



> HIDROGÊNIO VERDE - USOS E DESAFIOS TECNOLÓGICOS

LEONARDO S. MAI

INSTITUTO SENAI
DE INOVAÇÃO **SISTEMAS EMBARCADOS**

➤ Cores do Hidrogênio



Fontes e cores do Hidrogênio

Cor	Processo	Fonte
Hidrogênio PRETO/MARROM	Gaseificação	Carvão
Hidrogênio CINZA	SMR ou gaseificação	Metano ou carvão
Hidrogênio AZUL	SMR ou gaseificação com captura de carbono (85-95%)	Metano ou carvão
Hidrogênio TURQUESA	Pirólise	Metano
Hidrogênio VERDE	Eletrólise	Eletricidade renovável
Hidrogênio ROSA	Eletrólise	Nuclear

Fonte: IRENA (2020).

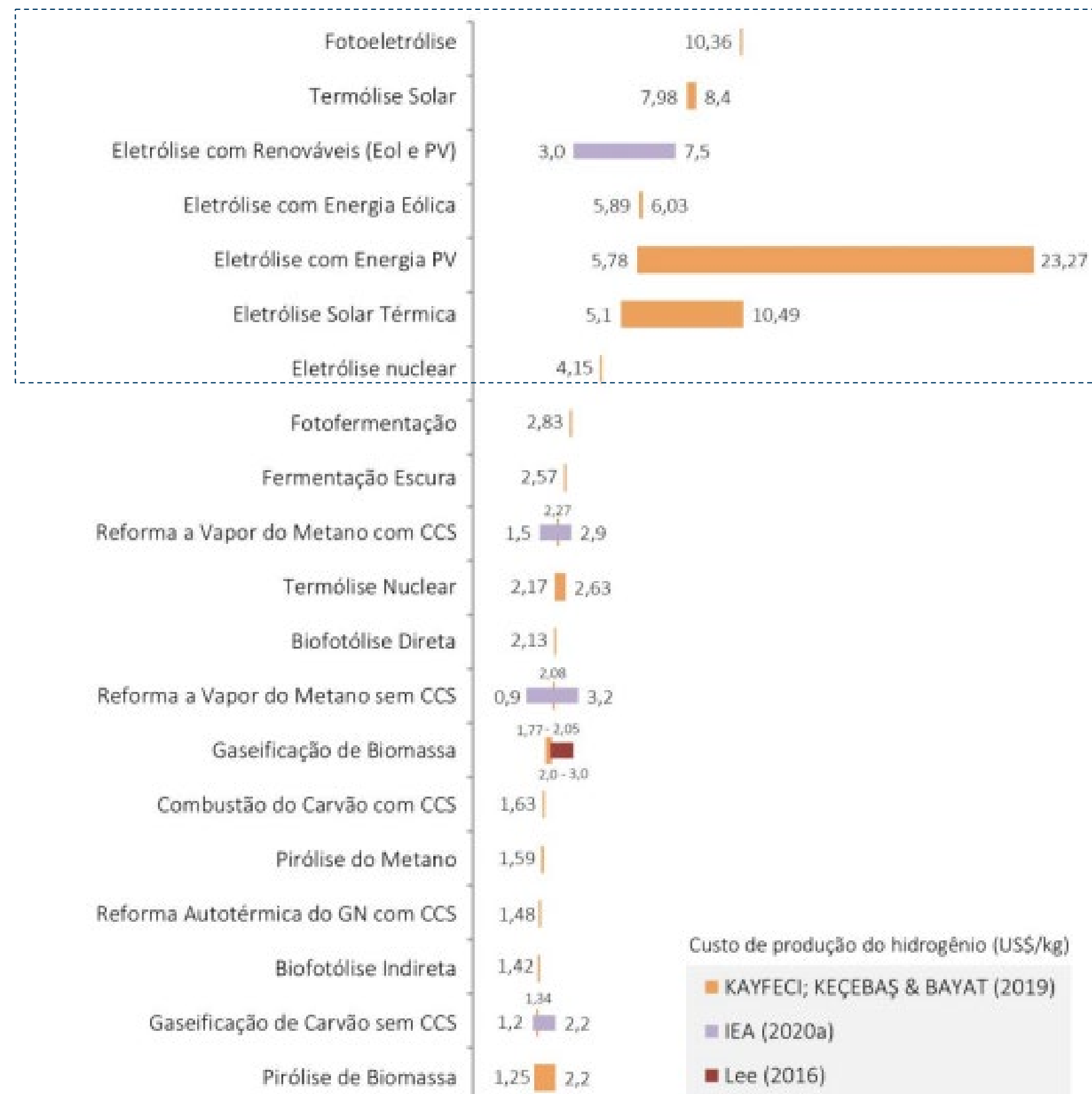
➤ Método mais utilizado hoje é a partir da reforma do gás natural - Hidrogênio Cinza.

➤ Hidrogênio Azul pode ser obtido também pela reforma do etanol de cana de açúcar.

➤ Somente é Hidrogênio Verde se for obtido a partir de fontes de energia renovável. Rastreabilidade da energia utilizada é um problema.

Custos de produção por energia renovável SÃO OS MAIS CAROS

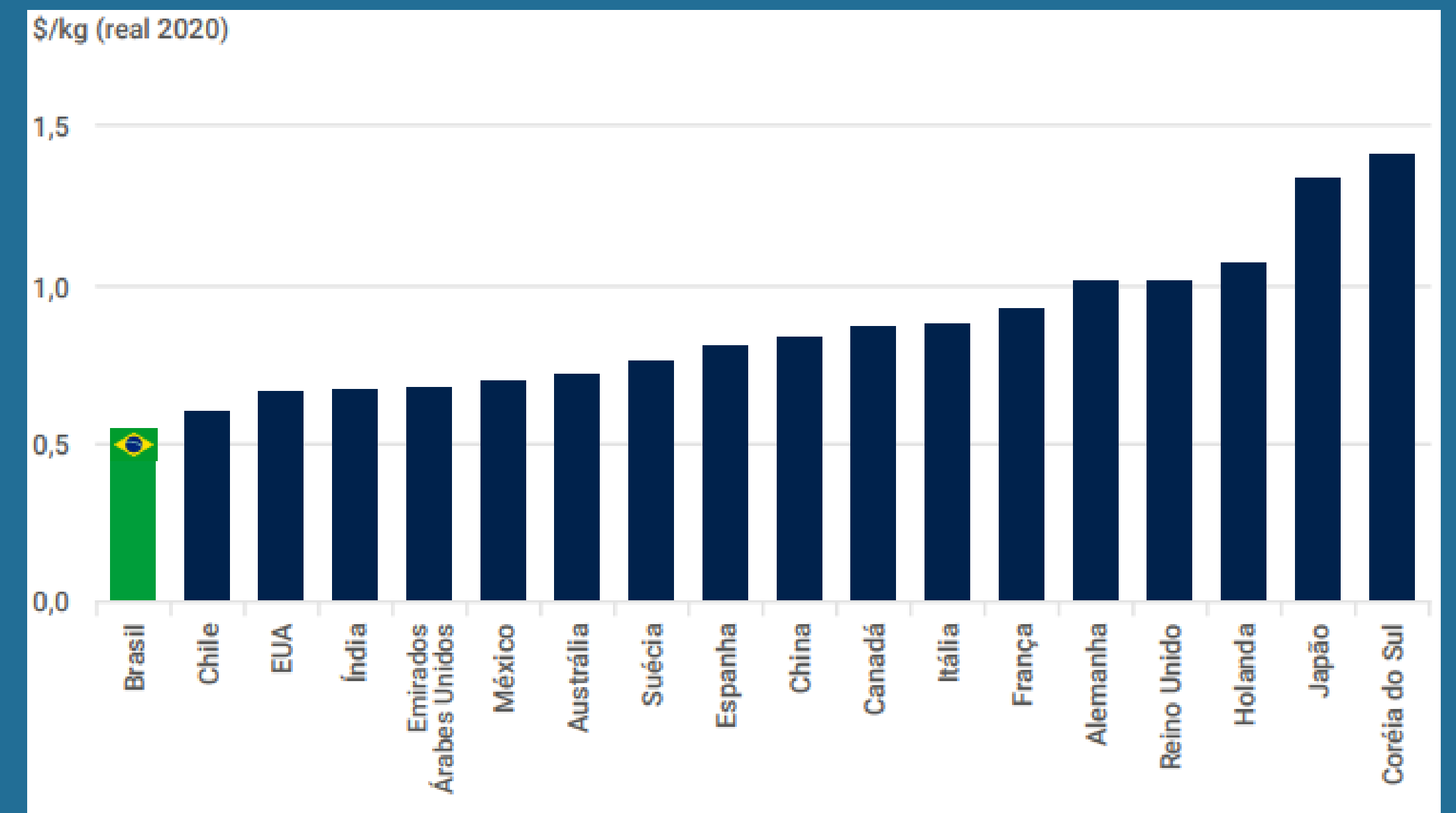
Ranges de custo da produção mundial do H2



Kayfeci; Keçebas & Bayat (2019); IEA (2020a); Lee (2016)

porém, o Brasil tem potencial para oferecer o MENOR CUSTO DO MERCADO

Custo nivelado da produção de hidrogênio a partir de eletricidade renovável previsto em 2050



BNEF (2021)

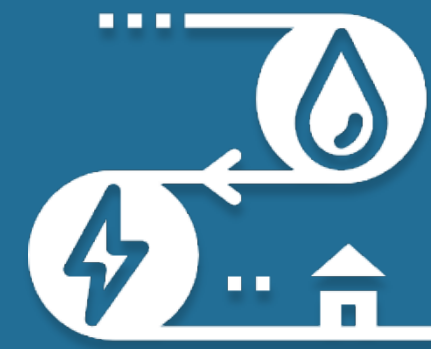
POR QUE NO BRASIL?



Potencial para ER

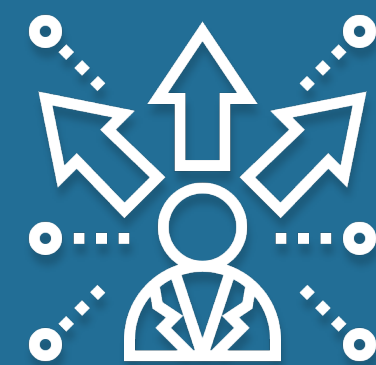
Alta capacidade de absorção no mercado interno

Competitivo em preço



País é referência mundial em ER

-80% da geração energética é por ER



País tem potencial para ter um dos menores custos de produção do H2V

BNEF (2021)



Alto ganho logístico

Sistema Nacional de Energia é interligado



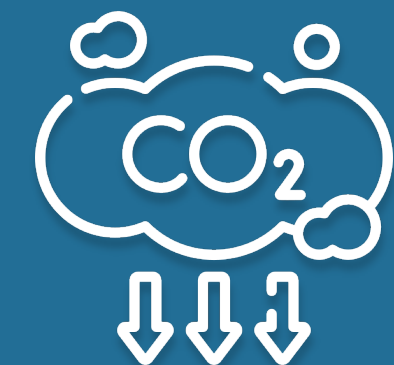
País tem grande potencial para comercialização de créditos de carbono

Renovabio



Grande mercado interno de aplicação do H2

Refinarias, Fertilizantes, Mobilidade, Agroindústria, Siderurgia



Metas BR para redução de carbono só ocorre com soluções para mobilidade e agricultura sustentável

> Plantas de Hidrogênio

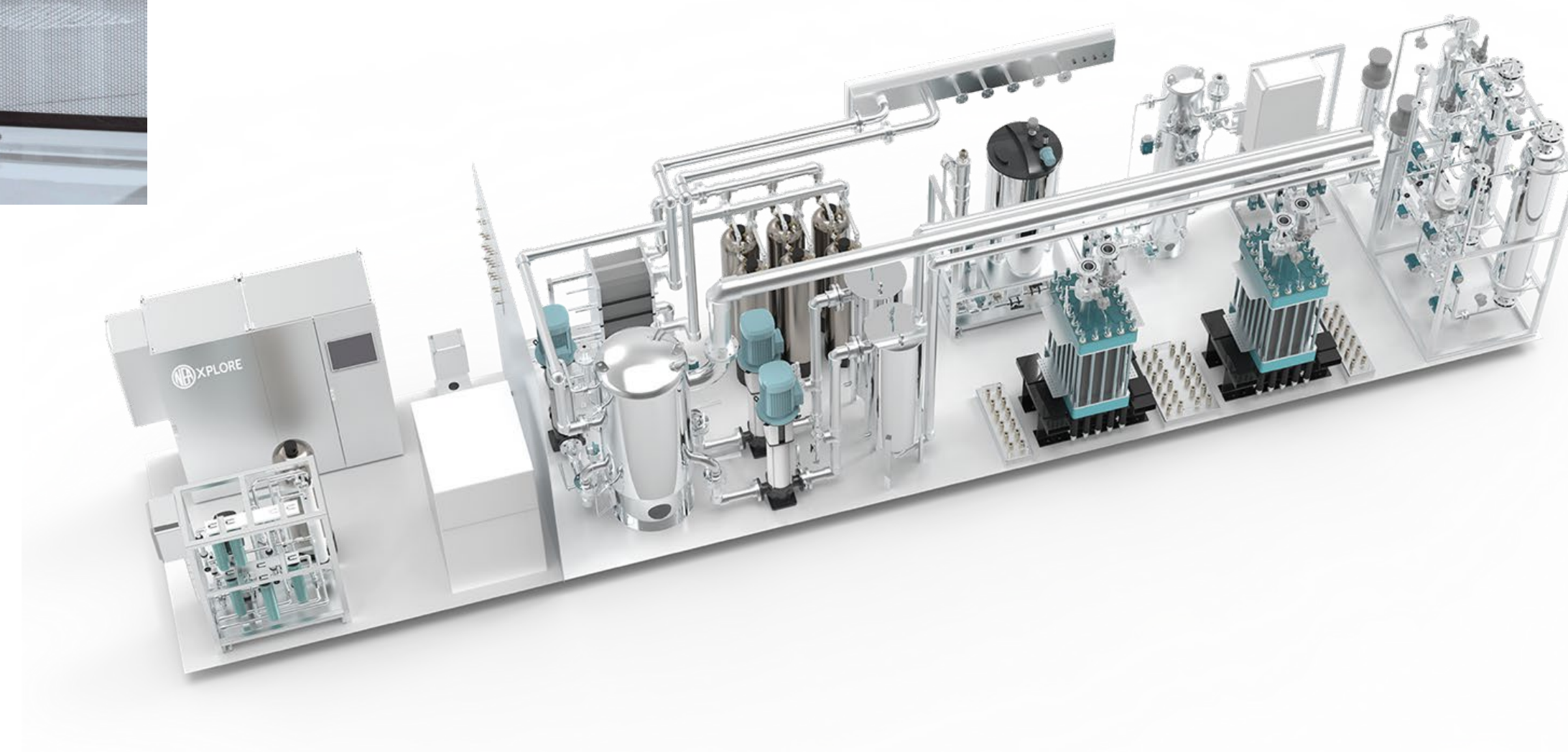
> Planta Alcalina - 60 kW 10Nm³/h - PTI



> Eletrolisador

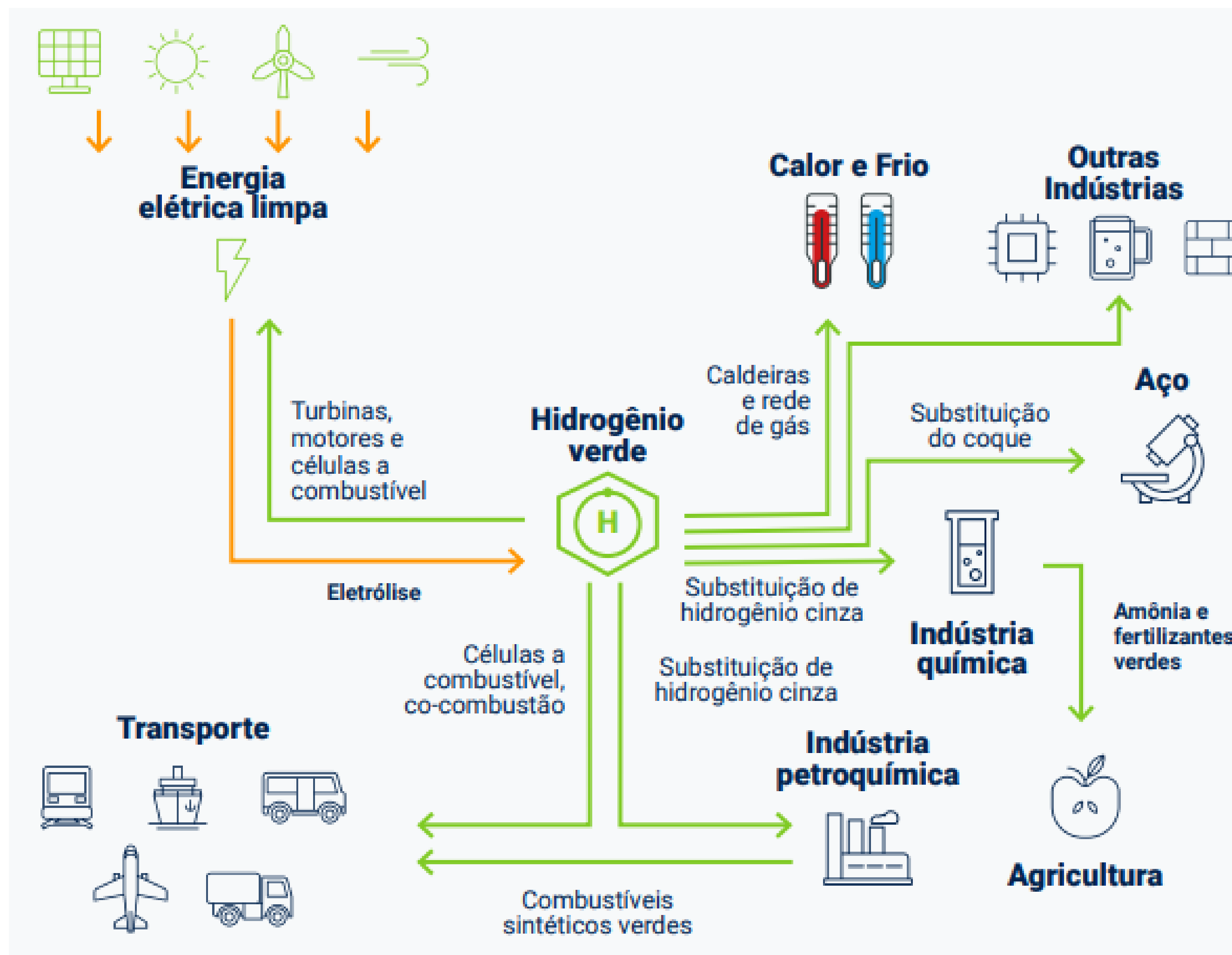
> 1 nm³ = 0,08988 kg | Toyota Mirai comporta 5kg de H₂

> Módulo eletrolisador AEM - 3 kW 0,5Nm³/h - Enapter



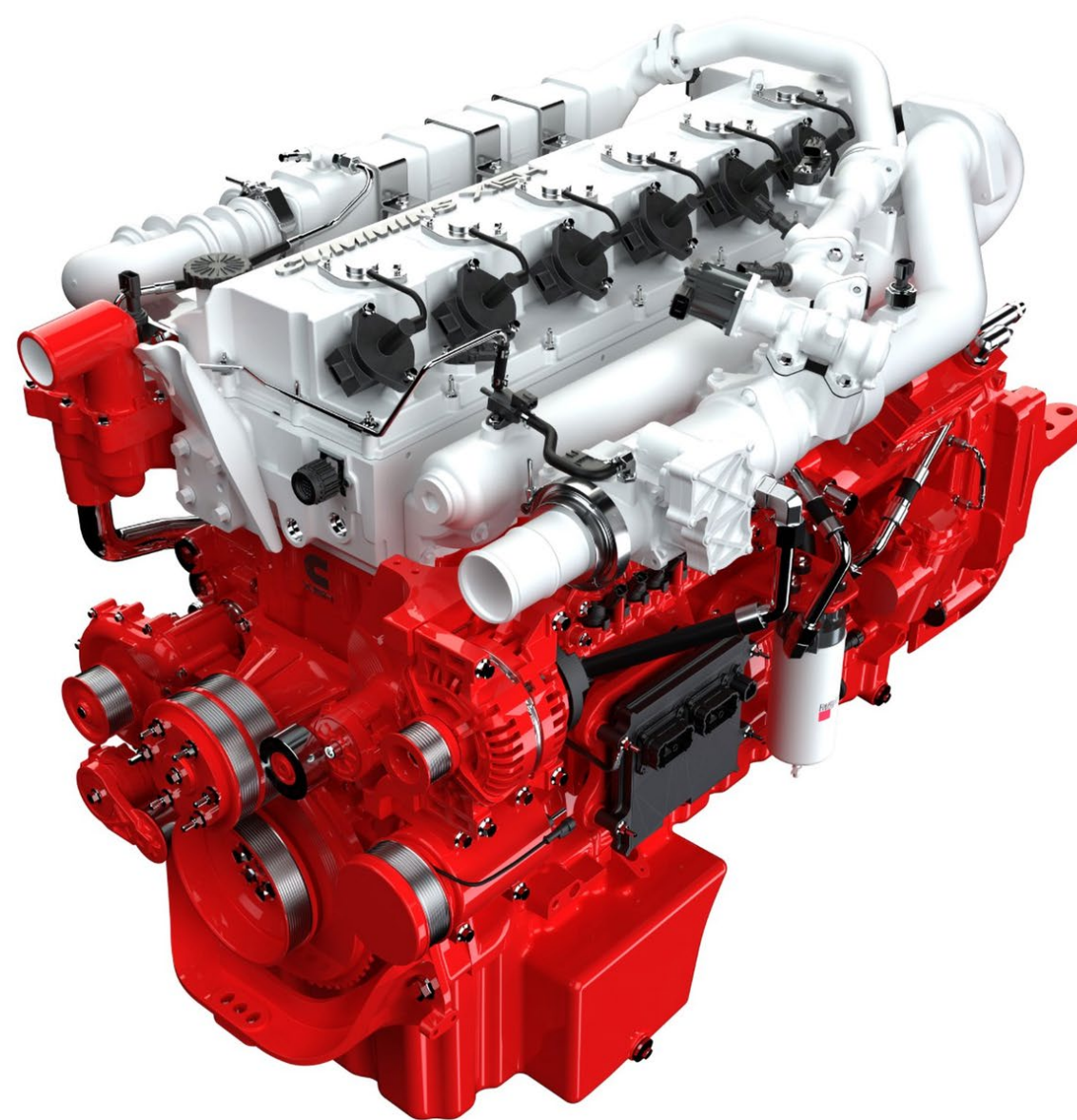
> Planta PEM- Up to 1MW e 200Nm³/h - HyPEM Hytron

Utilização do Hidrogênio



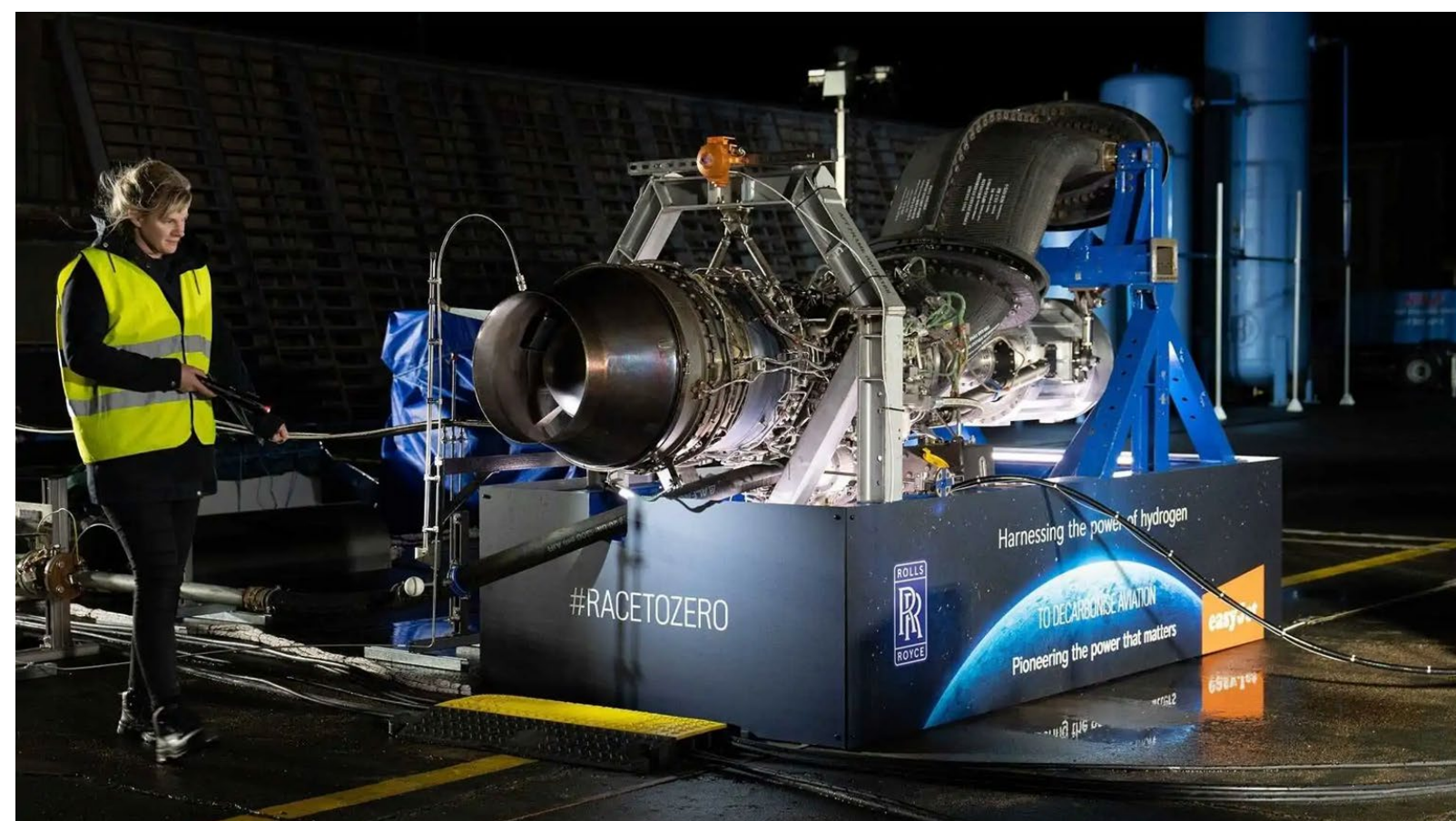
> Utilização do Hidrogênio - Fonte de energia

> Queima - motores combustão

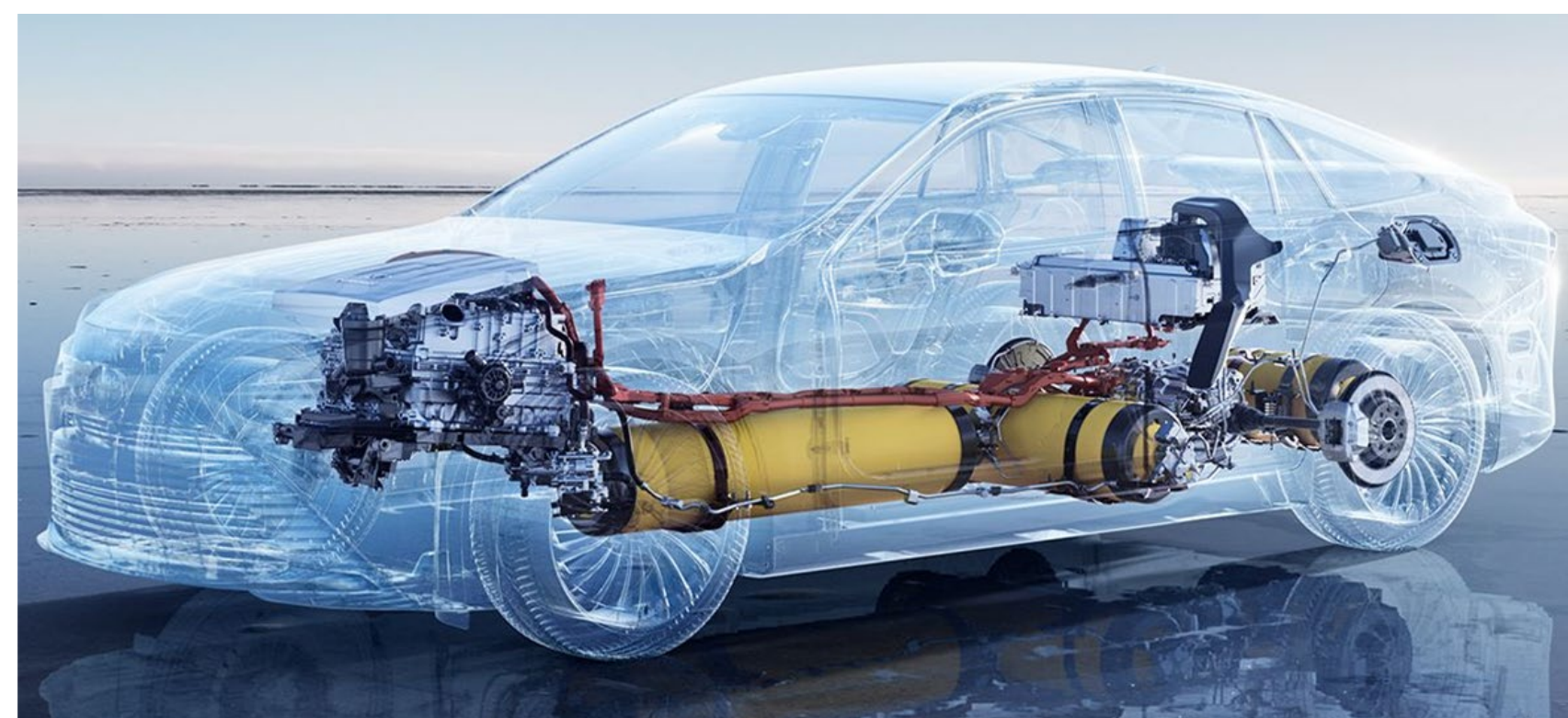


Cummins revela novo motor de 15 litros a hidrogênio

> Célula combustível



> Blending com Gás Natural



Toyota Mirai



Indústrias Siderúrgica, Cerâmica e Vidro - Queima para aquecimento

> Utilização do Hidrogênio - Combustíveis Sintéticos

> e-Methanol



> Methanol sintético como combustível para veículos leves, pesados e marítimos

> SAF



> SAF Combustível Renovável de Aviação

> Amônia



> Amônia como combustível para embarcações

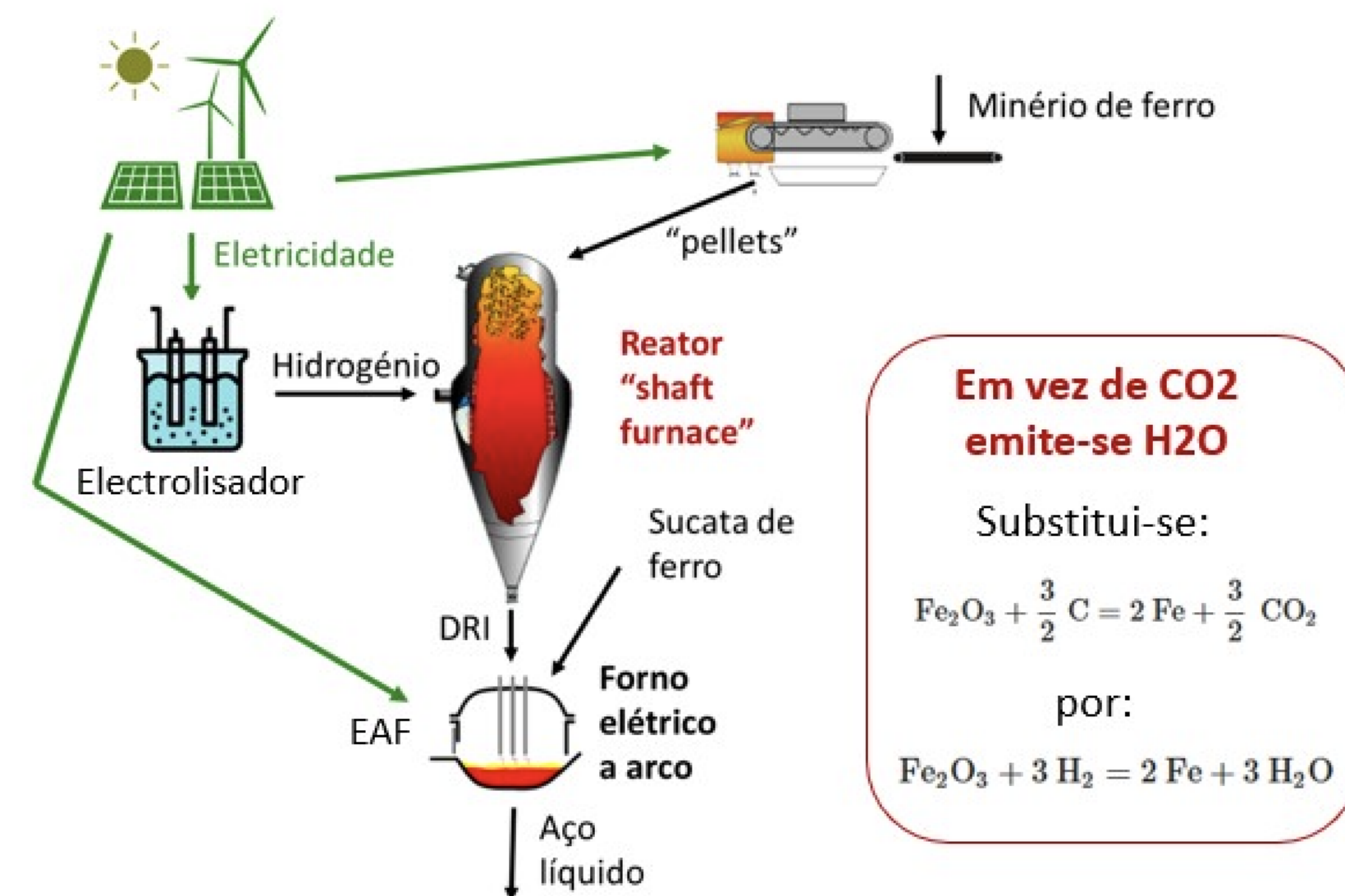
Utilização do Hidrogênio - Processos Industriais

> Indústria Petrolífera - Hidrocraqueamento e HVO

> Produção do Aço - substituição do coque

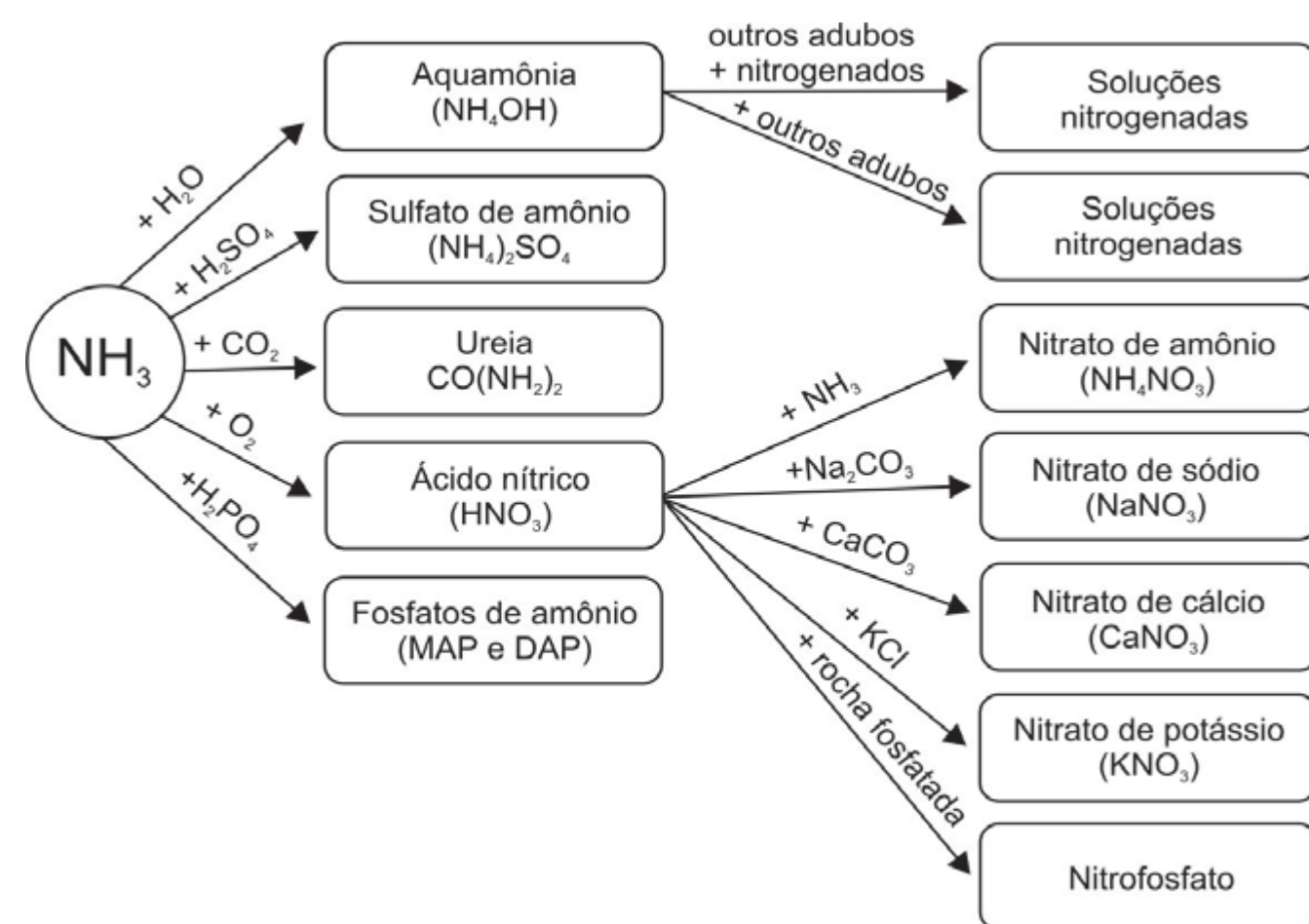


Produção de Aço Verde, utilizando DRI com hidrogênio



Utilização do Hidrogênio - Indústria Química

> Amônia - fertilizantes



> Plásticos “verdes”



> Indústrias alimentícias e farmacêuticas



➤ Desafios do Hidrogênio - Armazenamento e Transporte

> Baixa Densidade

- ➔ Devido a sua massa atômica, o gás hidrogênio é o elemento mais leve e de menor densidade;
- ➔ A molécula do hidrogênio é tão pequena que pode atravessar as paredes dos dutos e cilindros de armazenamento;
- ➔ Por conta da baixa densidade precisa ser transportado na forma de gás comprimido em alta pressão (350-700 bar);
- ➔ Ponto de ebulição do hidrogênio a 1 atm é de $-252,8^{\circ}\text{C}$ o que dificulta seu transporte na forma líquida;
- ➔ Pode ser transportado mais facilmente na forma de composto, ligado a outros elementos químicos ex: Amônia e metanol, mas requer gasto energético na conversão e separação.

> Compressão

- ➔ O uso de eletricidade para compressão é estimado entre 0,7-1,0 kWh/kg H₂, o equivalente a cerca de 2-3% do poder calorífico inferior do H₂ (YANG; OGDEN, 2006).
- ➔ A energia necessária para liquefação foi encontrada entre 12,5 e 15,5 kWh/kg H₂, o equivalente a cerca de 38-47% do poder calorífico inferior do H₂ (BARTELS, 2008).

> Perdas no Transporte

- ➔ O transporte rodoviário consome cerca de 1,5% do hidrogênio transportado a cada 100 km nas condições tecnológicas atuais.
- ➔ O consumo para transporte do hidrogênio em dutos depende das condições operacionais do duto, com um consumo entre 0,77% (HÄNGGI et al., 2019) e 0,93% (BOSSEL; ELIASSON, 2003) do hidrogênio transportado a cada 100 km.

➤ Desafios do Hidrogênio - Armazenamento e Transporte - Possíveis Soluções

> Baixa Densidade

➔ Japão concluiu o primeiro navio-tanque capaz de transportar hidrogênio líquido do mundo.



> Compressão

➔ A empresa Linde comercializa atualmente um compressor com um consumo de aproximadamente 0,66% do poder calorífico inferior do H₂ (LINDE, 2021).



> Perdas no Transporte

➔ Reduction of hydrogen permeation by Hydrogen barrier coatings for tanks, pipelines and more - Fraunhofer IFAM



> Desafios do Hidrogênio - Eficiência de geração

> Eletrolisador Alcalino

> Eletrolisador PEM
(Proton Exchange membrane)

> Eletrolisador SOEC
(Solid Oxide Electrolysis Cell)

> Eletrolisador AEM
(Anion Exchange membrane)

	Alcalino	PEM	SOEC	AEM
Eficiência	62-82%	67-82%	81-86%	62-80%
Temperatura de operação (°C)	60-90	50-80	700-900	30-60
Eletrólito	20-40% KOH	Água líquida	Vapor d'água	Água ou solução de KOH
Pressão de operação (bar)	10-30	20-50	1-15	8-35
Consumo específico (kWh _{el} /Nm ³ de H ₂)	5,0-5,9	5,0-6,5	3,7-3,9	~4.8
Vida útil (h)	60k-90k	20k-60k	<10k	>2k*
Custo (€/kW)	800-1500	1400-2100	>2000	

Fonte: (TENHUMBERG; BÜKER, 2020). Adaptado



CIGE- MULTIPOINT DC-DC CONVERTER AND IoT SYSTEM FOR INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT



➤ Conversor Multiportas

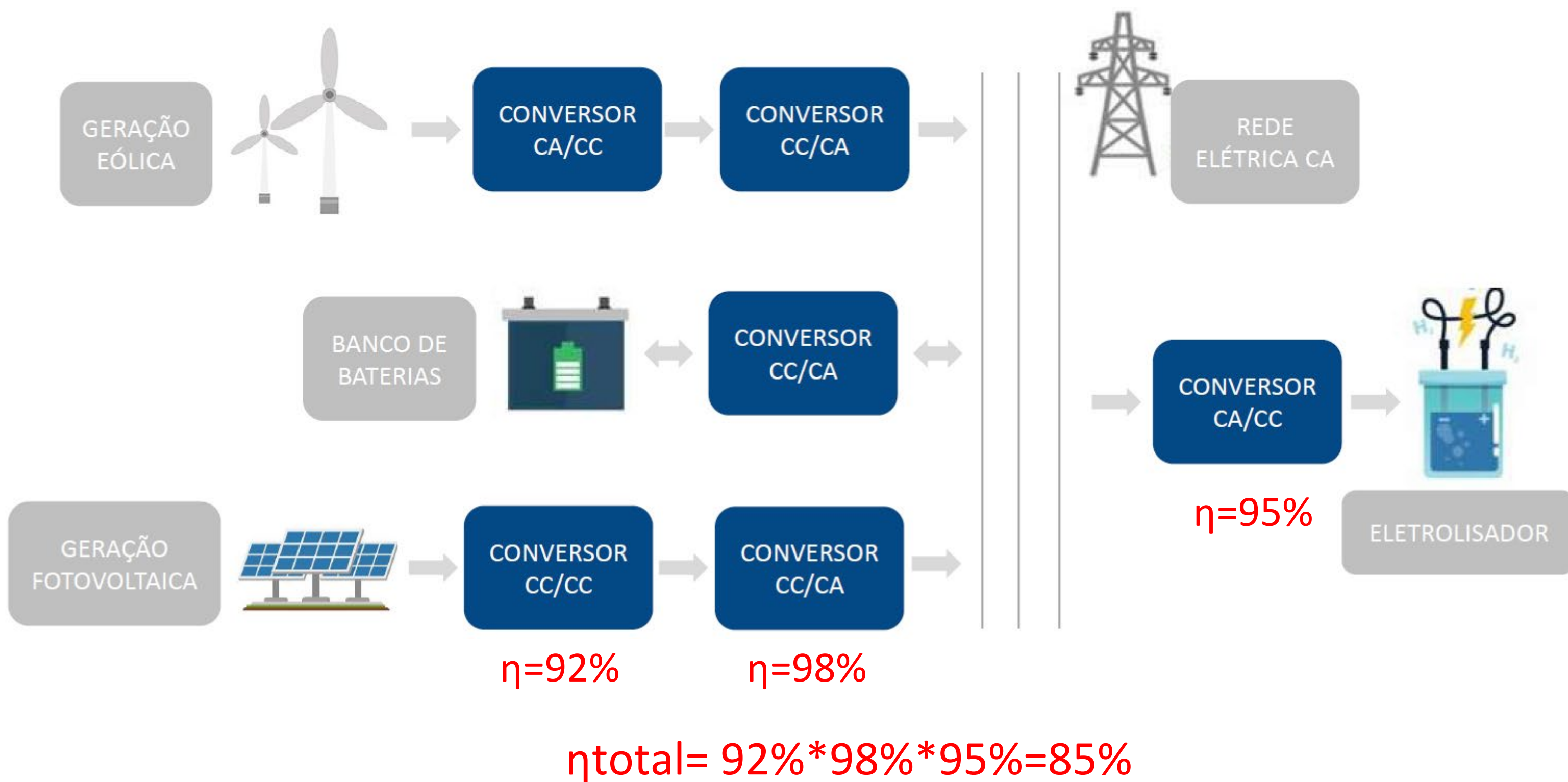


- Desenvolvimento de um conversor único multiportas CC;
- Desenvolvimento de um sistema de IoT inteligente de gestão de energias;
- Redução de custos da parte da eletrônica de potência para a planta de H₂;
- Aumento de eficiência energética da planta total;
- Aplicabilidade de plantas de H₂ verde local, como em indústrias e postos de veículos a hidrogênio;
- Redução de custo do transporte de hidrogênio;
- Viabilidade técnica e econômica para aplicação da microrrede em nível mercadológico.

➤ Conversor Multiportas

Eficiência Elétrica

Topologia Tradicional



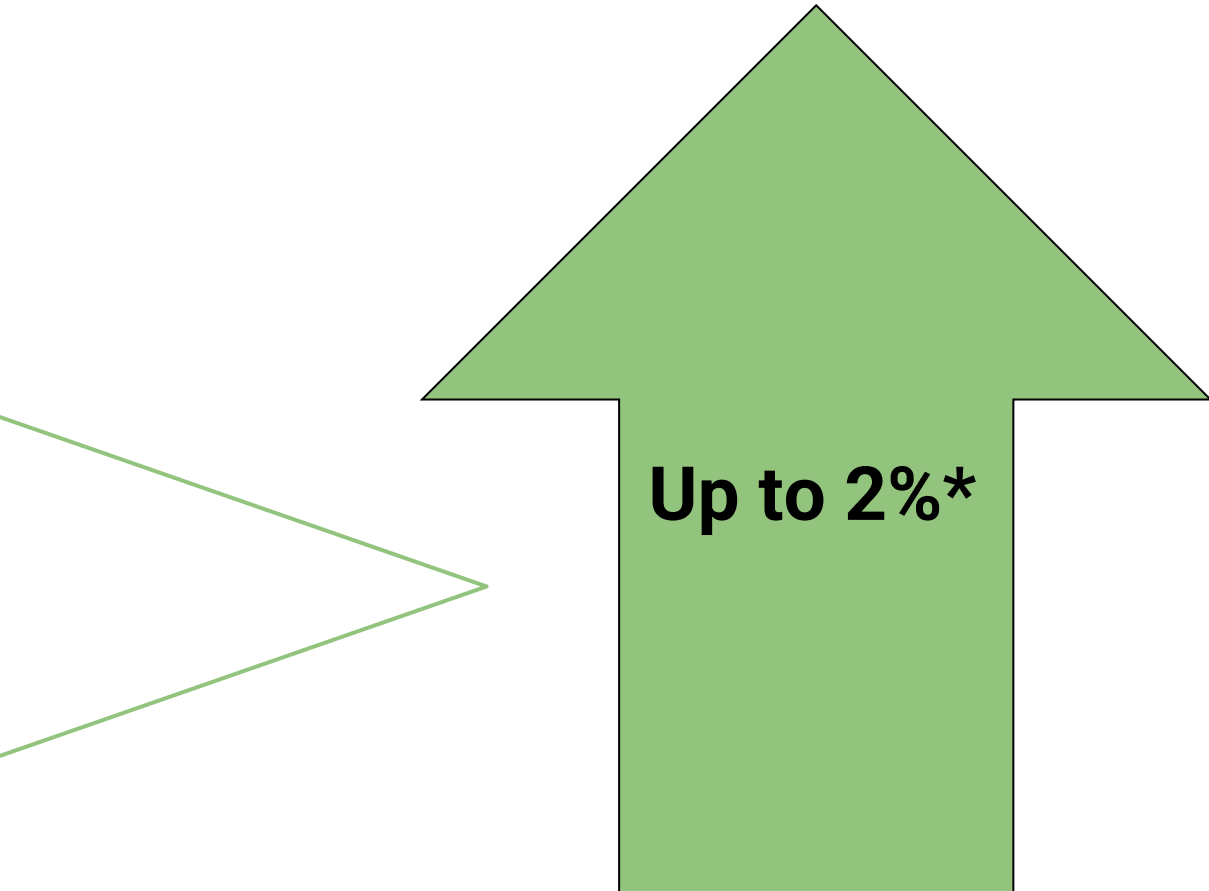
Topologia Proposta



Ganho de eficiência estimado:

Eficiência total da planta alcalina PTI (eletrolisador de 43kW, operando a 70% da potência nominal), já produzindo hidrogênio verde com energia solar):

Topology	Eficiência conversão elétrica	Eficiência Eletrolisador	Energia gasta nos periféricos auxiliares	Eficiência Global
Conversor Multiportas proposto	90%	76%	25%	51.3%
Microrrede tradicional (múltiplos conversores)	85%			48.45%

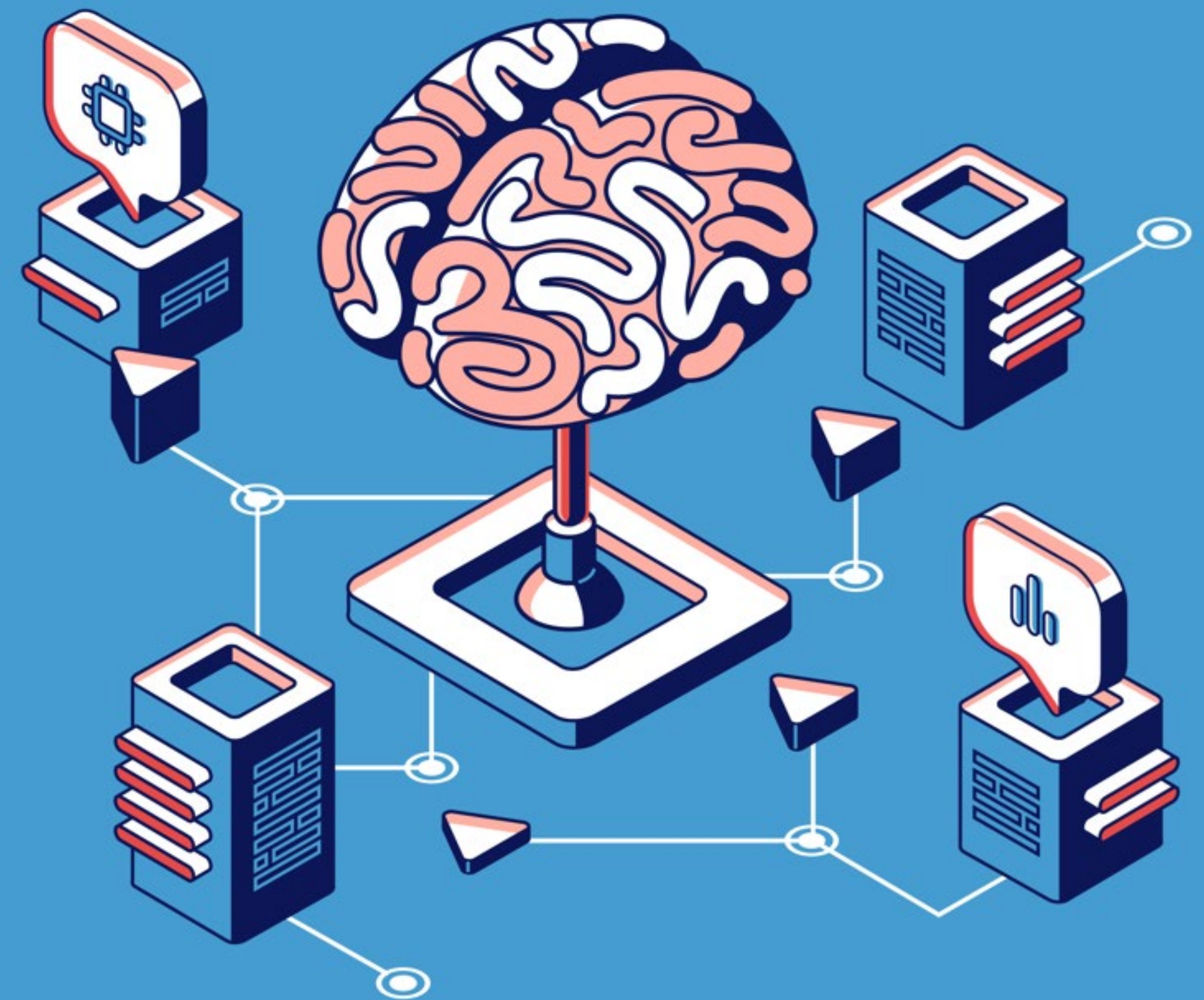


O conversor em desenvolvimento pode ser adaptado e aplicado a outras plantas de H2 aumentando sua eficiência de geração em cerca de 1 a 2%*

*Os resultados podem variar de acordo com as características específicas de cada planta.

- Inteligência Artificial (IA) responsável pela gestão das diferentes fontes geradoras de energia;
- Tomada de decisões automáticas para balancear e manter otimizado o sistema;
- Melhor aproveitamento elétrico com base em dados de previsões climáticas e geração energética;
- Gestores IoT: Circuito Integrado mestre dos controles tomados;
- Controle de baixo nível: Controle dos conversores para operação em máxima eficiência;
- Controle alto nível: IA que determina os setpoints de operação de cada porta do conversor CC-CC;
- Sistema IoT: Comunicação com um servidor em nuvem, através de um módulo de rádio celular 2G/4G, recebendo os setpoints de operação e enviando dados coletados.

SISTEMA IOT PARA GESTÃO INTELIGENTE DE ENERGIAS





> Institutos SENAI de
Inovação & Tecnologia

INSTITUTO SENAI
DE TECNOLOGIA

INSTITUTO SENAI
DE INOVAÇÃO

> Rede Nacional de Institutos de Tecnologia e Inovação SENAI

>26 Institutos
de Inovação

- > 15 UNIDADES EMBRAPPII
- > 20 CREDENCIADAS ANP
- > 10 CREDENCIADAS CATI

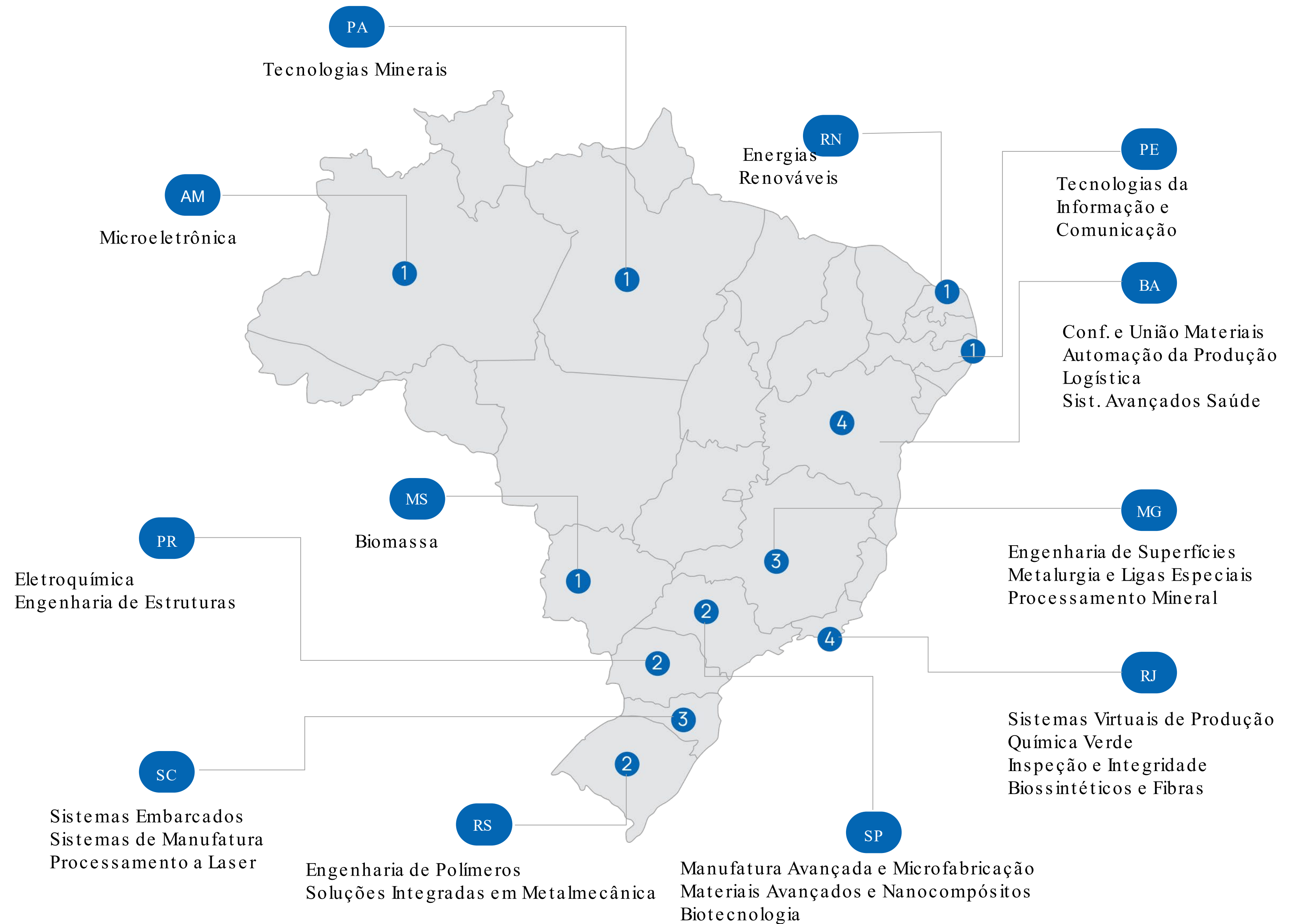


>60 Institutos
de Tecnologia





> 26 INSTITUTOS DE Inovação



Nossa Rede



Alimentos e Bebidas
Chapecó



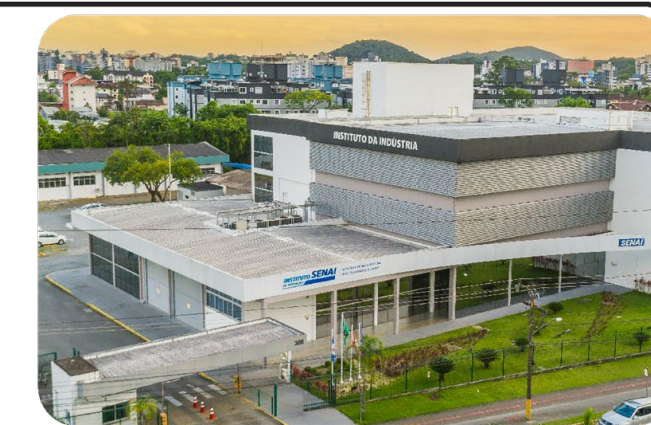
Mobilidade Elétrica e Energias Renováveis
Jaraguá do Sul



Madeira e Mobiliário
São Bento do Sul



Sistemas de Manufatura e Processamento a laser
Joinville



Logística de Produção
Itajaí



Têxtil, Vestuário e Design
Brusque e Blumenau



Ambiental
Blumenau



Sistemas Embarcados
Florianópolis



Cerâmica
Criciúma





> Capital relacional

Universidades e ICTs



Fundações e Fomento



Facilitadores de inovação





Indústrias de grande porte

Nossos clientes são companhias de grande projeção que se concentram nos setores de óleo & gás , automotivo , energia , biotecnologia, agroindústria e linha branca ,

> Principais Clientes



> Big numbers

244

PROJETOS DE
P&D+I

235

EMPRESAS
ATENDIDAS

+ R\$ **368,45 Mi** PROJETOS DE
P&D+I

PESQUISADORES
+100

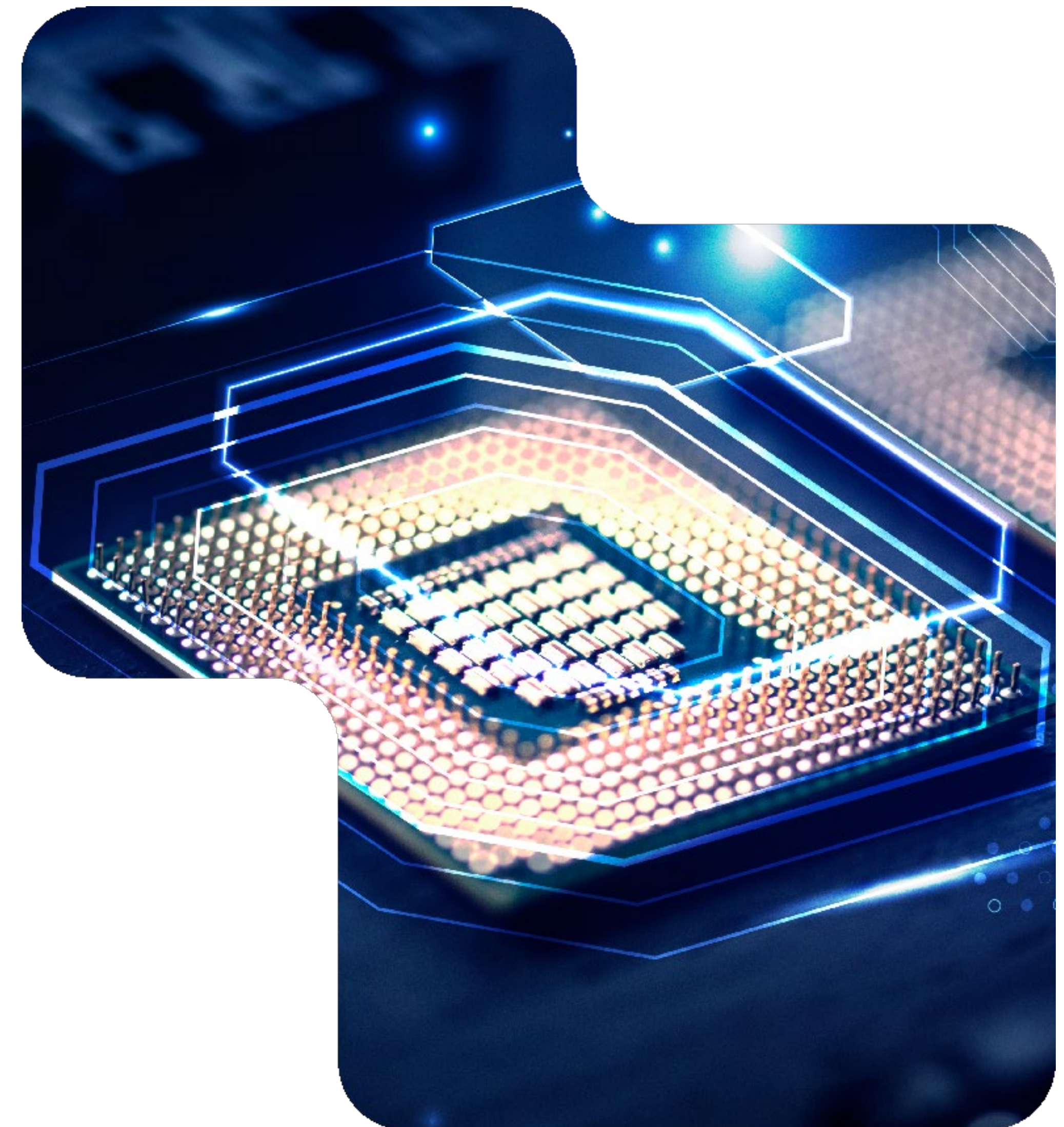
DOCTORES E MESTRES
57,5%
dos pesquisadores

PROFISSIONAIS
161
Técnicos-especialistas

SISTEMAS EMBARCADOS

Referência na pesquisa e no desenvolvimento a partir da **inovação**, desenvolve soluções de software, hardware e IA.

Os projetos abrangem Transformação Digital, IoT (Internet das Coisas), Indústria 4.0, além de máquinas e equipamentos inteligentes.



> Áreas de atuação



- > Software embarcado
- > Hardware eletrônico
- > Sistemas aeroespaciais

- > I.A. e customização matemática
- > Visão computacional
- > Aprendizagem de máquina
- > Bioinformática

- > Automação de controle e instrumentação
- > Sistemas mecânicos
- > Software e arquitetura de dados

SMART DEVICES



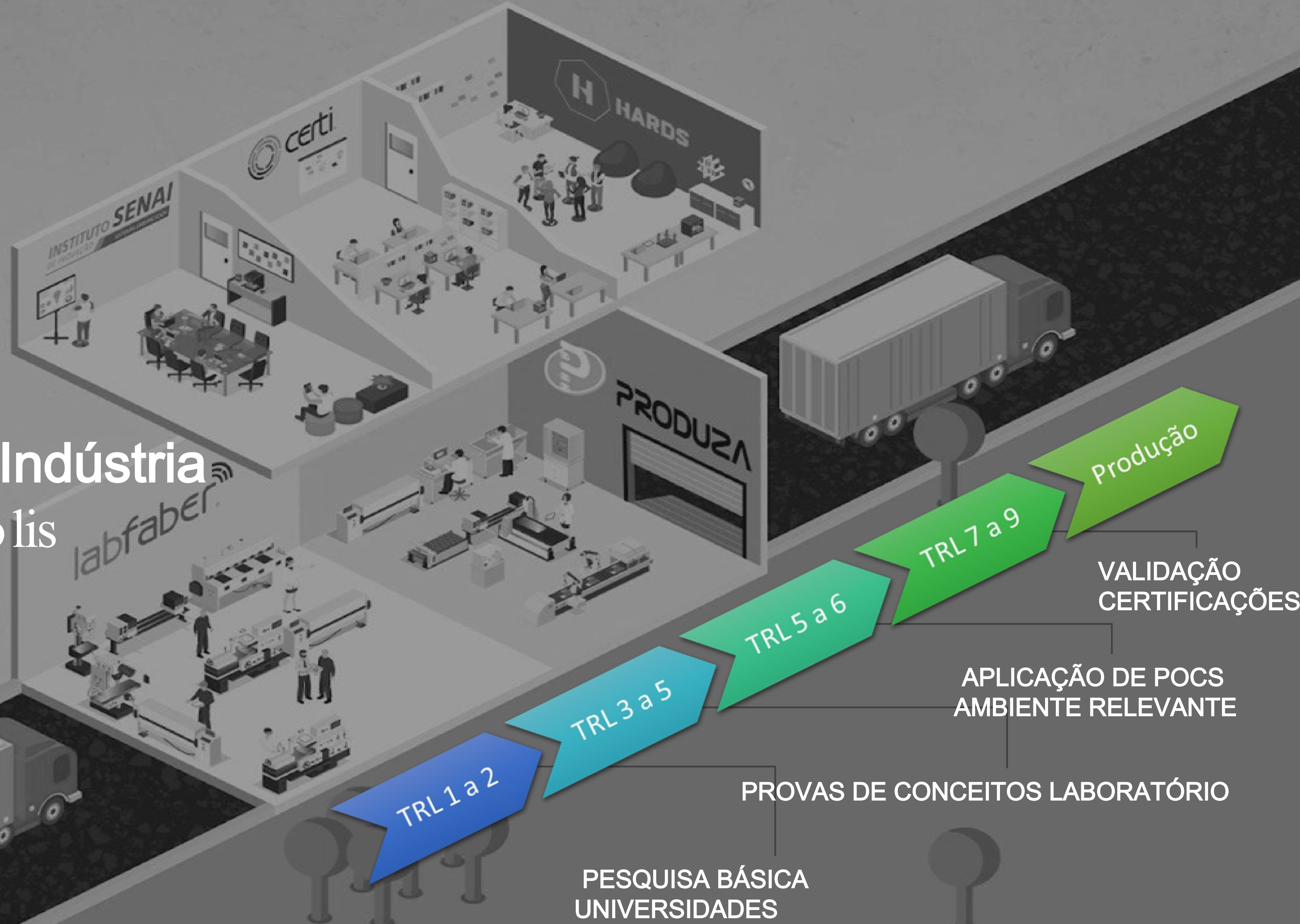
DATTA INTELLIGENCE



SMART SYSTEMS



> Instituto da Indústria de Florianópolis



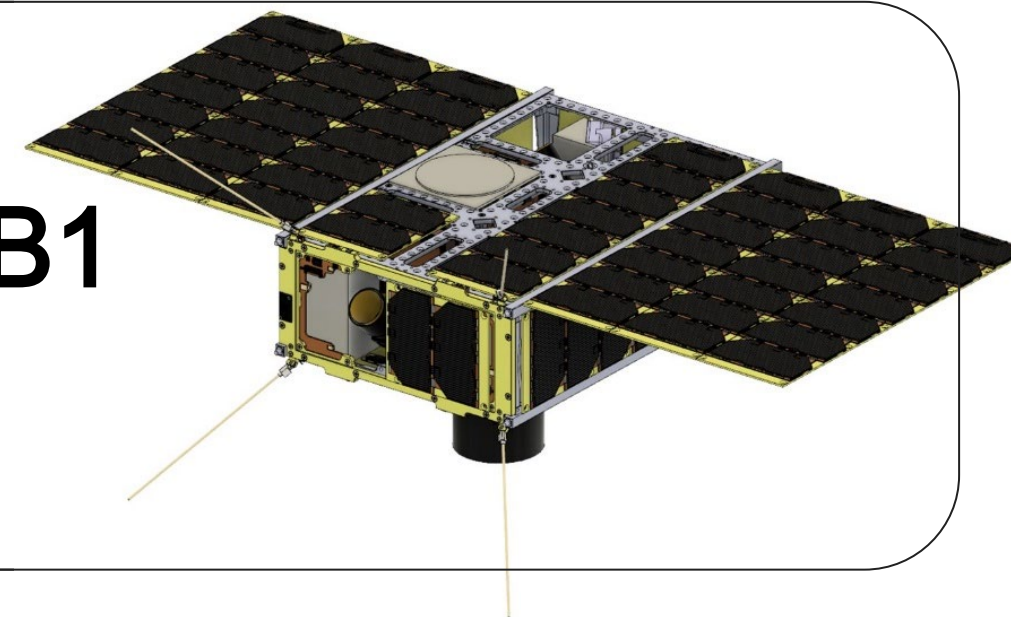
> **Robô Annelida**

Robô de desobstrução de dutos pré-sal.



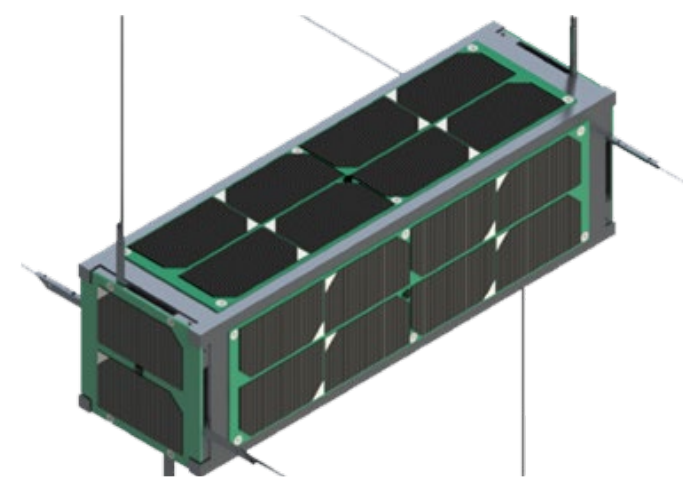
> **Nanossatélite VCUB1**

1º nanossatélite 100% brasileiro



> **Constelação Catarina**

Frota de nanossatélites para monitoramento meteorológico.



> **FleetSense**

Conectividade de implementos rodoviários



> **Barragem 4.0**

Monitoramento aéreo de barragens





> **Leonardo S. Mai**
*Pesquisador Líder da área
de Eletrônica de Potência e
Energias Renováveis -
Instituto SENAI de Inovação
em Sistemas Embarcados*

leonardo.mai@sc.senai.br
institutos.sc.senai.br

INSTITUTO SENAI
DE INOVAÇÃO

INSTITUTO SENAI
DE TECNOLOGIA