



DESCARBONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA INDÚSTRIA

7º Sinrenova

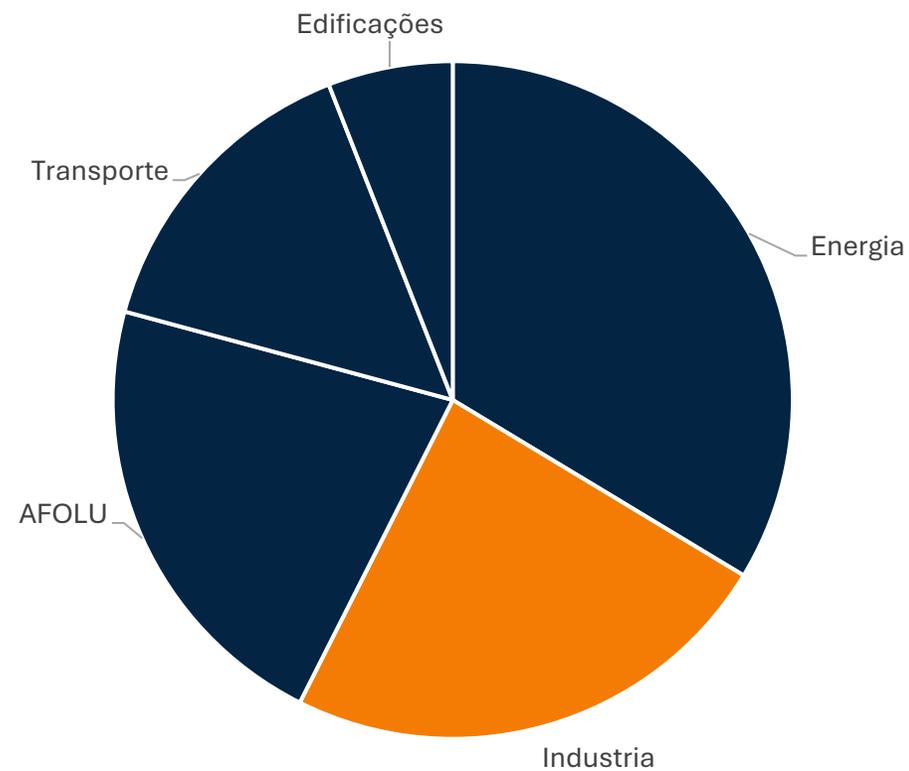
Otto Hebeda | Analista de Pesquisa Energética

Outubro, 2024

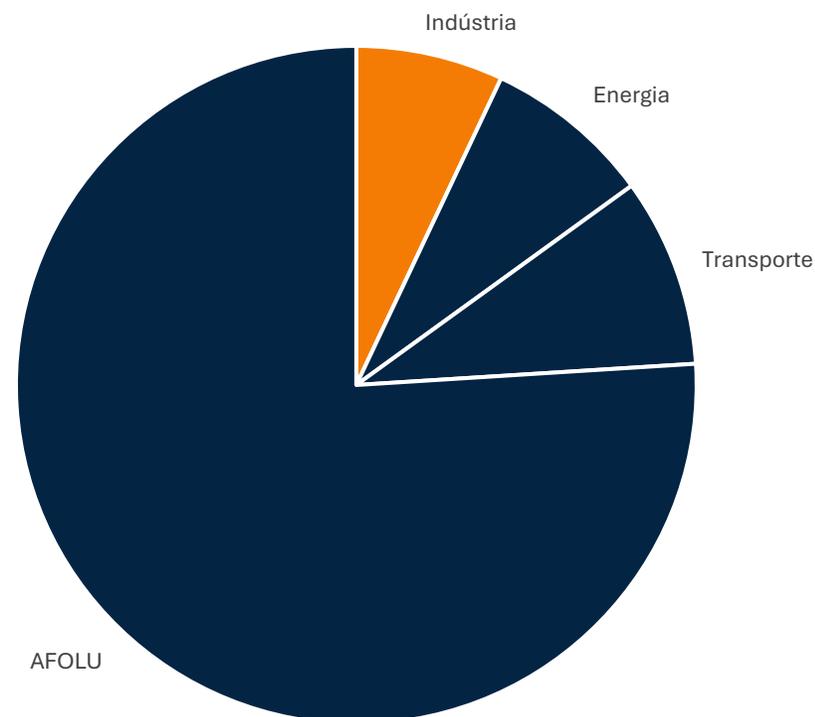
MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



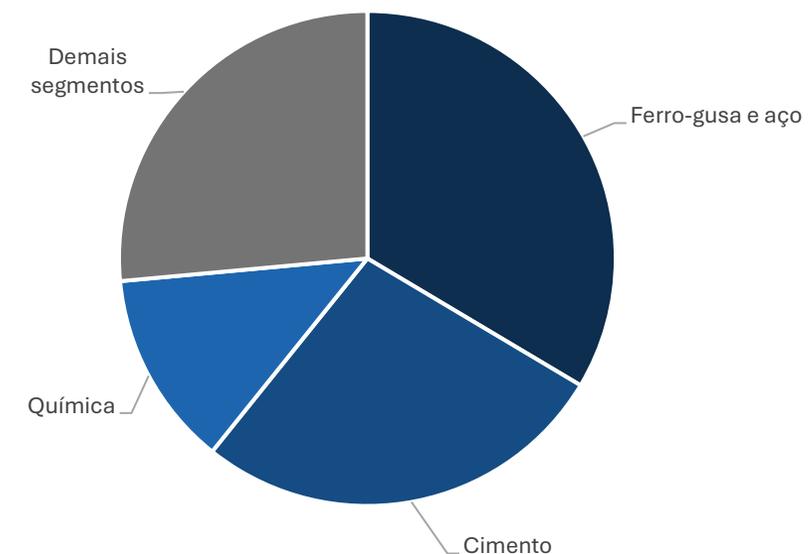
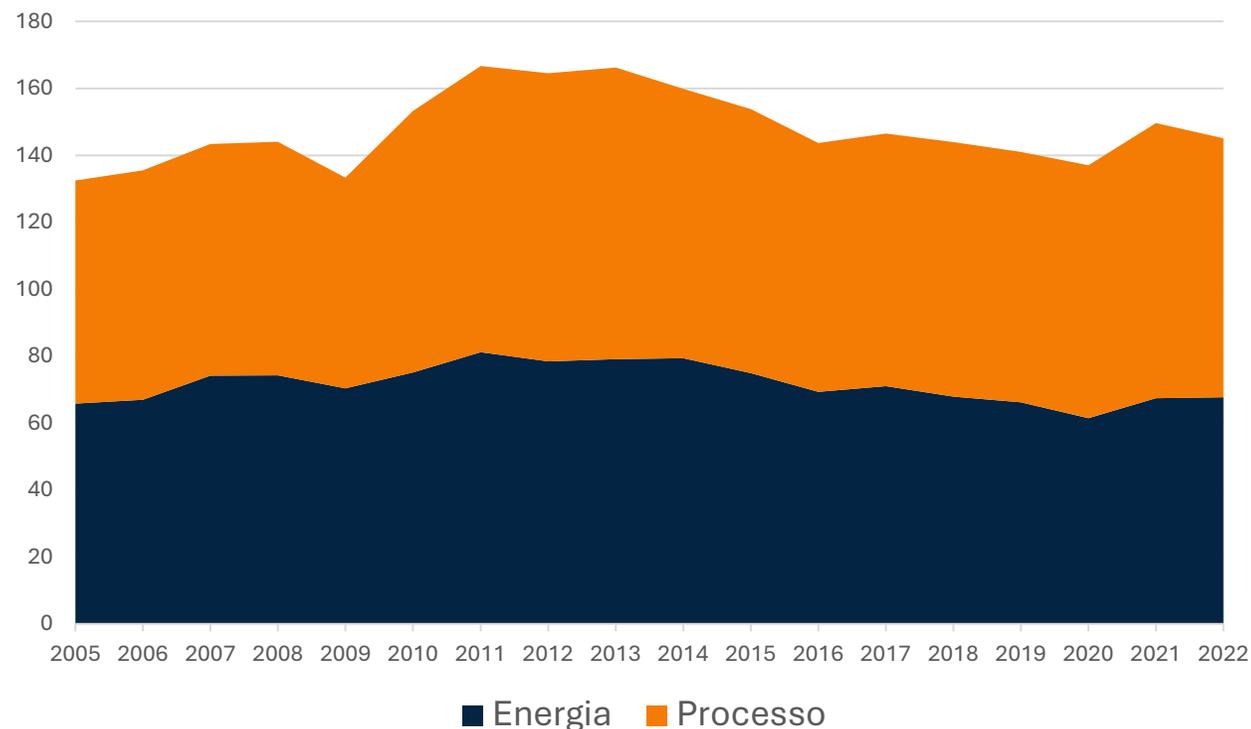
O setor industrial é responsável por 25% das emissões de GEE.



O setor industrial é responsável por 25% das emissões de GEE.
No Brasil, as emissões deste setor somam 7%.



Perfil das emissões da indústria brasileira



Por que difícil abatimento?

- Diversas indústrias, produtos, processos.
- Elevados custos de investimento e vida útil longa dos projetos



EAF

BOF

amonia

→ Produtos causticos

Alto-forno em Puerto de Sagunto, Espanha.

E como descarbonizar?

-  Eficiência energética
-  Substituição de combustíveis
-  Outras melhorias nos processos

Eficiência energética

Análise de **Subsegmentos:** *em Segmentos*

- Cadeia do Alumínio
- Celulose e Papel
- Cadeia Siderúrgica
- Cerâmica
- Alimentos e Bebidas
- Química

Selecionados

Principais resultados do Projeto

Odex do consumo de energia do setor industrial



A indústria siderúrgica tem um potencial de 23%

O consumo específico da indústria de ferro-gusa e aço no Brasil é de **21 GJ/t**, cerca de **10%** maior que a média global (IEA, 2020).



ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SEGMENTOS INDUSTRIAIS SELECIONADOS



SEGMENTO CADEIA SIDERÚRGICA

28.11.18

Indústria de cimento moderna

- 1 99% da produção de cimento é por via seca
- 2 40% da produção <15 anos
- 3 70% dos fornos com pré-aquecedores de 4 a 6 estágios e pré-calcinadores
- 4 Brasil: 3,5 GJ/t de clínquer
BAT: 2,7-3,0 GJ/t de clínquer

Química

O potencial de eficiência energética para a indústria química brasileira está na ordem entre 5 e 18% a depender do produto

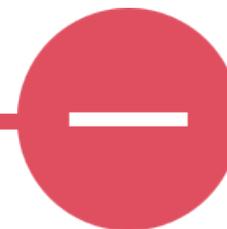
Produto	Potencial de eficiência energética (%)		
	Total	Elétrico	Térmico
Fertilizante	17,2	18,4	15,1
Gás-química	5,9	7,3	6,8
Soda-cloro	4,9	4,9	6,8
Petroquímica	17,9	15,8	18,0
Alcoolquímica	7,9	15,2	2,3

Pros e contras



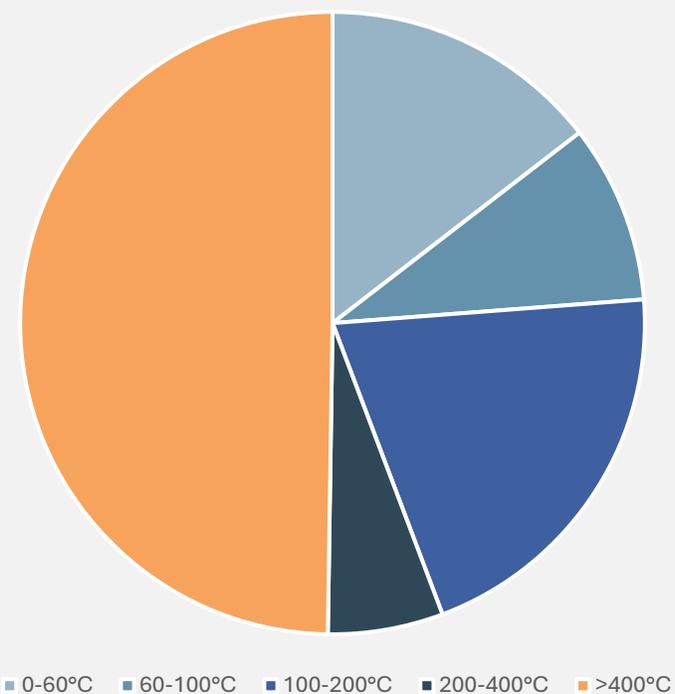
Reduzem as emissões

Reduzem os custos operacionais



Pay back pode ser longo

Há um limite para eficiência energética



No setor industrial, a demanda de temperatura pode variar, tipicamente, entre valores inferiores a 100°C a até 2.000°C. De acordo com o IEA, cerca de 50% da demanda de calor pelo setor industrial demanda temperaturas inferiores a 400°C. Com exceção da indústria metalúrgica, cimento e química, os demais segmentos apresentam demandas de calor na faixa entre 100°C e 800°C.

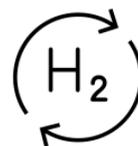
Substituição de combustíveis



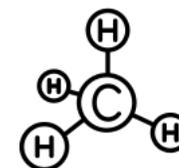
Eletricidade



Biomassa



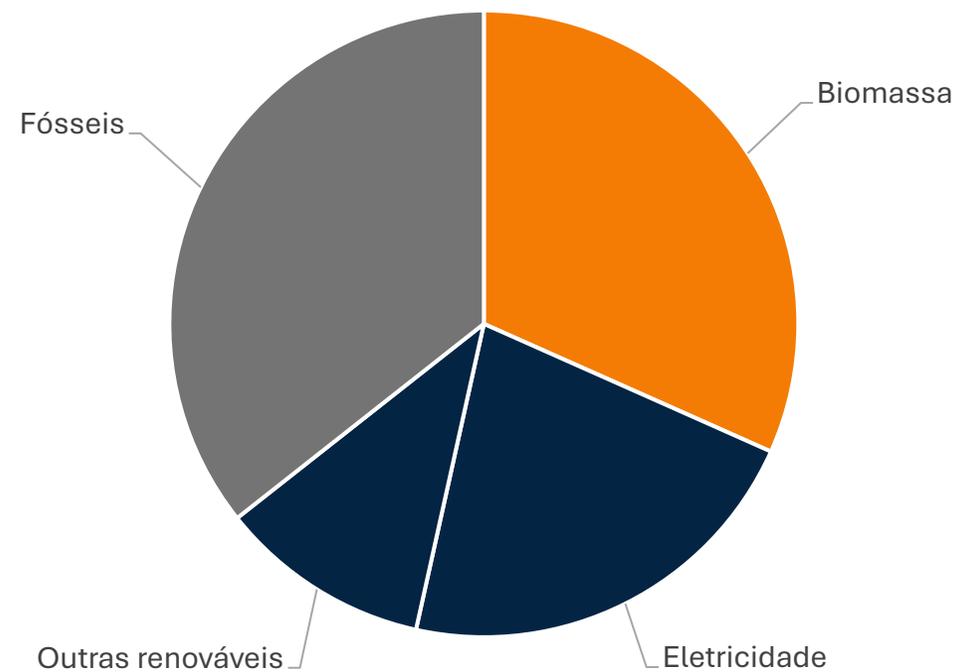
Hidrogênio



Gás natural

Biomassa já é amplamente utilizada pela indústria

Cerca de 1/3 do consumo energético na indústria vem do uso de biomassa.



10% da produção de aço é feita através de rotas com carvão vegetal

“O Brasil é líder mundial absoluto na produção de aço usando carvão vegetal como agente redutor” (IABr, 2022)

BF-BOF com carvão vegetal

Injeção de carvão vegetal / Resíduos

Fusão Redutora

Matéria-prima para indústria química



Biomassa

- Etileno a partir de etanol
- Gaseificação de biomassa



Journal of Cleaner Production 428 (2023) 139376

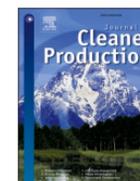


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



Unpacking bio-based alternatives to ethylene production in Brazil, Europe, and the United States: A comparative life cycle assessment

Marianne Zanon-Zotin ^{a,c,*}, Clarissa Bergman-Fonte ^c, Taísa Nogueira Morais ^c, Pedro Luiz Barbosa Maia ^c, Lucas Carvalho ^c, Gerd Angelkorte ^c, Ana Carolina Oliveira Fiorini ^c, Pedro Rua Rodriguez Rochedo ^{b,c}, Joana Portugal-Pereira ^{c,d,e}, Alexandre Szklo ^c, Roberto Schaeffer ^c



Fonte: [Braskem, 2023](#)

Resíduos como fonte de energia



Biomassa

- Potencial também na geração de resíduos pode contribuir com a descarbonização do setor



COPRODUTOS DA AGROPECUÁRIA, INDÚSTRIA E SANEAMENTO

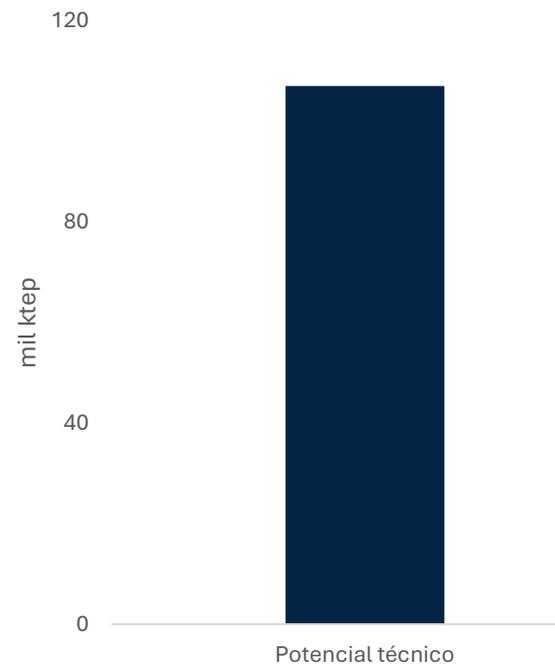
Um enorme potencial energético disponível

Resíduos como fonte de energia



Biomassa

- Potencial também na geração de resíduos pode contribuir com a descarbonização do setor



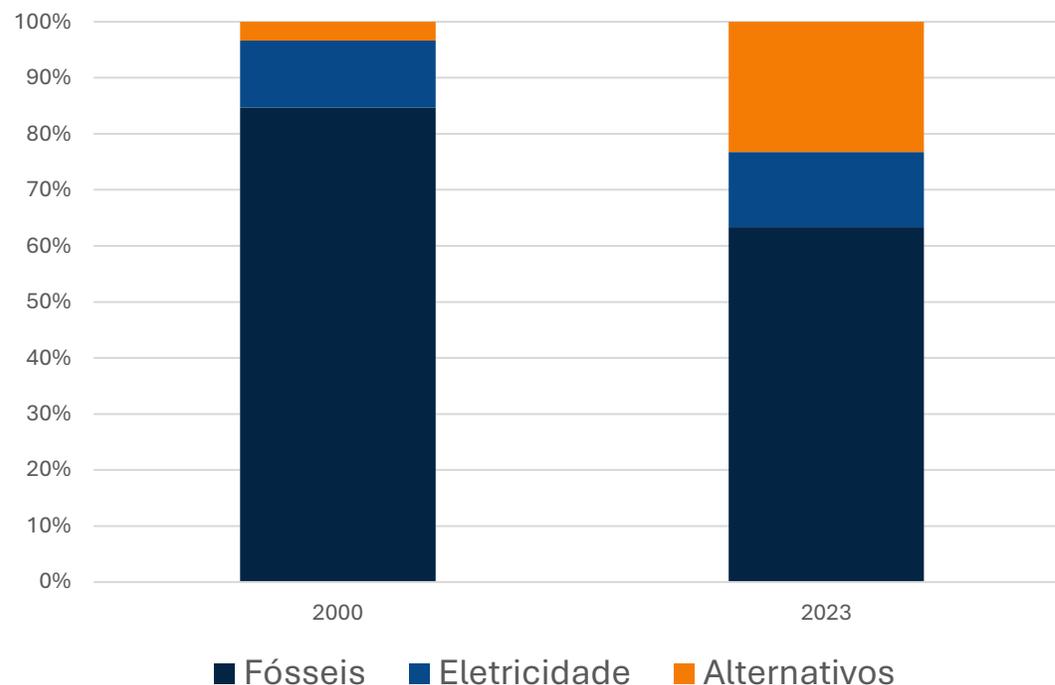
Na indústria de cimento, uma das principais fontes



Biomassa

- Resíduos ganharam relevância nos últimos 20 anos na indústria de cimento

A indústria tem o objetivo de alcançar 55% de alternativos em 2050¹



¹SNIC, 2024. Roadmap to Net-zero.

Há diversos fatores que impactam seu uso



Biomassa

- Oferta de Biomassa
- Logística
- Novas tecnologias

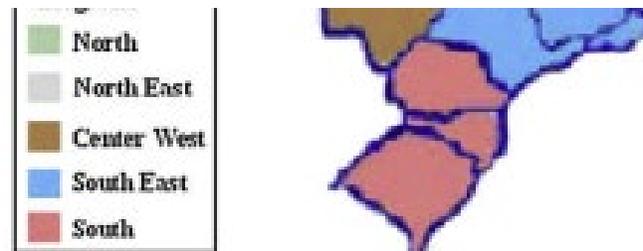
Potencial técnico da produção de carvão vegetal no Brasil



Pathways for deep decarbonization of the Brazilian iron and steel industry

Otto Hebeda^{a, *}, Bruna Silveira Guimarães^a, Gustavo Cretton-Souza^a, Emilio Lèbre La Rovere^a, Amaro Olimpio Pereira^a

^a Energy Planning Programme, Institute for Postgraduate Studies and Research in Engineering, Federal University of Rio de Janeiro (PPE/COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, Brazil



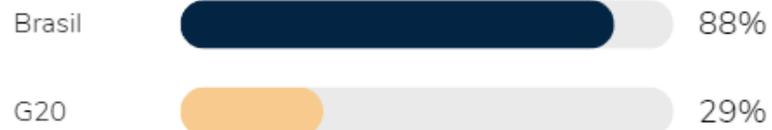
Brasil já possui uma geração elétrica de baixa intensidade



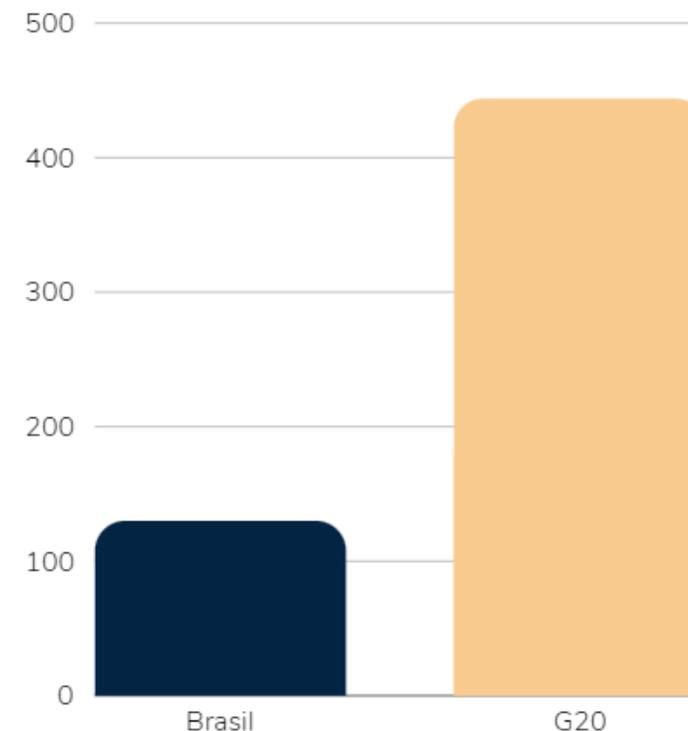
Eletricidade

- Baixo fator de emissão
- Custos
- Podem depender de outras matérias primas

Percentual de renováveis



Intensidade de emissões (gCO₂/kWh)



Alguns usos da eletricidade na siderurgia



Eletricidade

- Baixo fator de emissão
- Custos
- Na produção de aço depende da oferta sucata

Forno a Arco Elétrico

Tecnologia já utilizada pela siderurgia

Electrowinning

Tecnologia inovadora para fabricação de aço

Eletrificação do calor industrial



Eletricidade

- Alto nível de renovabilidade no Brasil
- Custos elevados de energia

	Bombas de calor	Caldeira elétrica
Temperaturas	até 150°C	até 500°C
CAPEX (R\$/kW)	3500	500-1500

Fonte:

https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021-05_IND_DE-P4Heat/A-EW_277_Power-2-Heat_EN_WEB.pdf

Hidrogênio

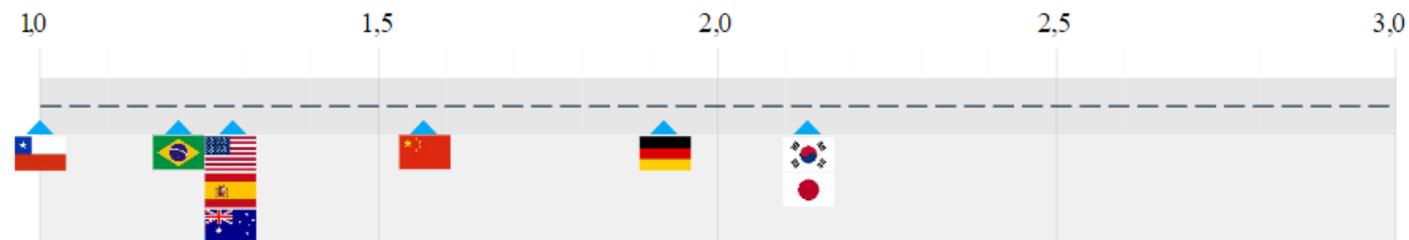


Hidrogênio

- Potencial elevado
- Custos
- Infraestrutura
- Regulamentação

Brazil is among the most competitive green H2 export players globally

LCOH Benchmark, 2030 US D/ kgH2



Countries deep dives
(specific sites with internal studies from each country)

Source: Team Analysis

McKinsey
& Company

Hidrogênio



Hidrogênio

- Potencial elevado
- Custos
- Infraestrutura
- Regulamentação

Usos do hidrogênio

Redução direta

Tecnologia já utilizada pela siderurgia (depende de minério com alta concentração de ferro)

Amônia

Produção de amônia a partir da eletrólise ou gaseificação

Energia

Fonte de energia para processos industriais

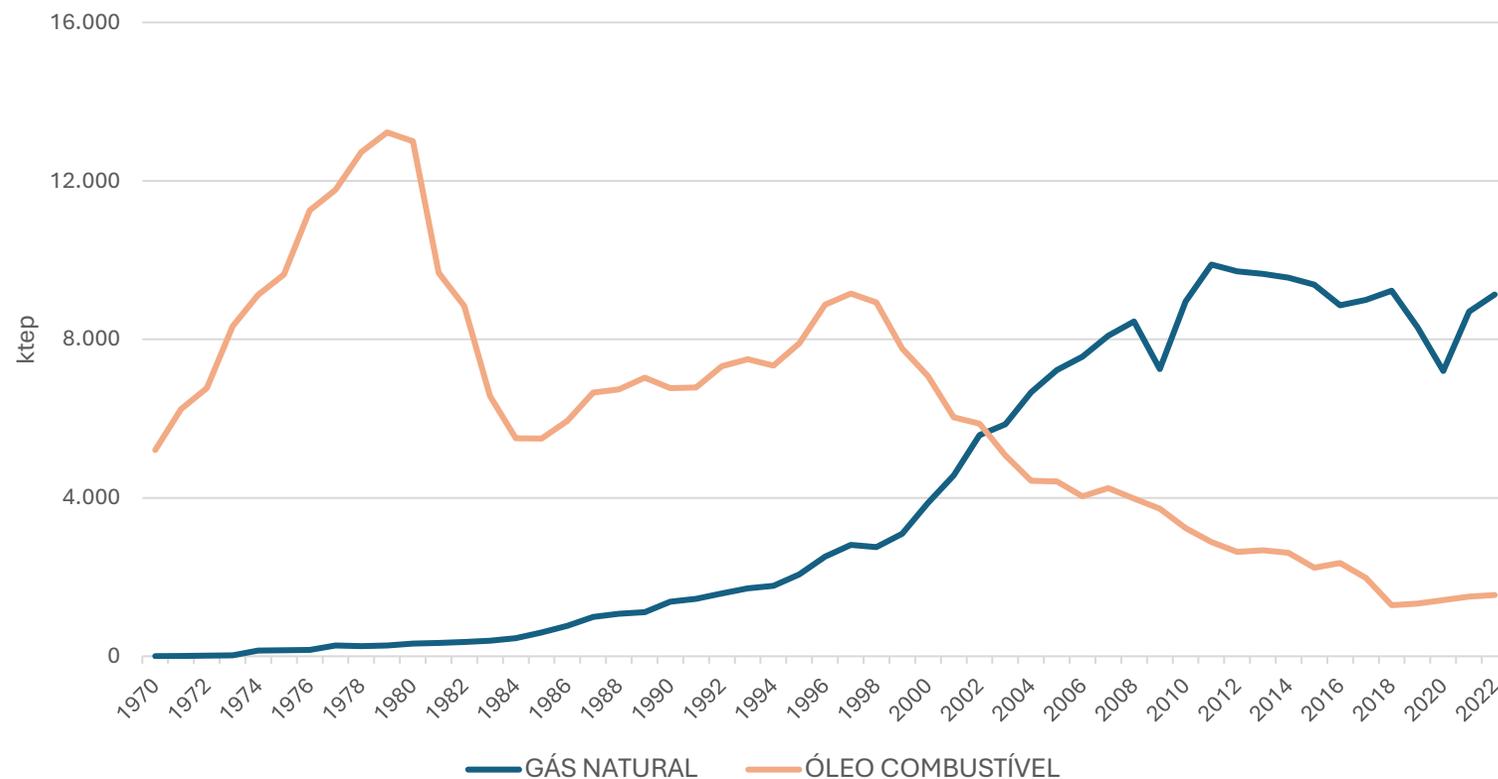
Gás natural: apesar de fóssil, uma possibilidade



Gás natural

- Menor fator de emissão
- Pode ser um combustível de transição
- Biometano
- Custo
- Infraestrutura

Consumo na indústria



Oportunidade na siderurgia



Gás natural

- Menor fator de emissão
- Pode ser um combustível de transição
- Custo
- Biometano

REDUÇÃO DE

50%

Tecnologia com gás natural apresenta metade da intensidade de emissões comparado com a rota tradicional



Captura de carbono



CCS

- Pré-combustão
- Pós-combustão
- Oxi-redução

CAPTURA

Tecnologias que capturam CO₂

TRANSPORTE

Movimentação do CO₂ comprimido do ponto de captura até o ponto de estocagem

ARMAZENAMENTO

Estocagem em subsuperfície, em estruturas geológicas em terra ou mar

USO

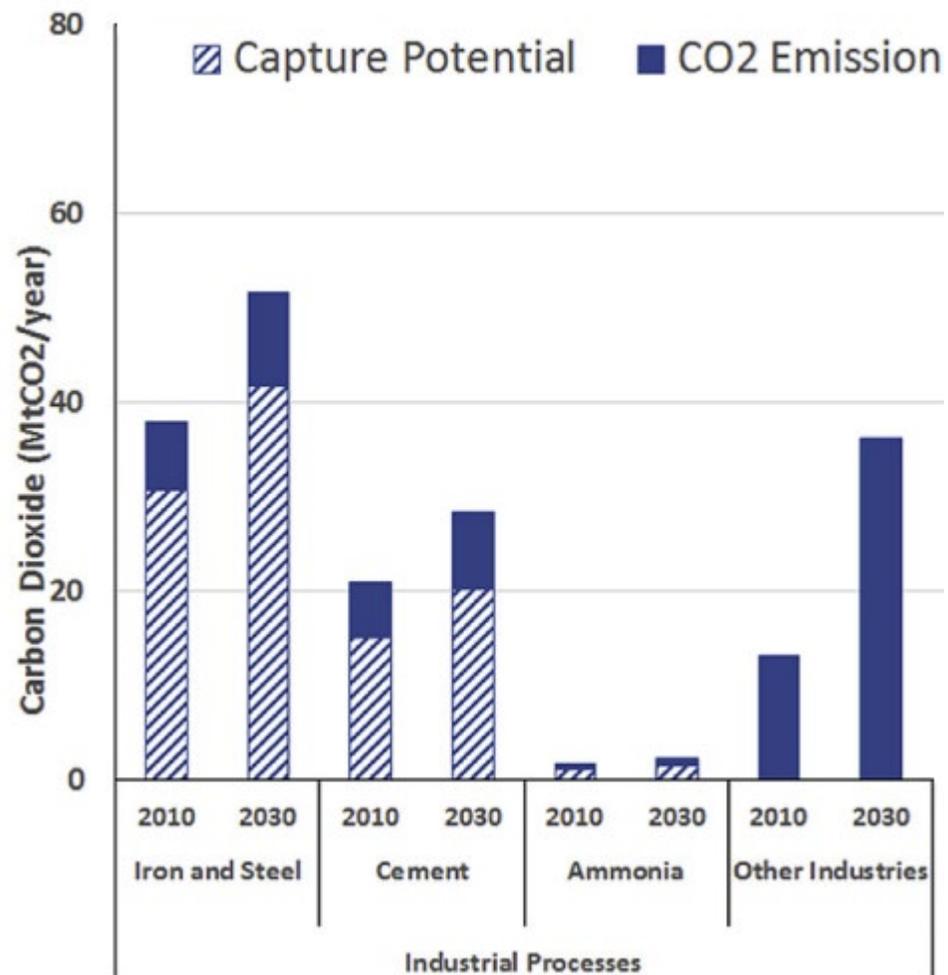
Utilização do CO₂ como insumo de produtos ou serviços.

Captura de carbono

Um destaque é CCS, devido seu alto potencial de abatimento de GEE.

Porém enfrenta desafios:

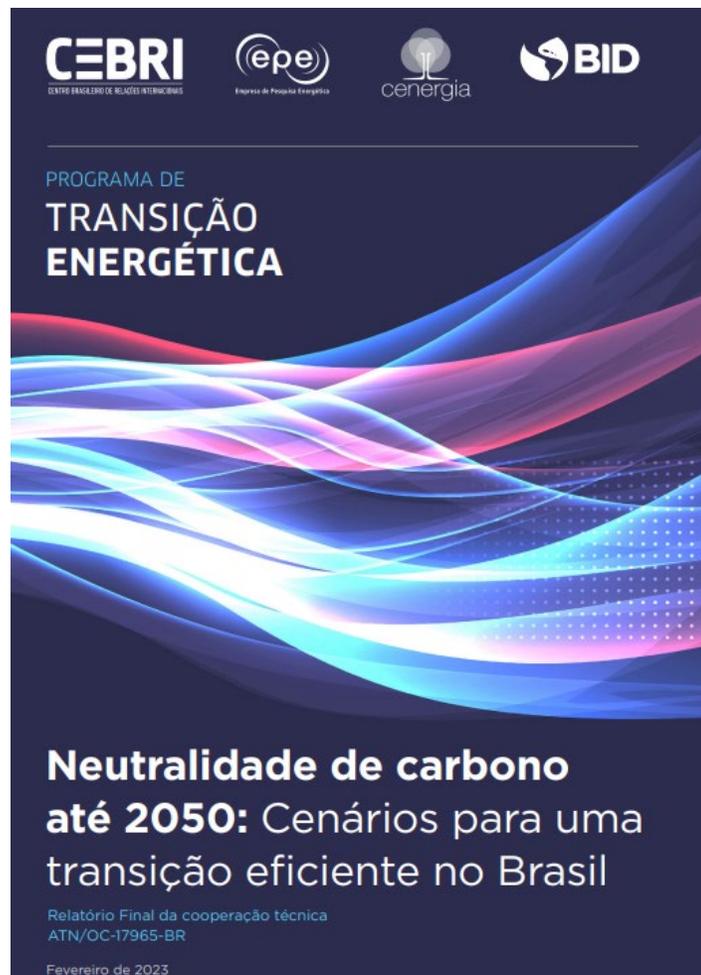
- Custos elevados
- Infraestrutura
- regulamentação



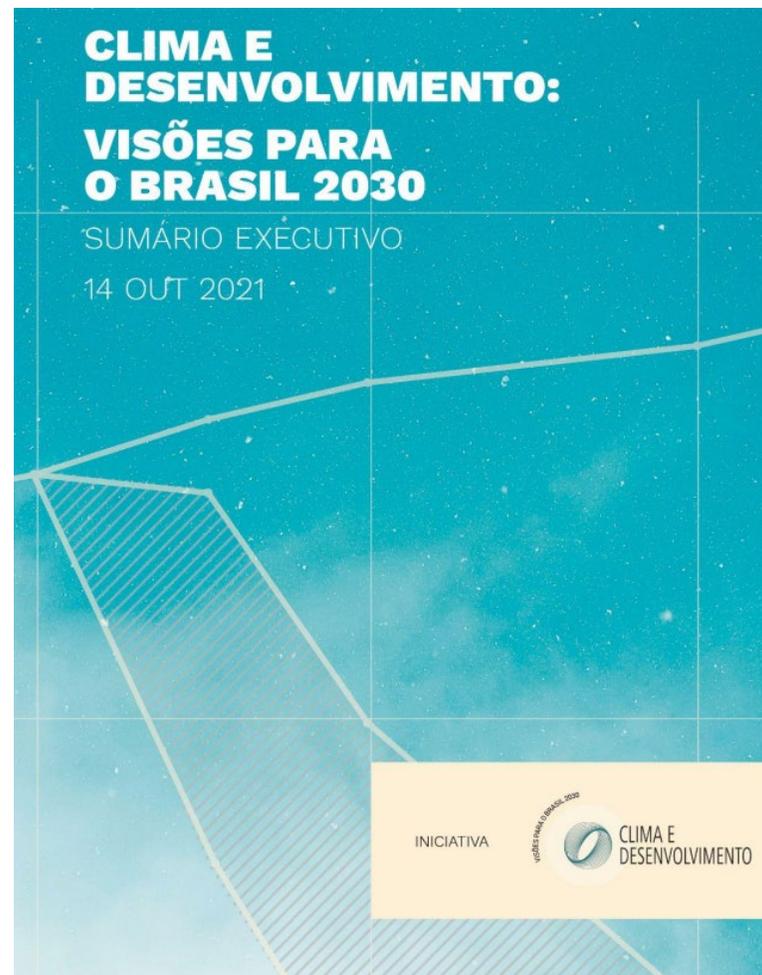
Oportunidades para o Brasil

- Matriz energética renovável
- Abundância de recursos naturais
 - Biomassa
- Criação de empregos
- Neoindustrialização
- Exportação de produtos
- Agregação de valor

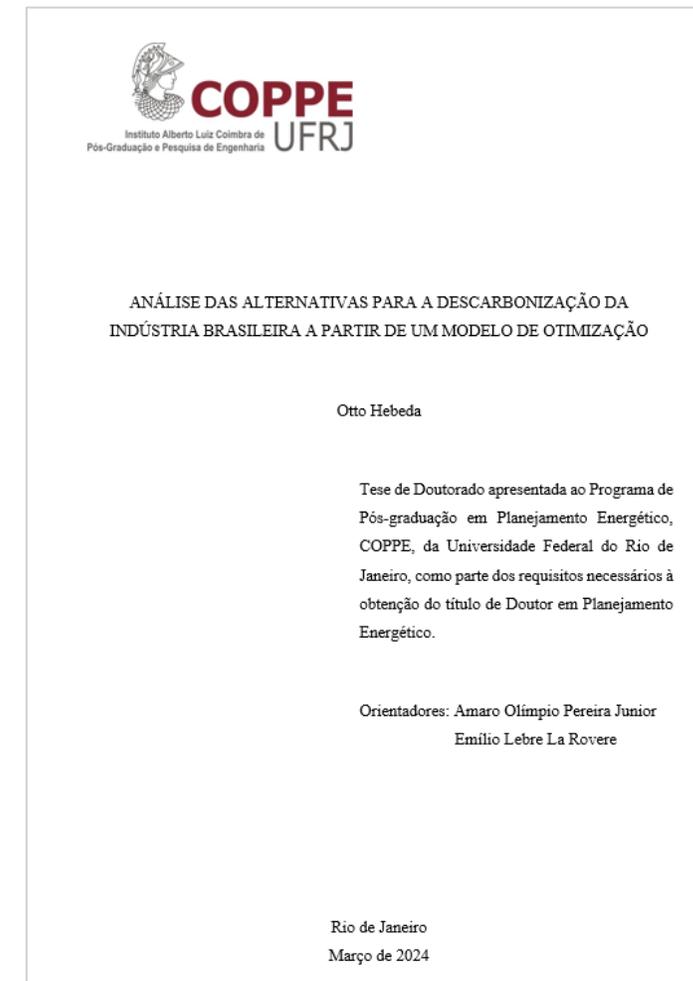
Sugestões de leitura



cebri.org/media/documentos/arquivos/PTE_RelatorioFinal_PT_Digital_.pdf



[Sumário executivo \(clima2030.org\)](https://clima2030.org)



[Teses - PPE/UFRJ](#)