

E-FUELS: A REVOLUÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SINTÉTICOS

COMO O GÁS CARBÔNICO E O HIDROGÊNIO ESTÃO
MOLDANDO A ENERGIA DO AMANHÃ

Fabíola Correia de Carvalho
Pesquisadora LABPROBIO





Mundo caminha para novos recordes de temperatura nos próximos cinco anos

Influenciado pelo possível retorno do El Niño, 2027 pode superar 2024 como o ano mais quente já registrado.

28 de maio 2026 por Priscila Pacheco





URGÊNCIA
EM REDUZIR AS EMISSÕES
GLOBAIS DE CO₂

EMISSIONES DE CO₂e DOS TRANSPORTES NO BRASIL

Dados mais recentes | Ano-base 2024 – SEEG 13 (publicado em 2025)

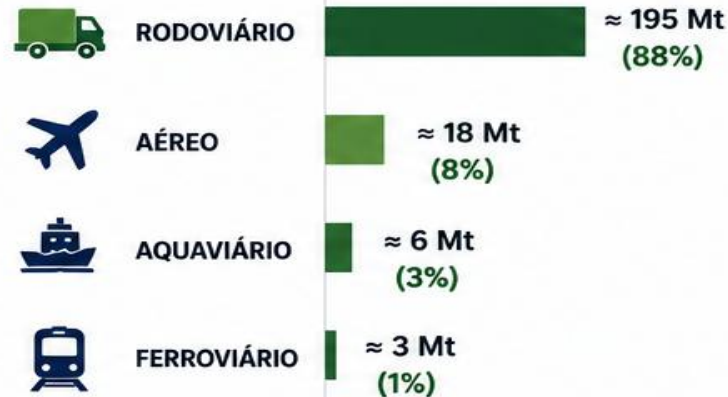
PARTICIPAÇÃO DO TRANSPORTE NAS EMISSÕES TOTAIS DO BRASIL



Total Brasil: ≈ 1.200 Mt CO₂e

EMISSIONES DO TRANSPORTE POR MODAL – 2024

Mt CO₂e e participação do setor



QUEM EMITE DENTRO DO SETOR? – 2024



53%
Transporte de cargas



46%
Transporte de passageiros

MENSAGENS-CHAVE



O transporte é o maior emissor do setor de energia no Brasil.



O modal rodoviário responde por $\sim 88\%$ das emissões do setor.



O diesel é o principal combustível utilizado e o maior responsável pelas emissões.



Eletrificação, biocombustíveis e eficiência energética são essenciais para alcançar a neutralidade de carbono.

CAMINHOS PARA A DESCARBONIZAÇÃO DOS TRANSPORTES



RODOVIÁRIO A DIESEL
Principal fonte de emissões



ELETRIFICAÇÃO
de veículos leves, ônibus e parte dos caminhões



BIOCOMBUSTÍVEIS
Etanol, Biodiesel, Biometano, HVO



SAF E COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS
para aviação, navegação e transporte pesado



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO INTELIGENTE
logística, manutenção, novas tecnologias



MENOS EMISSÕES, MAIS MOBILIDADE SUSTENTÁVEL



O futuro da mobilidade no Brasil depende da integração entre tecnologias limpas, combustíveis sustentáveis e políticas públicas eficazes.



EMISSIONES DE CO₂e DOS TRANSPORTES NO BRASIL

Dados mais recentes | Ano-base 2024 – SEEG 13 (publicado em 2025)

CAMINHOS PARA A DESCARBONIZAÇÃO DOS TRANSPORTES



RODOVIÁRIO A DIESEL
Principal fonte de emissões



ELETRIFICAÇÃO
de veículos leves,
ônibus e parte dos
caminhões



BIOCOMBUSTÍVEIS
Etanol, Biodiesel,
Biometano, HVO



**SAF E COMBUSTÍVEIS
SUSTENTÁVEIS**
para aviação, navegação
e transporte pesado



**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
E GESTÃO INTELIGENTE**
logística, manutenção,
novas tecnologias



**MENOS EMISSÕES,
MAIS MOBILIDADE
SUSTENTÁVEL**

RODOVIÁRIO A DIESEL
Principal fonte de emissões

ELETRIFICAÇÃO
de veículos leves,
ônibus e parte dos
caminhões

BIOCOMBUSTÍVEIS
Etanol, Biodiesel,
Biometano, HVO

SAF E COMBUSTÍVEIS
SUSTENTÁVEIS
para aviação, navegação
e transporte pesado

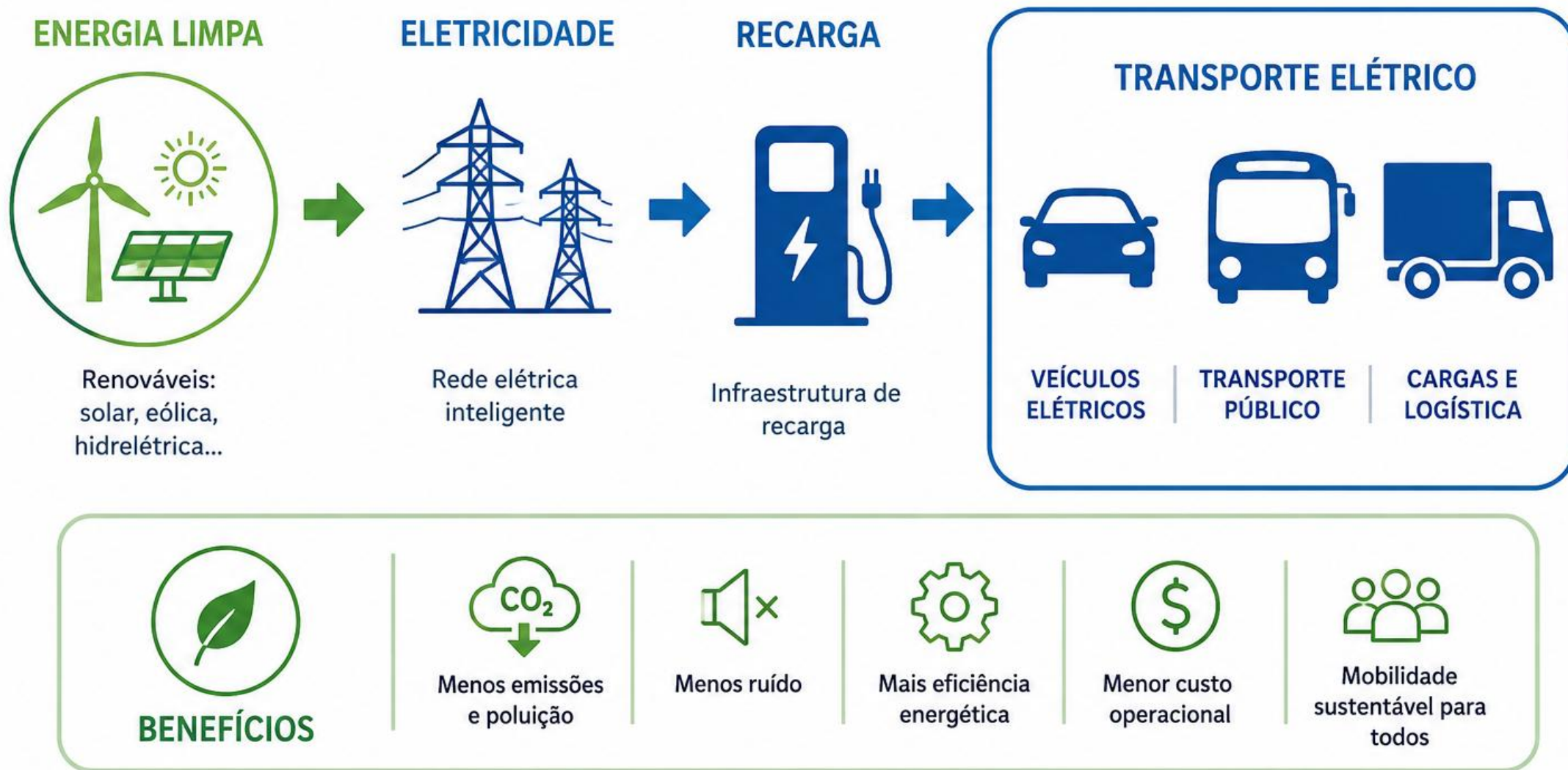
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
E GESTÃO INTELIGENTE
logística, manutenção,
novas tecnologias

MENOS EMISSÕES,
MAIS MOBILIDADE
SUSTENTÁVEL

tecnologias limpas,
combustíveis sustentáveis
e políticas públicas
eficazes.



ELETRIFICAÇÃO DOS TRANSPORTES



Brasil já é o maior importador de carro chinês do mundo

De janeiro a maio, país comprou US\$ 5,2 bi em veículos eletrificados ou convencionais, 149% a mais que em igual período do ano passado

Por **Marcelo Osakabe e Álvaro Fagundes** — De São Paulo

28/07/2026 05h01 - Atualizado há um dia



O MOVIMENTO É LIDERADO PELOS CARROS ELETRIFICADOS, CUJA IMPORTAÇÃO SOMOU US\$ 4,5 BILHÕES NOS PRIMEIROS CINCO MESES DO ANO.

EMISSIONES DE CO₂e DOS TRANSPORTES NO BRASIL

Dados mais recentes | Ano-base 2024 – SEEG 13 (publicado em 2025)

CAMINHOS PARA A DESCARBONIZAÇÃO DOS TRANSPORTES



RODOVIÁRIO A DIESEL
Principal fonte de emissões



ELETRIFICAÇÃO
de veículos leves,
ônibus e parte dos
caminhões



BIOCOMBUSTÍVEIS
Etanol, Biodiesel,
Biometano, HVO



**SAF E COMBUSTÍVEIS
SUSTENTÁVEIS**
para aviação, navegação
e transporte pesado



**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
E GESTÃO INTELIGENTE**
logística, manutenção,
novas tecnologias



**MENOS EMISSÕES,
MAIS MOBILIDADE
SUSTENTÁVEL**

RODOVIÁRIO A DIESEL
Principal fonte de emissões

ELETRIFICAÇÃO
de veículos leves,
ônibus e parte dos
caminhões

BIOCOMBUSTÍVEIS
Etanol, Biodiesel,
Biometano, HVO

SAF E COMBUSTÍVEIS
SUSTENTÁVEIS
para aviação, navegação
e transporte pesado

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
E GESTÃO INTELIGENTE
logística, manutenção,
novas tecnologias

MENOS EMISSÕES,
MAIS MOBILIDADE
SUSTENTÁVEL

tecnologias limpas,
combustíveis sustentáveis
e políticas públicas
eficazes.





**RIO
INNOVATION
WEEK**

SETORES HARD-TO-ABATE

SETORES HARD TO ABATE

Responsáveis pela maior parcela das emissões globais e desafios para a descarbonização

O QUE SÃO?

Setores com emissões intensivas de CO₂, processos intrinsecamente emissores e/ou dependência de insumos energéticos de difícil substituição.

CARACTERÍSTICAS



Altas emissões específicas



Processos de alta temperatura



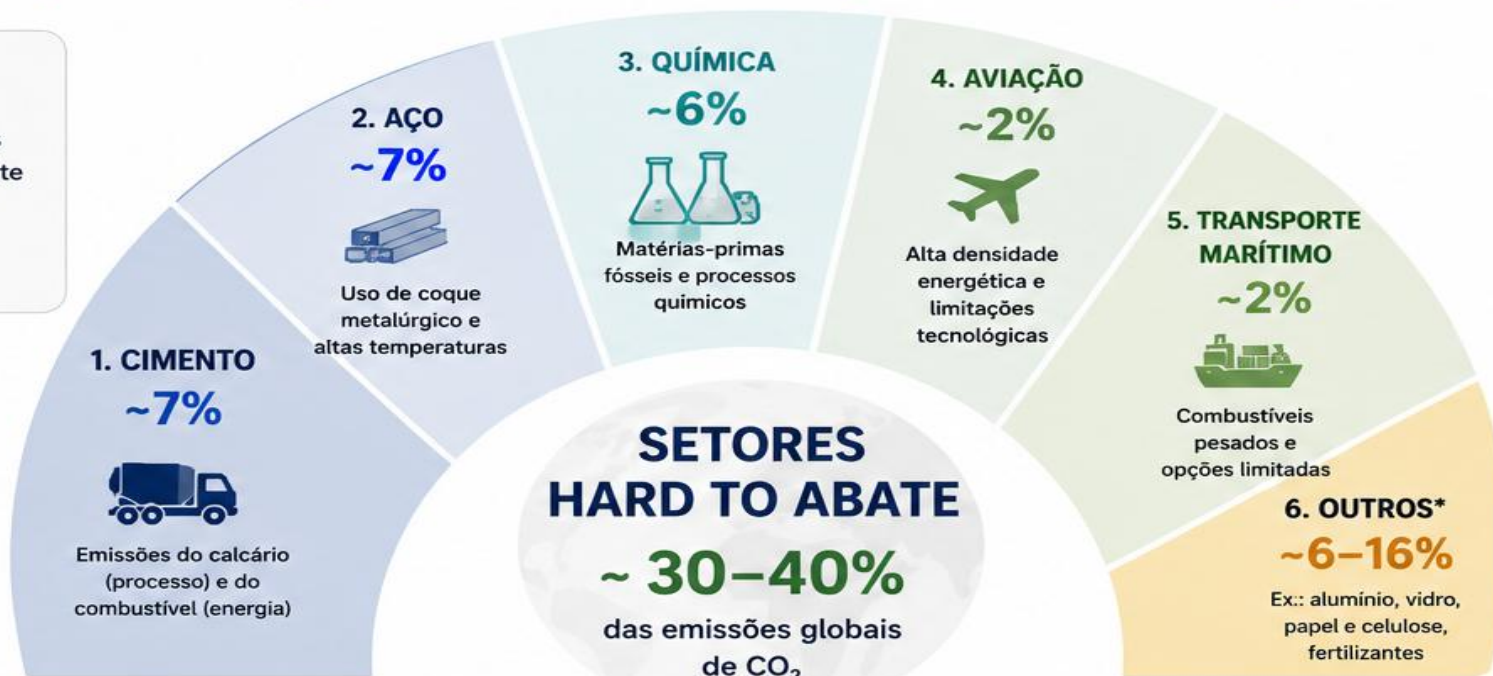
Dependência de matérias-primas fósseis



Custos elevados de descarbonização



Longos prazos para transição tecnológica



DESAFIOS COMUNS



Altos investimentos necessários



Soluções tecnológicas ainda em maturação



Dependência de infraestrutura e escala



Políticas públicas e regulação consistentes



Necessidade de CCUS e/ou hidrogênio de baixo carbono

EXEMPLOS DE SOLUÇÕES



ELETRIFICAÇÃO

Uso de eletricidade renovável onde tecnicamente viável



HIDROGÊNIO DE BAIXO CARBONO

Substituição de combustíveis fósseis e matérias-primas



CCUS

Captura, uso e armazenamento de carbono



MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS

Biomassa, reciclados e insumos de baixo carbono



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Redução do consumo de energia e melhoria de processos



COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS

SAF, e-fuels, amônia, biocombustíveis avançados

POR QUE IMPORTA?

- ✓ Setores essenciais para a economia e para o desenvolvimento
- ✓ Transição difícil, mas indispensável para atingir o Acordo de Paris
- ✓ Necessidade de soluções integradas e colaboração global



A descarbonização dos setores hard to abate exige inovação, investimento, políticas encaixes e colaboração ao longo de toda a cadeia de valor para alcançar a **neutralidade de carbono**.



A REVOLUÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SINTÉTICOS



E-FUELS

COMBUSTÍVEIS SINTÉTICOS NEUTROS EM CARBONO

PARA UMA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL, COMPETITIVA E SOBERANA

E-fuels são combustíveis líquidos ou gasosos produzidos a partir de hidrogênio verde (eletricidade renovável) e CO₂ capturado. Permitem descarbonizar setores de difícil eletrificação utilizando a infraestrutura e os motores existentes.

FISCHER-TROPSCH

VANTAGENS

- ✓ Descarbonização profunda (80–100% de redução de GEE no ciclo de vida)
- ✓ Densidade energética elevada (ideal para longas distâncias)
- ✓ Armazenamento e transporte similares aos combustíveis fósseis
- ✓ Flexibilidade de uso em motores e processos existentes
- ✓ Potencial de liderança industrial e geração de empregos qualificados
- ✓ Ciclo de carbono quase neutro (emissões ~0)

PRINCIPAIS TIPOS DE E-FUELS

-  **E-QUEROSENE (e-SAF)**
Para aviação comercial e executiva
ASTM D7566 (rota FT-SPK)
-  **E-DIESEL**
Para transporte pesado, marítimo e máquinas off-road
EN 15940 / ASTM D975
-  **E-GASOLINA**
Para veículos leves e de alto desempenho
ASTM D4814
-  **E-METANOL**
Para transporte marítimo, químico e geração de energia
-  **E-AMÔNIA**
Para transporte marítimo e indústria de fertilizantes
ISO 14687

APLICAÇÕES PRIORITÁRIAS

-  **AVIAÇÃO**
Solução essencial para cumprimento de CORSIA e metas Net Zero 2050.
-  **TRANSPORTE MARÍTIMO**
Atendimento à IMO Net Zero 2050.
-  **TRANSPORTE RODOVIÁRIO PESADO**
Caminhões, ônibus e máquinas fora de estrada.
-  **INDÚSTRIA**
Processos de alta temperatura, calor e matéria-prima química.
-  **GERAÇÃO DE ENERGIA**
Armazenamento sazonal e segurança energética.

MATURIDADE TECNOLÓGICA (TRL)* E PERSPECTIVAS



PERSPECTIVA: avanço rápido de projetos piloto e demonstração. Escala comercial esperada entre 2030–2040 para principais rotas.

MATURIDADE TECNOLÓGICA DOS E-FUELS

ROTA FISCHER-TROPSCH (FT)



A rota Fischer-Tropsch é a via mais madura para produção de e-fuels (e-querosene, e-diesel, e-nafta) a partir de H₂ verde e CO₂.

Situação atual: **TRL 5–6** (validação em ambiente relevante / demonstração em escala piloto).

Meta: **TRL 8–9** (comercialmente competitivo) até 2030–2040.

ESCALA
TRL



ROTA FT PARA E-FUELS (ETAPAS PRINCIPAIS)

1. REAÇÃO DE WATER GAS SHIFT REVERSE (RWGS) PARA PRODUÇÃO DO SYNGAS



Produção de syngas com razão H₂/CO ajustada para otimizar a síntese FT (tipicamente H₂/CO ≈ 2).

2. SÍNTESE FISCHER-TROPSCH



Conversão do syngas em hidrocarbonetos na faixa C₁–C_n em catalisadores (Fe, Co ou CoFe) sob condições controladas de temperatura e pressão.

3. UPGRADING E REFINO (HIDROTRATAMENTO)



Remoção de oxigenados, nitrogênio e enxofre; saturação de olefinas e ajuste da distribuição de frações para produção de hidrocarbonetos parafínicos e iso-parafínicos.

4. SEPARAÇÃO E FRACIONAMENTO



Separação das frações leves (C₁–C₄), nafta, querosene (e-querosene), diesel (e-diesel) e ceras.

5. E-FUELS FINAIS



- E-querosene (SAF)
- E-diesel
- E-nafta
- Outros e-fuels

SITUAÇÃO ATUAL DA ROTA FT PARA E-FUELS



VALIDAÇÃO EM AMBIENTE RELEVANTE / DEMONSTRAÇÃO EM ESCALA PILOTO

Plantas piloto integradas e demonstrações em andamento no mundo.



FATORES QUE IMPULSIONAM A EVOLUÇÃO

- ✓ Queda de custos de eletricidade renovável e eletrolisadores
- ✓ Avanços em catalisadores FT (atividade, seletividade e estabilidade)
- ✓ Integração eficiente entre RWGS, FT e upgrading
- ✓ Projetos piloto e demonstrações bem-sucedidas
- ✓ Políticas públicas e mandatos (SAF, RFNBO, IMO, CORSIA etc.)



DESAFIOS PARA ALCANÇAR TRL 8–9 E COMPETITIVIDADE

- ✓ Reduzir CAPEX e OPEX para competitividade
- ✓ Disponibilidade de CO₂ de baixo custo e logística
- ✓ Garantir suprimento abundante de H₂ verde competitivo
- ✓ Escalar plantas integradas com alta eficiência energética
- ✓ Marcos regulatórios e demanda estável de longo prazo



VISÃO 2030–2040

Rota FT para e-fuels alcançando TRL 8–9, competitiva em custo e escala, viabilizando a descarbonização da aviação, transporte marítimo, indústria e outros setores hard to abate.



A rota Fischer-Tropsch combinada à produção de syngas via RWGS representa hoje o caminho mais maduro e escalável para e-fuels, com potencial de entregar combustíveis líquidos drop-in com carbono neutro ao longo do ciclo de vida.

Fontes: IEA (2023), Hydrogen Council (2021), McKinsey (2022), EPE (2024), ICCT (2023), publicações científicas e relatórios de empresas e projetos.

INICIATIVAS BRASILEIRAS EM FISCHER-TROPSCH (FT)

Pesquisa, Desenvolvimento, Demonstração e Escalonamento de e-Fuels e SAF



RIO GRANDE DO SUL

Petrobras + UFSM



Produção de SAF via gaseificação de biomassa e Fischer-Tropsch

TRL 3-4



SÃO PAULO

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas



Desenvolvimento de catalisadores Fischer-Tropsch

TRL 3-5



PARANÁ

Geo bio gas&carbon + GIZ

Programa develoPPP



Produção de SAF a partir de biogás via Fischer-Tropsch

TRL 7-8



RIO DE JANEIRO 1

Petrobras / CENPES



Desenvolvimento de rotas Fischer-Tropsch para combustíveis sintéticos

TRL 4-6



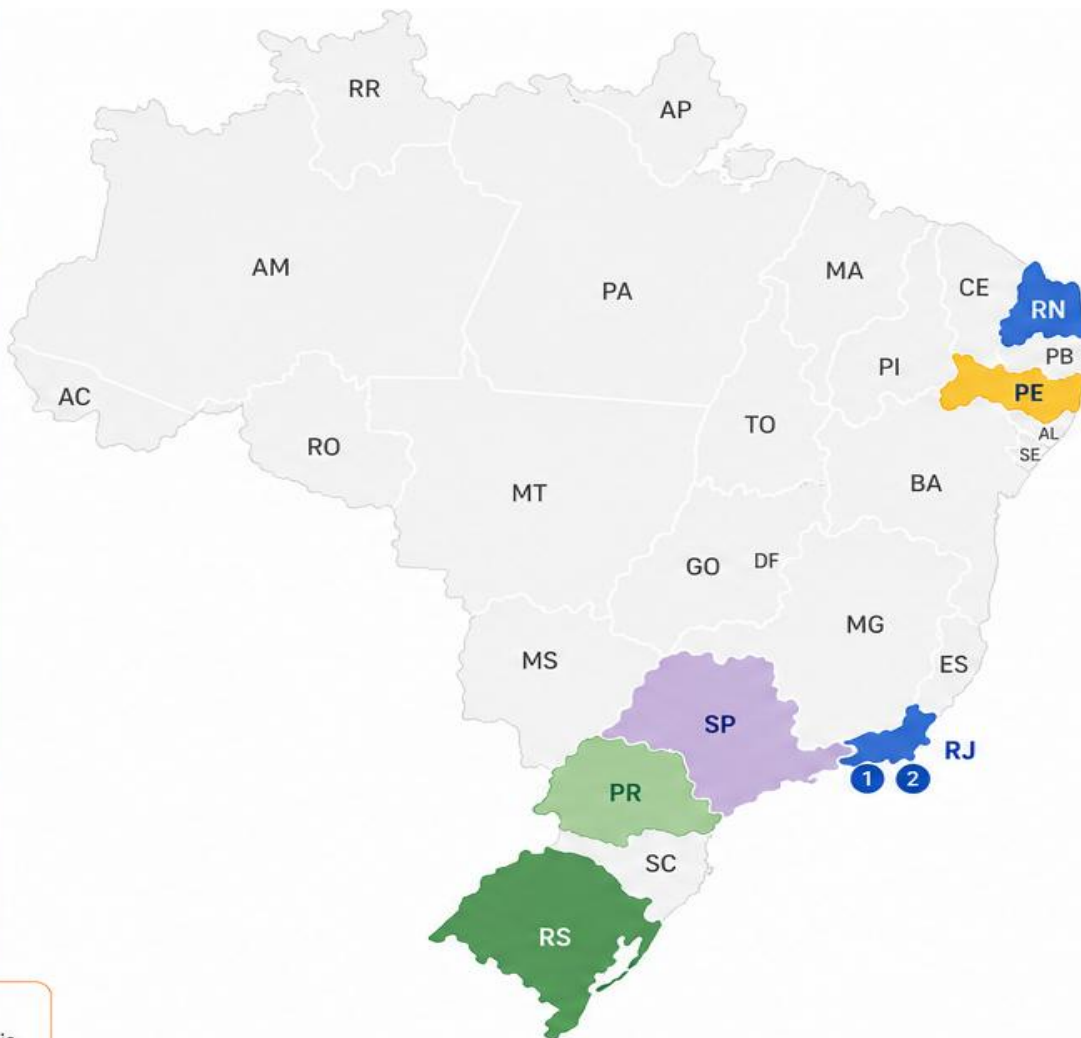
RIO DE JANEIRO 2

INT – Instituto Nacional de Tecnologia



Desenvolvimento de catalisadores para Fischer-Tropsch

TRL 3-5



RIO GRANDE DO NORTE – NATAL



ISI-ER SENAI • UFRN

Cooperação técnica: GIZ



Produção de SAF via Fischer-Tropsch em escala demonstrativa



Integração RWGS + Fischer-Tropsch + upgrading



Desenvolvimento de catalisadores e processos



Produção de syngas, hidrotratamento e caracterização



Formação de recursos humanos e demonstração tecnológica

DESTAQUE NACIONAL

Primeira infraestrutura brasileira em escala demonstrativa para produção de SAF via Fischer-Tropsch

TRL 5-6



PERNAMBUCO – SUAPE

Hub de Combustíveis Sustentáveis de Suape



Ecosistema de desenvolvimento de SAF e e-Fuels

ECOSSISTEMA DE INOVAÇÃO



POLÍTICAS E PROGRAMAS NACIONAIS

- Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024)
- Programa Nacional de SAF (ProBioQAV)
- Programa Nacional do Diesel Verde (PNDV)

FONTES

EPE (2023) – Combustível do Futuro; Petrobras (2024-2026); SENAI ISI (2023-2025); IPT (2023); INT (2023); Geo bio gas&carbon (2024); GIZ/develoPPP (2024).



PESQUISA

Geração de conhecimento e soluções científicas



DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Protótipos, validação e integração de processos



DEMONSTRAÇÃO

Testes em escala relevante e validação operacional



ECOSSISTEMA DE INOVAÇÃO

Integração, colaboração e ambiente de negócios

INSTITUTO SENAI DE INOVAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

O Instituto Senai De Inovação Em Energias Renováveis (Isi-er) e a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável inauguraram, em 05/09/23, o **Laboratório de Hidrogênio e Combustíveis Avançados (H2ca)** – Primeira Planta Piloto do Brasil para produzir Combustível Sustentável De Aviação



LABORATÓRIO DE HIDROGÊNIO E COMBUSTÍVEIS AVANÇADOS (H2CA)



LABORATÓRIO DE HIDROGÊNIO E COMBUSTÍVEIS AVANÇADOS (H2CA)

10 mL/dia



200 mL/dia



1-5 L/dia



LABPROBIO + ISI-ER: INTEGRAÇÃO PARA PESQUISA E INOVAÇÃO EM HIDROGÊNIO E COMBUSTÍVEIS AVANÇADOS

Da pesquisa básica à aplicação tecnológica e demonstrativa



LABPROBIO

Laboratório de Biotecnologia
e Processos Biotecnológicos

LABPROBIO – UFRN

Pesquisa básica e fundamental

- Catálise e materiais
- Bioenergia e biomassa
- Processos biotecnológicos
- Análises e caracterização



**COOPERAÇÃO
E SINERGIA**



Pesquisa
colaborativa



Formação de
recursos humanos



Publicações e
propriedade
intelectual

INSTITUTO SENAI
DE INOVAÇÃO

ENERGIAS RENOVÁVEIS

ISI-ER – SENAI/RN

Pesquisa aplicada e desenvolvimento
tecnológico

- Desenvolvimento de processos
e catalisadores
- Escalonamento e validação
- Integração de sistemas
- Ensaios em escala laboratorial
e piloto

PESQUISA BÁSICA

PESQUISA APLICADA

DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO

1. CONCEITO E MATERIAIS



Estudos fundamentais
de catálise, materiais
e rotas sustentáveis

2. SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO



Síntese de catalisadores
e materiais; caracterização
físico-química

3. AVALIAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL



Ensaios catalíticos e
processos em escala
de bancada

4. INTEGRAÇÃO E ESCALONAMENTO



Integração de unidades,
otimização e escalonamento
em equipamentos do ISI-ER

5. VALIDAÇÃO E TESTES AVANÇADOS



Testes de desempenho,
estabilidade e qualidade
de produtos

6. APLICAÇÃO E IMPACTO



Soluções tecnológicas
para produção de H₂
e combustíveis sustentáveis

RESULTADOS E IMPACTOS



Geração de
conhecimento
e inovação



Formação e
qualificação de
profissionais



Publicações e
patentes



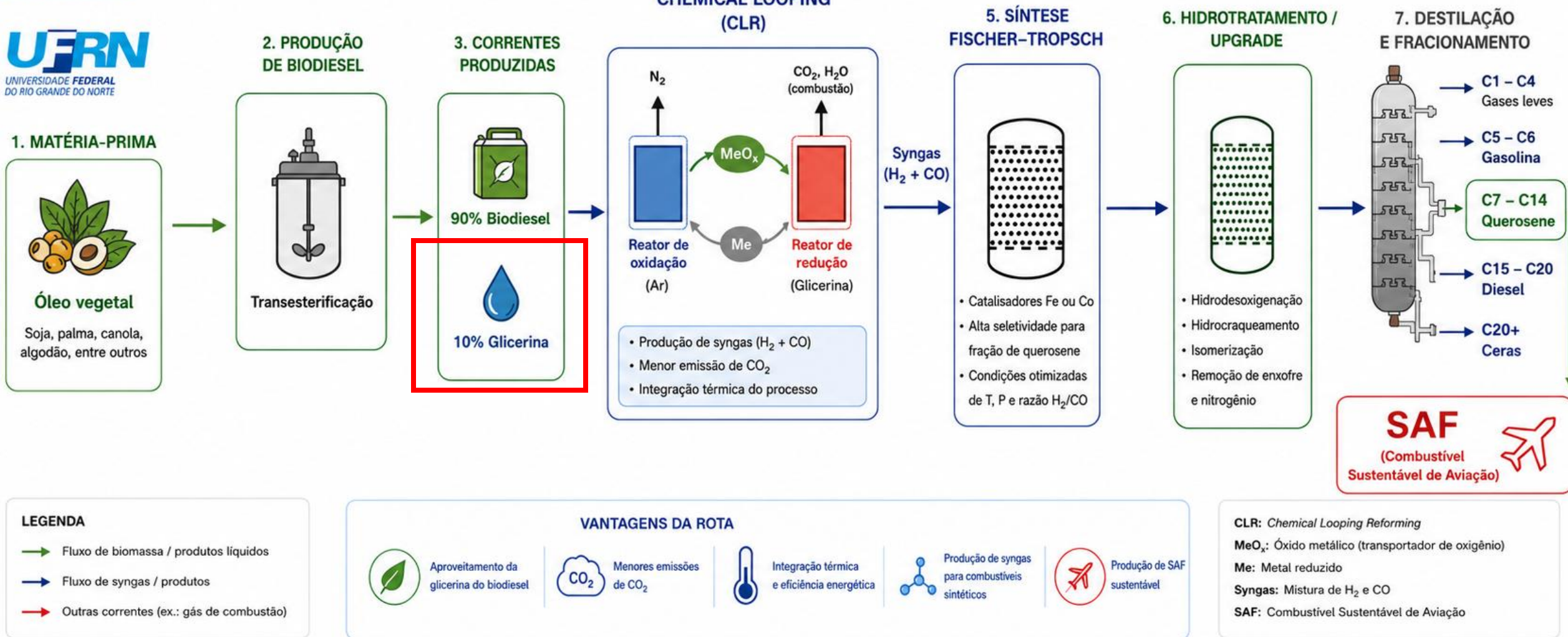
Soluções tecnológicas
competitivas



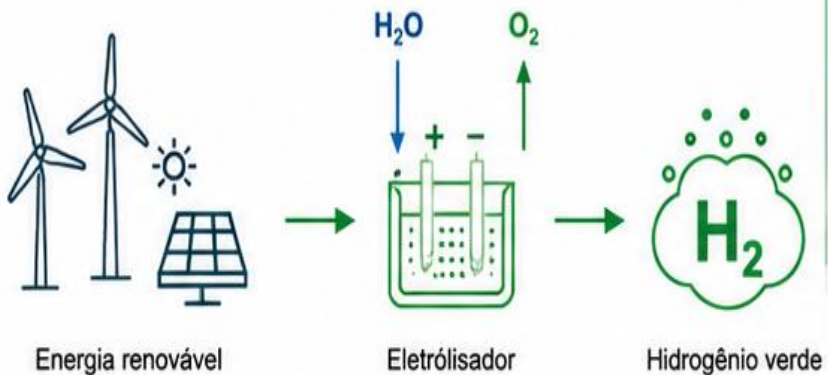
Contribuição para a
transição energética e
sustentabilidade

Produção de SAF via Glicerina

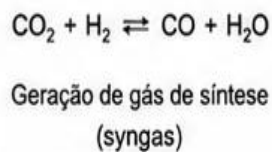
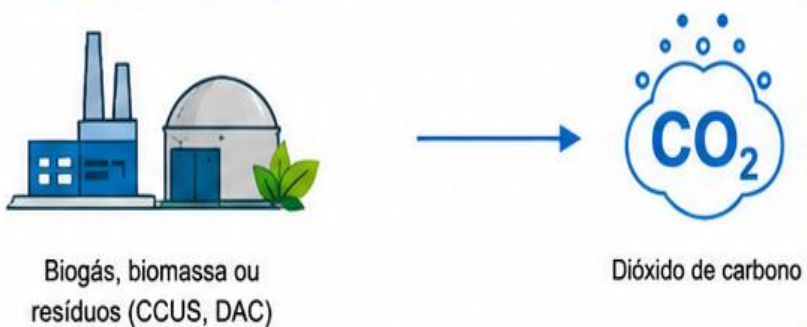
Chemical Looping Reforming + Fischer-Tropsch



HIDROGÊNIO VERDE



FONTE DE CARBONO

 $CO + H_2$
(syngas)

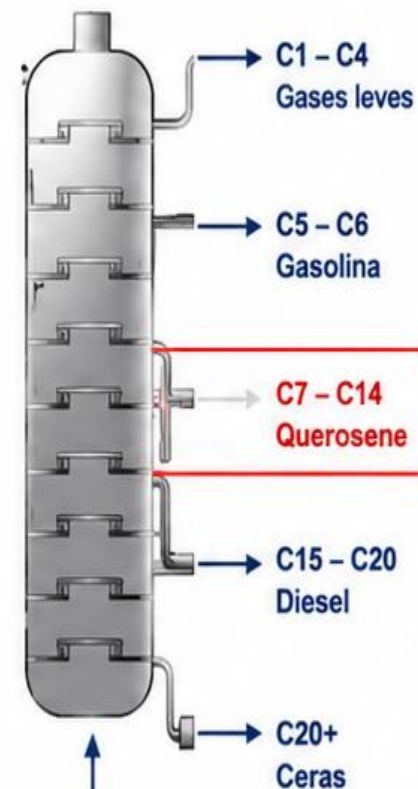
SÍNTESE FISCHER-TROPSCH



UPGRADE DE SYNCUDE



FRACIONAMENTO E DESTILAÇÃO



SAF
(Sustainable Aviation Fuel)





**RIO
INNOVATION
WEEK**

OBRIGADA!

Fabíola Correia de Carvalho

Pesquisadora

✉ fabiola_correia@hotmail.com

☎ (84) 99929-7923

