



Universidade Federal do Ceará

# Hidrogênio Verde – A Hora do Brasil



São Gonçalo do Amarante 26 de junho de 2023

## Políticas Públicas para Hidrogênio Verde, de Modo a Fomentar o Ganho em Escala da Tecnologia

### Conversão do Hidrogênio em Energia Elétrica

Prof. Fernando Antunes, UFC/FUNCAP



# Propriedades Físicas do Hidrogênio



Propriedade	Hidrogênio	Comparação
Densidade (gás)	0,089kg/m <sup>3</sup> (0°C, 1 bar)	1/10 do gás natural
Densidade (líquido)	70.79 kg/m <sup>3</sup> (-253°C, 1 bar)	1/6 do GNL
Ponto de ebulição	-252.76°C (1 bar)	90°C abaixo do GNL
Energia por unidade de massa	120.1 MJ/kg (33.36 kWh/kg a 39kWh/kg)	3 x a energia da gasolina
Densidade de energia (CNTPT)	0.01 MJ/l	1/3 do gás natural
Energia específica (líquido)	8,5 MJ/l	1/3 do GNL
Velocidade da chama	346 cm/s	8 x a do metano
Faixa de ignição	4-77% no ar por volume	6 x maior que a do metano
Temperatura de autoignição	585°C	220°C da gasolina

O nome Hidrogênio significa Criador (gene) de Água (Hydro) - Lavoisier



# Fatos Relativos ao Hidrogênio

## Propriedade Hidrogênio Comparação

1 kg de hidrogênio ( $H_2$ ) ocupa um volume de 11.000 litros ( 11  $m^3$ ) (Temperatura  $0^\circ C$  e pressão 1 bar)

1 kg de gasolina ocupa 0,77 l - Temperatura  $0^\circ C$  e pressão 1 bar

1 kg de hidrogênio ( $H_2$ ) contém de 33,3 kWh a 39 kWh

1 kg de gasolina ( 0,77 l) contém (0,77\*8,9 kWh) 6,85 kWh

50 l de gasolina (um tanque) contém (50\*8,9 kWh) 445 kWh

50 l de hidrogênio ( $H_2$ ) contém (50\*39 kWh) 1950 kWh

Carro a hidrogênio anda 100 km com 0,6 l de  $H_2$ . ( $H_2$  líquido)

Carro a gasolina anda 100 km com 11,3 l de gasolina (aproximadamente 9 km/l)



## Expansão da Matriz Elétrica Brasileira



Em 02/06/2023 recorde em MMGD de 5.444 MW médios – 7,5 % da carga

02/06/2023 – Recorde de produção solar entre 11h e 12 h com 17.542  
MW médios – 22,8% da carga do SIN

Fonte: ANEEL

Energia Eólica 869 Parques Eólicos, mais de 9700 geradores em operação e Potência  
Instalada de 24 GW

Fonte: Abeeolica

O governo está concluindo o projeto de lei sobre mercado de carbono –  
Um potencial de aumento do PIB em cerca de 5%.

Fonte: Canal Energia

GD tem 21 GW, Parques solares centralizados 9,5 GW

Fonte: Absolar





# Energia Eólica Offshore

## Uma oportunidade para o Nordeste e o Brasil

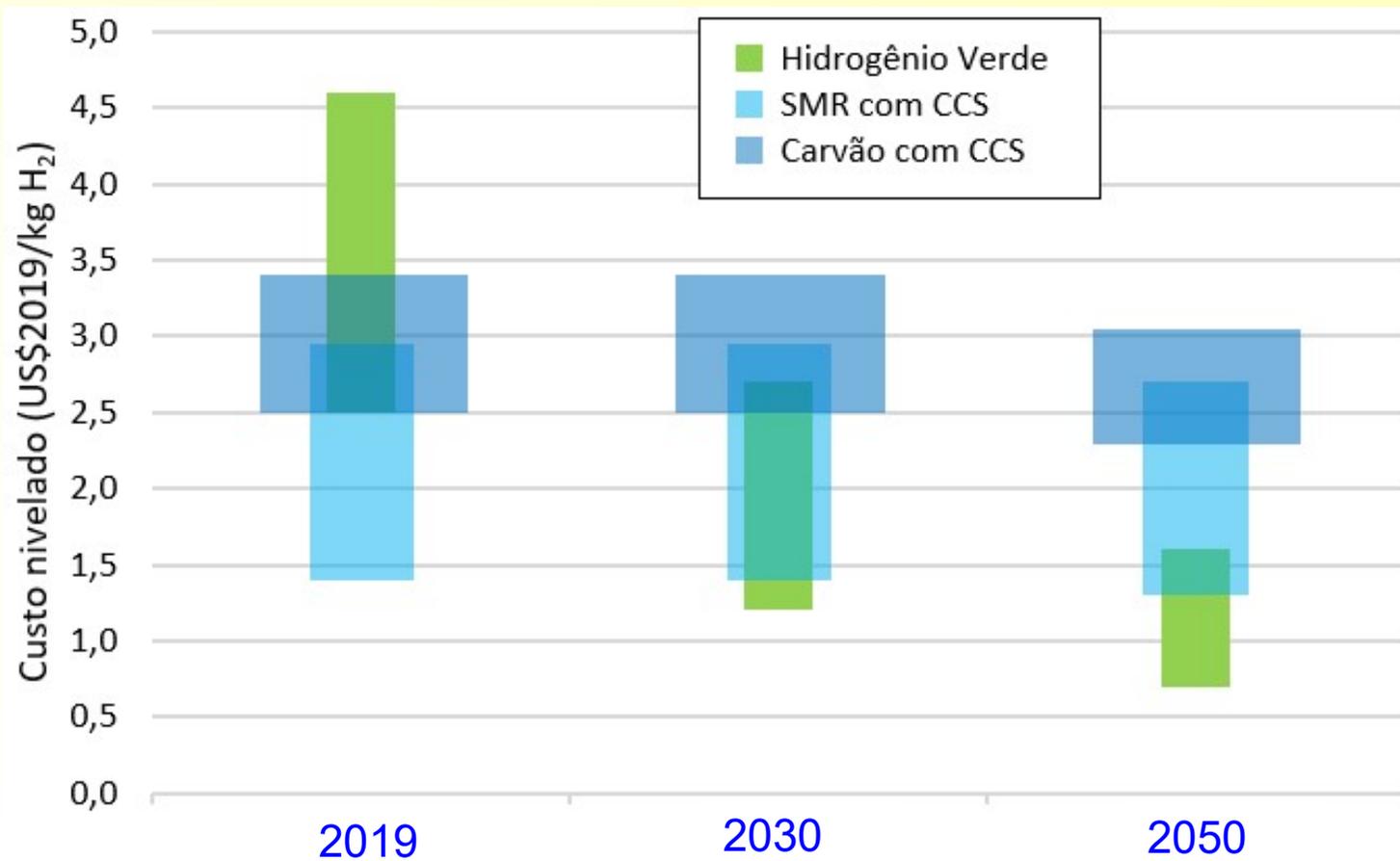




# Hidrogênio



## Custo Nivelado para Projetos de Grande Escala



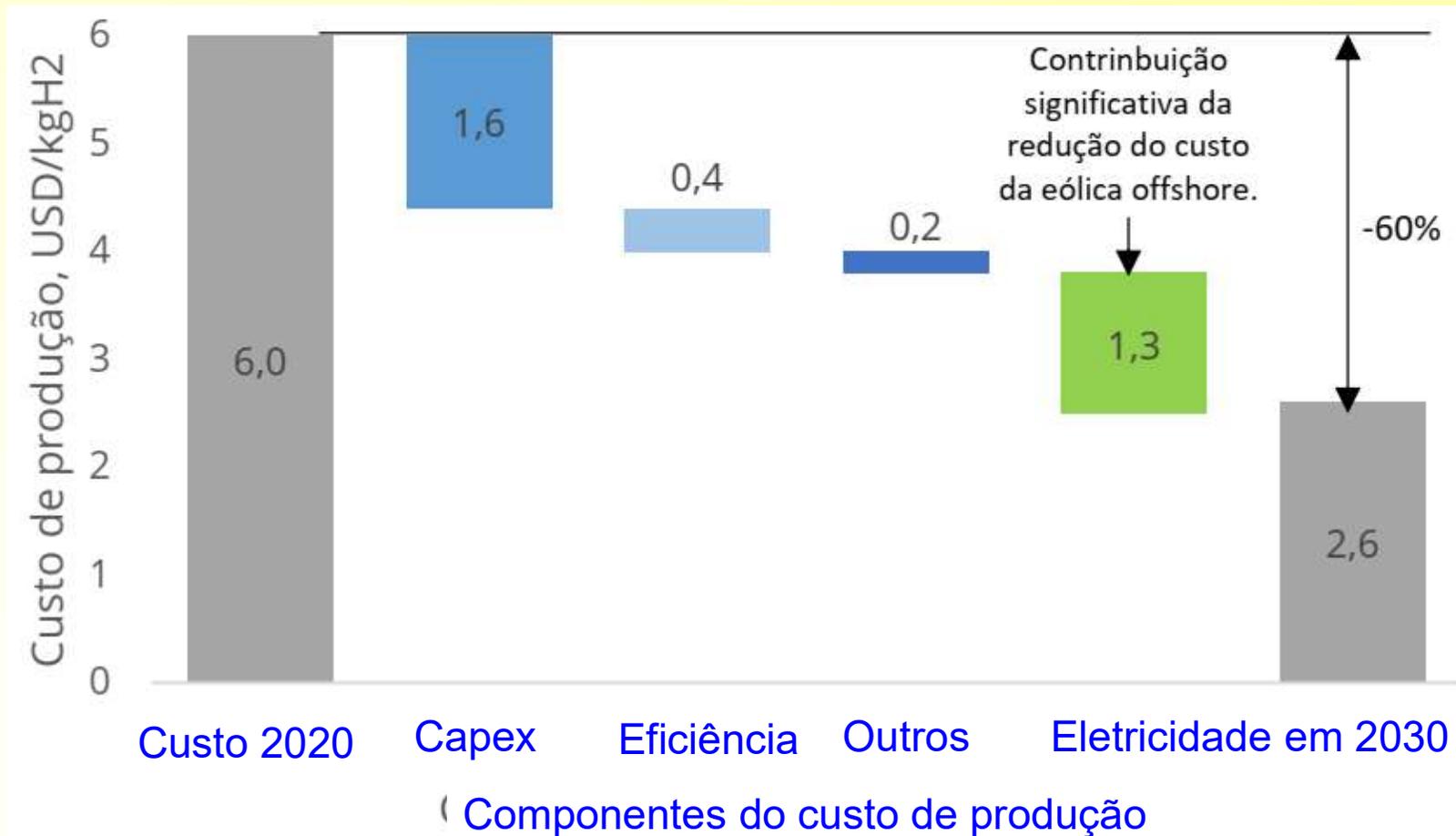
CCUS - Carbon Capture Utilisation and Storage

SMR - Steam Methane Reforming

Fonte: EPE (Empresa de Pesquisa Energética)  
– Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio, 23/02/2021.



# H<sub>2</sub>V – Redução de Custo a Partir da Eletrólise



Fonte: EPE (Empresa de Pesquisa Energética) – Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio, 23/02/2021.



## Energia Renovável no Brasil



Cerca de 183 GW de projetos Offshore em análise no IBAMA

Segundo a EPE há um potencial de 700 GW offshore

Matrizes elétrica e energética com participação de renováveis acima da média mundial.

No caso da elétrica, por exemplo, tem-se 83% de renováveis, enquanto a média global é de cerca de 25%. Na matriz energética, tem-se 46% e a média mundial está em 15%.

Cada R\$ 1,00 investido na indústria eólica equivale a R\$ 2,90 no Produto Interno Bruto.

Fonte: [www.abeeolica.org.br](http://www.abeeolica.org.br) 25/06/202323

### Uma oportunidade com o Hidrogênio Verde

O Hidrogênio Verde é uma tecnologia promissora porque apresenta vantagens no armazenamento e por conta do armazenamento, ser despachável.



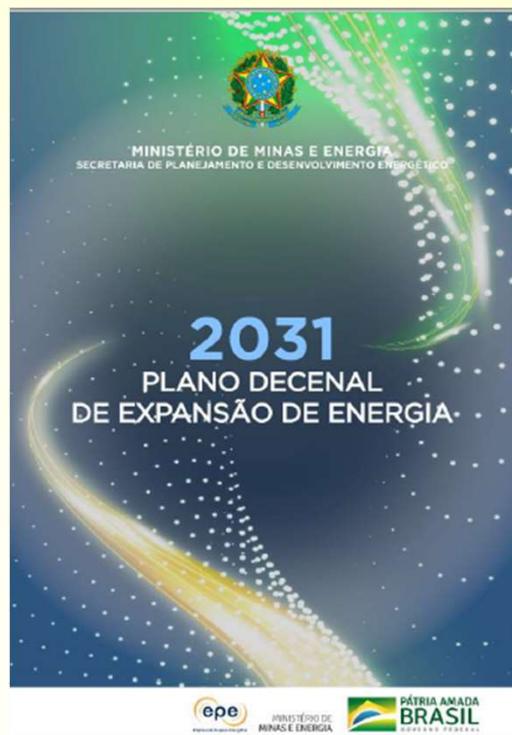
## Benefícios da Transição Energética através do Hidrogênio Verde no Brasil



- 1- Na exportação do H<sub>2</sub>V, desafios precisam ser vencidos que serão solucionados nas parcerias entre academia e empresas.
- 2- No mercado interno destacadamente nas regiões onde a energia elétrica é produzida a partir de combustíveis fósseis.
- 3- Na queima do hidrogênio para geração de energia elétrica.
- 4- Na mobilidade elétrica pelo uso de células a combustível.
- 5- Nas indústrias de fertilizantes, aços, na mobilidade em grandes distâncias, etc.



# PDE 2031 - Três Grandes Expansões para o Ceará



1. Nova SE de 500 kV em Morada Nova - reforçando a capacidade de conexão para a região leste do Ceará.
1. Linha de 500 kV interligando a SE Quixadá com duas novas SE's de 500 kV em Crateús e Teresina IV - expandindo a capacidade de conexão para novos projetos de Energia Solar no Sertão Central do Ceará, **induzindo o programa Renda do Sol.**
1. Seccionamentos na Linha 230 kV Milagres - Banabuiú - reforçando a capacidade de escoamento de geração na região Sul do Ceará.

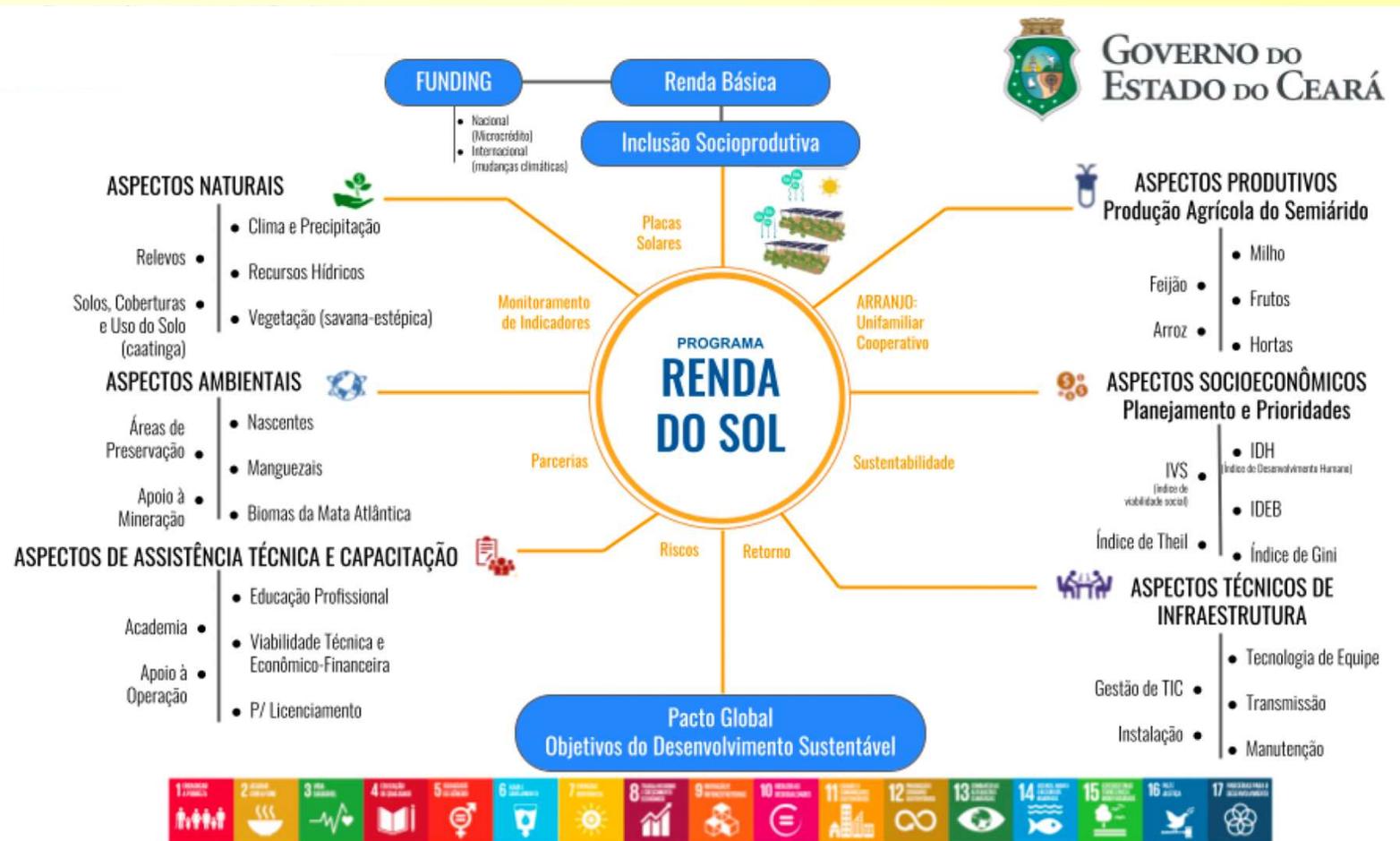


Estas obras estão previstas no PDE 2031 e serão contempladas nos próximos leilões de concessão de transmissão comporão os reforços necessários para a consolidação do HUB do Hidrogênio Verde do Ceará.

Fonte PDE/ COETE-SEINFRA

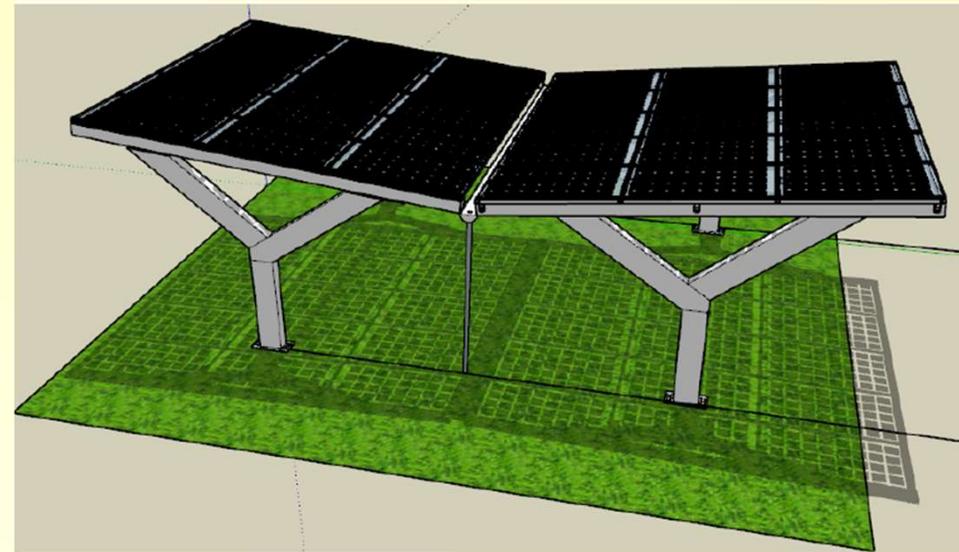
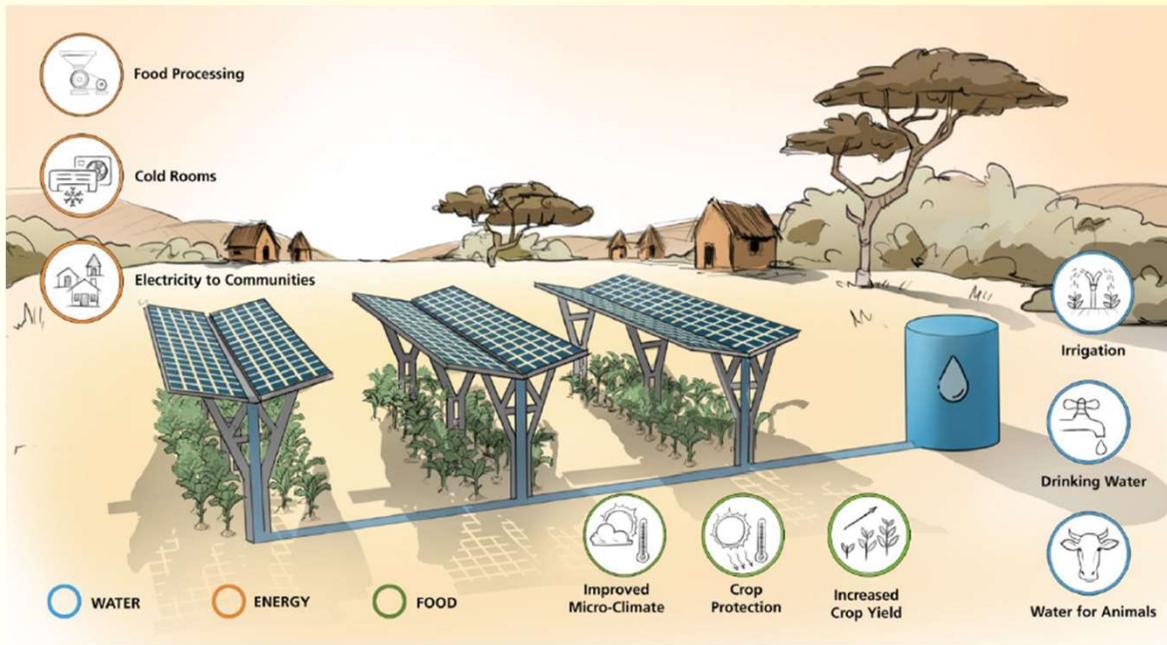


# Programa Renda do Sol





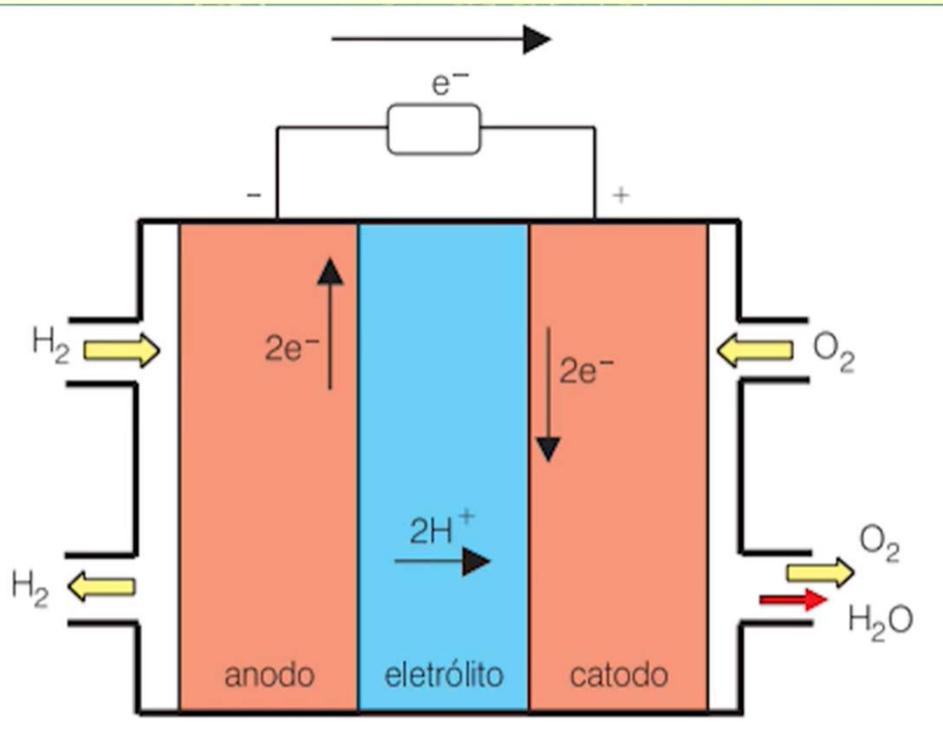
# Sistemas Agrifotovoltaicos



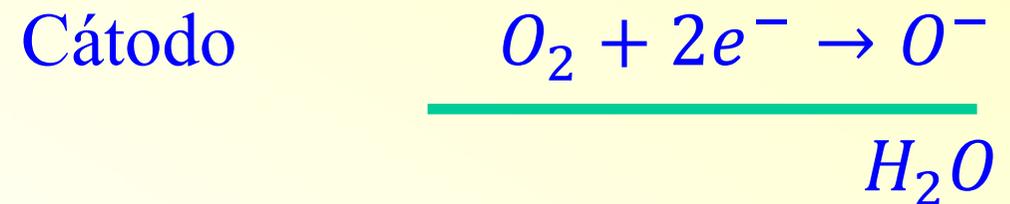
Fonte: Carvalho, Gabriel, "Uso de Sistemas Agrivoltaicos para Recuperação de Áreas Susceptíveis à Desertificação e Geração de Renda, 2023



# Célula a Combustível – H<sub>2</sub>



Uma célula a combustível é um dispositivo capaz de converter a energia química de um combustível em energia elétrica e calor, sem combustão, via uma reação eletroquímica.



Resultado de uma FC a hidrogênio:  
Eletricidade, água e calor



# Célula a combustível



## Vantagens

As células a combustível estão perto do ponto de consumo poupa investimento da construção de linhas de transmissão.

As perdas energéticas são consideravelmente reduzidas

Uma célula a combustível pode converter mais do que 90% da energia contida num combustível em energia elétrica e calor.

## Desvantagens

Catalizadores que usam metais nobres como, por exemplo, a platina que é um dos metais mais caros e raros no nosso planeta;

Necessitam de hidrogênio de elevada pureza para não contaminar o catalisador;

Os problemas e os custos associados ao transporte e distribuição do hidrogênio

Os interesses econômicos associados às indústrias de combustíveis fósseis e aos países industrializados



# Hidrogênio x Gasolina



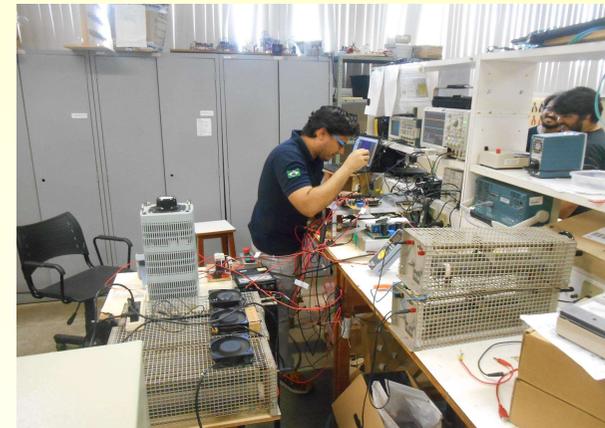


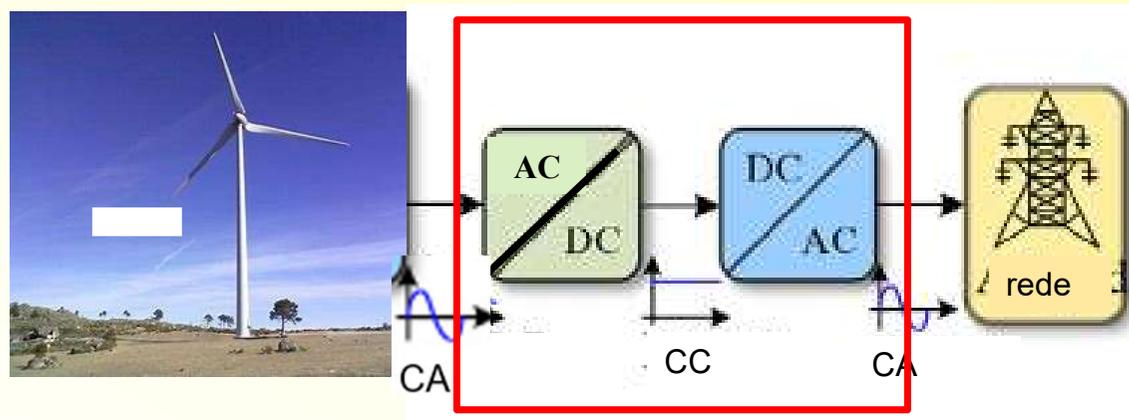
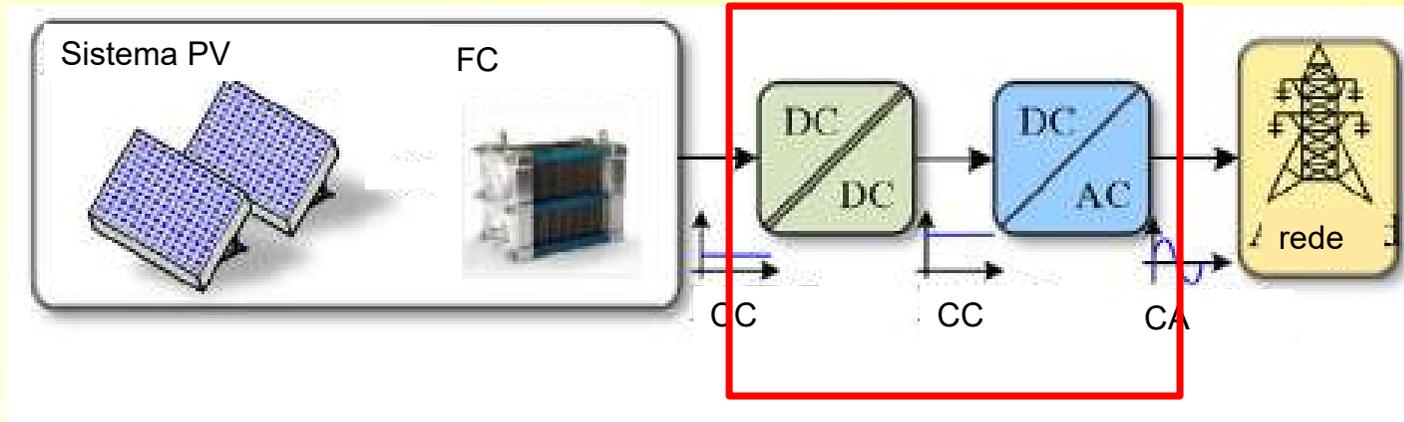
Universidade Federal do Ceará

# Grupo de Processamento de Energia e Controle



Estrutura de Laboratório:







## Professor Visitante para atuar no PPGEE



### Projeto

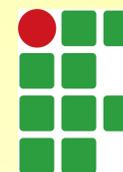
Novas Tecnologias Para Uso de Energias Renováveis na Geração de Energia Elétrica para Alimentação de Eletrolisadores Produtores de Hidrogênio Verde em Larga Escala



Universidade Federal do Ceará



SECRETARIA DA  
INFRAESTRUTURA  
*Governo do Estado do Ceará*



INSTITUTO FEDERAL

Ceará  
Campus Sobral

Ceará, a casa do hidrogênio verde

OBRIGADO



**GPEM**  
GRUPO DE PESQUISA EM MECATRÔNICA

