIPAIS COMBUSTÍVEIS:

- Hidrocarbonetos : metano (GN), GLP, gasolina
- Álcoois: metanol, etanol

## PROCEDIMENTOS COMPLEMENTARES:

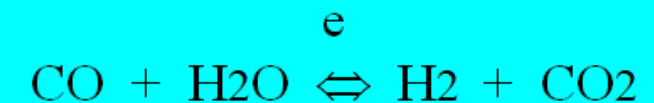
- Reação de *Shift* do metano
- Reação do CO
- Purificação do H<sub>2</sub>: remoção do CO e CO<sub>2</sub>

## Processo de reforma a vapor do etanol:

### ➤ **Reação geral:**



### ➤ **Reações parciais:**



### ➤ **Condições da reação:**

- Temperatura: 500 - 700°C
- Pressão: 1 a 5 atm (pouca influência)
- Catalisadores: Cu, Ni, Cr, Zr, Co

# Produção de H<sub>2</sub>: a reforma dos hidrocarbonetos



Linde Engineering puts a hydrogen production plant into operation at the production site in Dormagen..  
(Bild: Linde)

**Planta de produção de hidrogênio por meio da reforma do gás natural (Linde)**

<https://www.process-worldwide.com/linde-starts-up-worlds-first-plant-for-extracting-hydrogen-from-natural-gas-pipelines-a-1089240/>



**Protótipo de reformador de etanol de 3,5 m<sup>3</sup>/h UNICAMP/HYTRON para CaC de 5 kW fornecido para o INTA/Espanha**

# Produção de H<sub>2</sub>: outros processos

- **Termólise da água** (temperaturas acima de 1.500°C)
- **Ciclos termoquímicos** (Ciclo Fe-Cl; Ciclo H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- **Bioprodução por bactéria** (efluentes industriais e esgoto)
- **Bioprodução por algas**

<b>Tecnologia</b>	<b>Maturidade</b>
Termólise da água	Embrionária (países industr.) Inexistente (Brasil)
Ciclos termoquímicos	Embrionária (países industr.) Inexistente (Brasil)
Bioprodução por bactérias	Crescimento (países industr.) Embrionária (Brasil)
Bioprodução por algas	Crescimento (países industr.) Embrionária (Brasil)

**Comissão Especial para Estudo, Avaliação e Acompanhamento  
das Iniciativas e Medidas Adotadas para Transição Energética**

**OBRIGADO**

**Prof. Dr. Ennio Peres da Silva**  
**Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP**  
**Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético**  
**([lh2ennio@ifi.unicamp.br](mailto:lh2ennio@ifi.unicamp.br))**