



**ANE BRASIL**  
ACADEMIA  
NACIONAL DE  
ENGENHARIA

**Comitê Permanente de Energia**

# **Tópicos sobre Transição Energética**

**Antonio Carlos Capeleiro Pinto**

# Panorama mundial

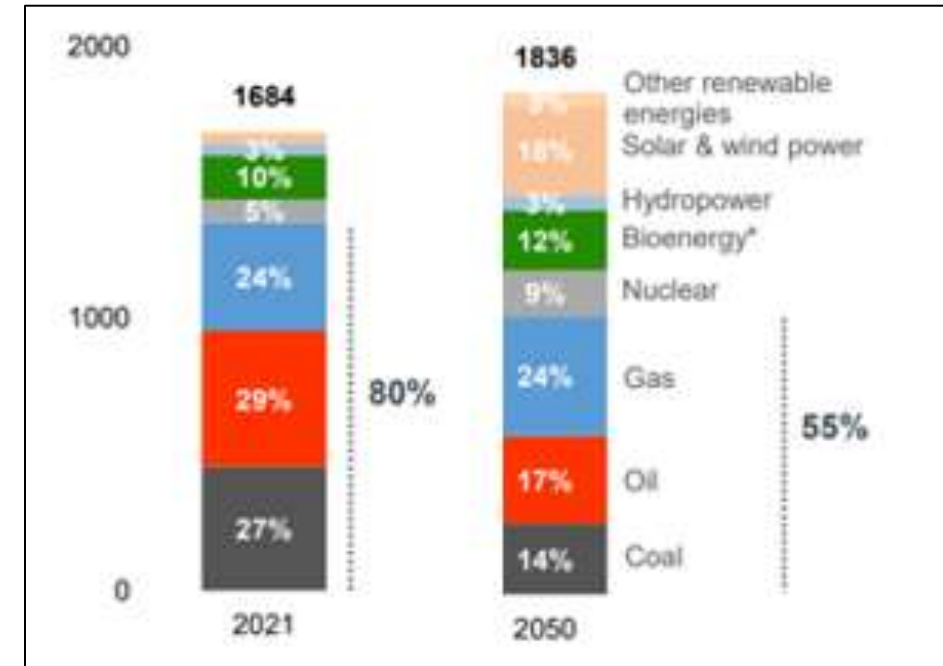
Desde 2000, combustíveis fósseis respondem por mais de 80% da geração de energia primária

O crescimento populacional em países em desenvolvimento acarreta em aumento da demanda de energia

Para limitar o aumento da temperatura global em 2,1 – 2,5 C em 2100:

- Aumento da eficiência energética
- Controle do aumento da demanda energética (0,3% ao ano)
- Redução drástica do uso do carvão (27% para 14%) – 10 Gt CO<sub>2</sub> em 2020
- Redução da fuga de Metano dos fósseis (4 Gt CO<sub>2</sub> em 2020)
- Rápida eletrificação, principalmente nos transportes
  - Até 2028, crescimento de 6 MM bpd óleo
  - Após 2028, incerteza de cenários

## TOTAL ENERGIES



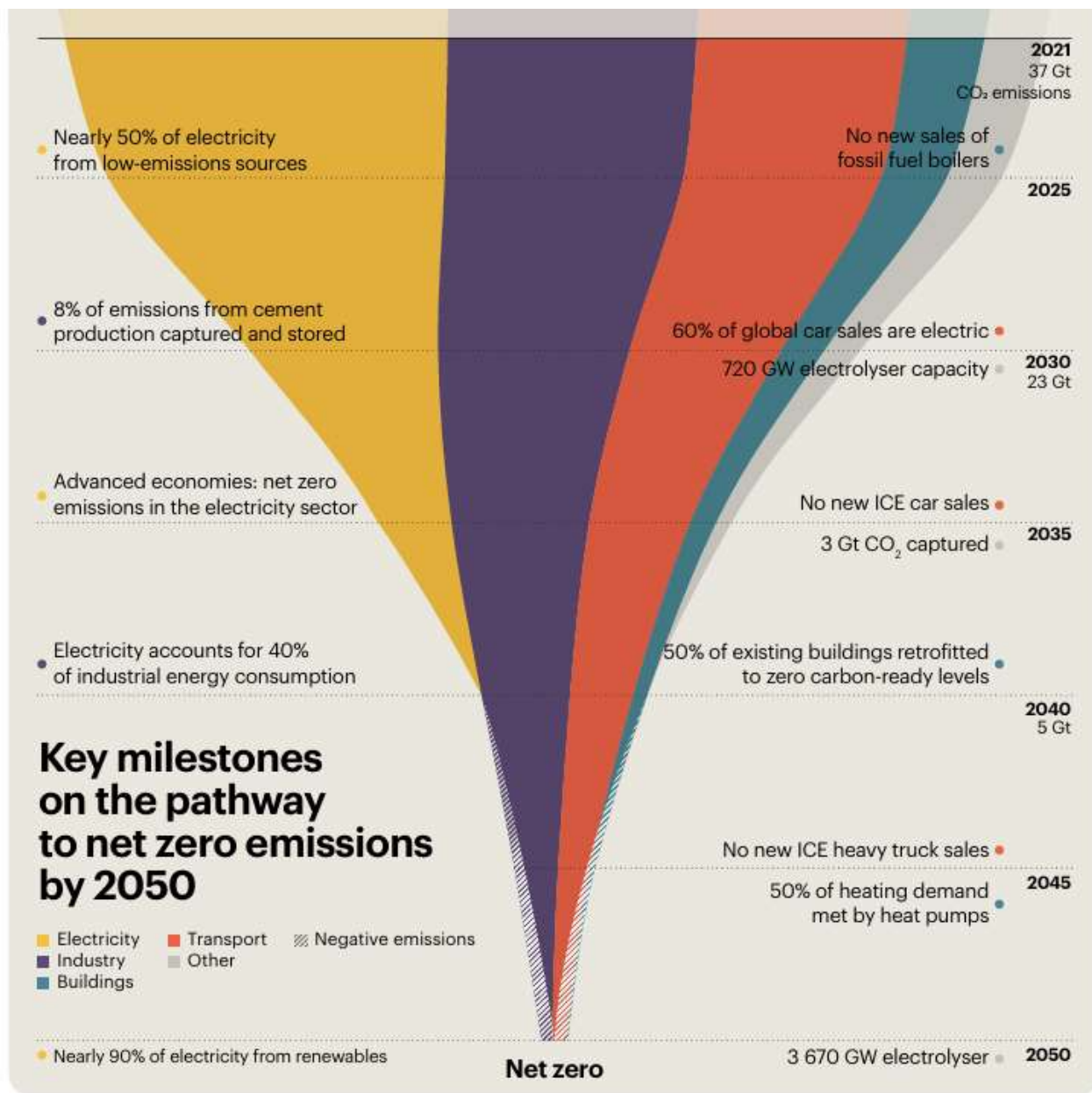
## Panorama mundial - Relatório McKinsey - 2024



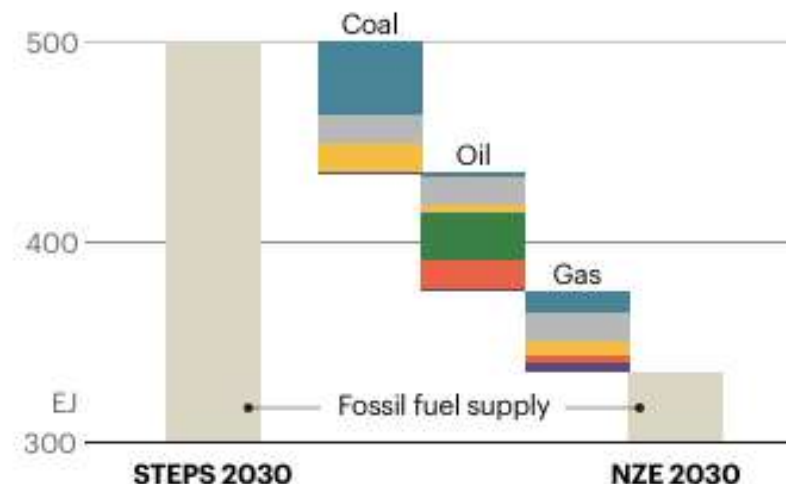
- A implantação de tecnologias de baixa emissão está apenas em cerca de 10% dos níveis exigidos até 2050.
- Menos de 1% dos caminhões nas estradas hoje são elétricos.
- Os quatro grandes pilares materiais da civilização moderna são: aço, cimento, plástico e amônia. A descarbonização de cada um desses quatro apresenta grandes desafios.
- As economias asiáticas são responsáveis por 50% da capacidade nuclear atual em construção.
- Aumentar a escala do Hidrogênio é difícil, dada a quantidade de infraestrutura especializada e insumos necessários.
- Para que o CCUS sirva como uma importante alavanca de descarbonização, os desafios físicos na sua aplicação a casos de uso com concentrações mais baixas de CO2 devem ser superados.
- O caminho exato a seguir permanece incerto, mas está claro que enfrentar esses desafios exigiria inovação individual e sistêmica e novas maneiras de resolver problemas.

# Panorama Mundial – Como chegar ao “Net-zero” em 2050

World Energy Outlook - 2022



## A demand-led transition



**Key demand-side measures to drive transition**

- Solar and wind
- Clean and efficient industry
- Behaviour
- Other
- Efficient buildings and heat pumps
- Electric vehicles

$$1 \text{ EJ} = 1 \text{ E}18 \text{ J} = 2,8\text{E}7 \text{ GWh}$$

# Panorama Mundial – Como chegar ao “Net-zero” em 2050

World Energy Outlook - 2022



Os combustíveis fósseis respondem por 80% do suprimento global de energia primária e têm contribuído com essa porcentagem por várias décadas. Previsão de mudança dramática à medida que a energia renovável cresce rapidamente para tomar seu lugar”, de modo que a contribuição dos fósseis para a matriz energética diminuirá para 50% até meados do século.

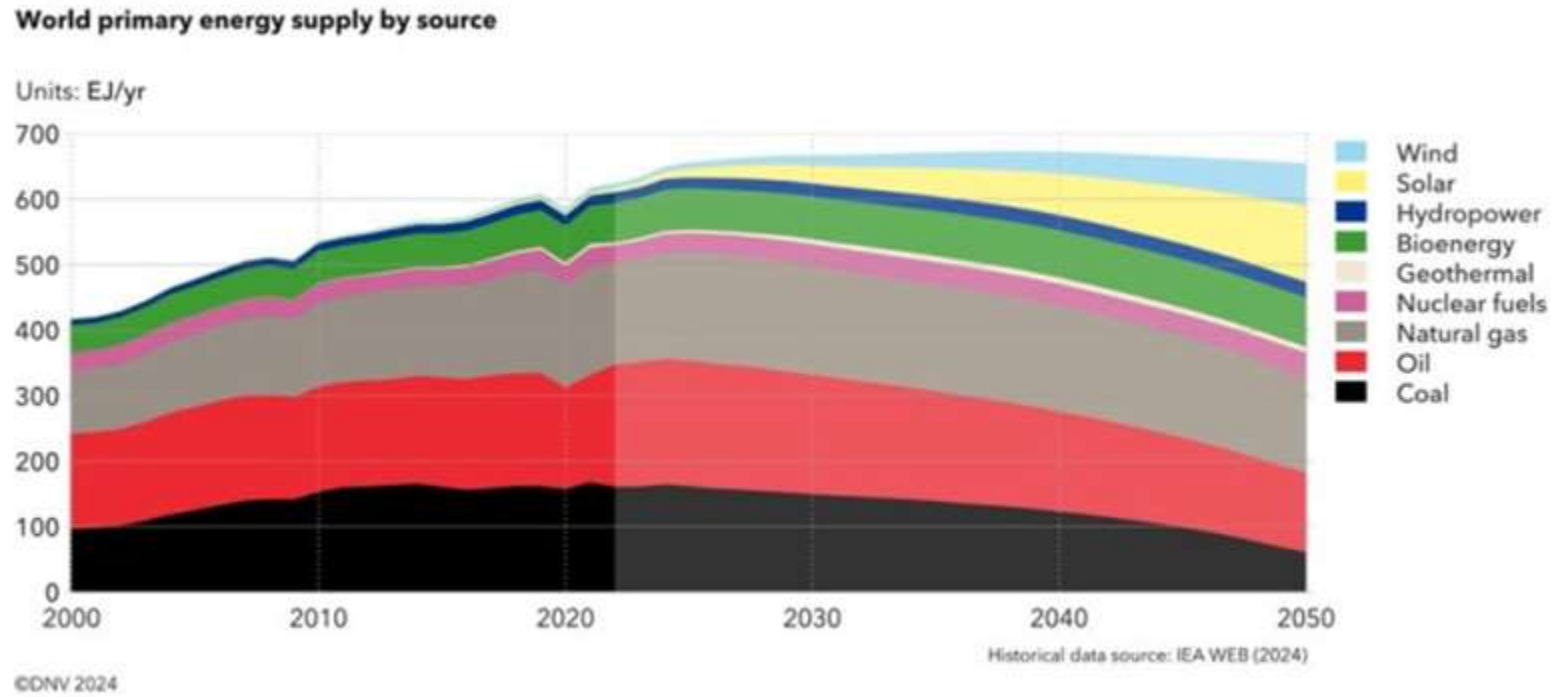
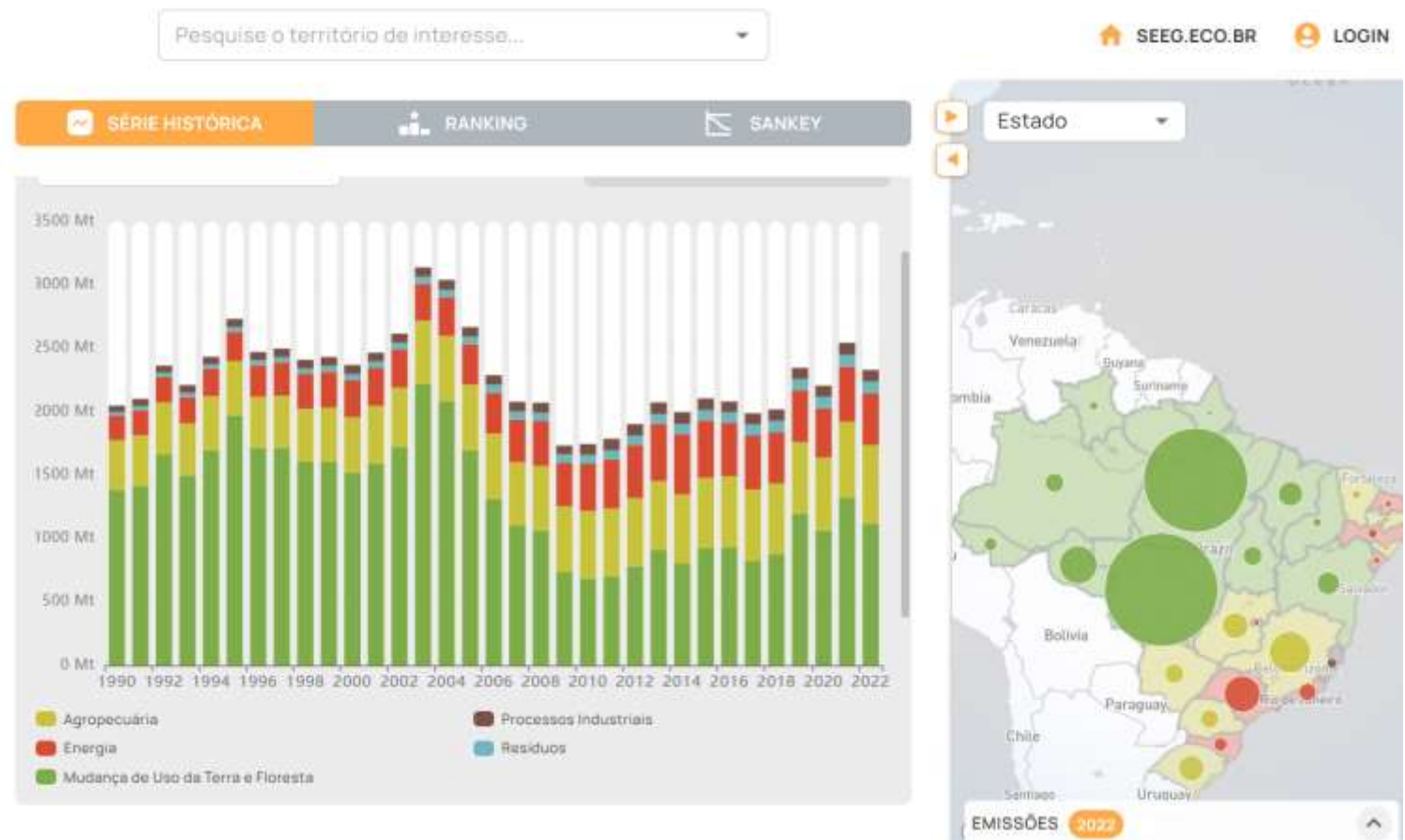


Fig. 4—DNV's forecast of the change in the energy mix through 2050. *Source: DNV*

# Brasil - Gado e Desmatamento

- Em 2023, as emissões de gases de efeito estufa pela pecuária continuam a ser uma preocupação significativa. A produção de carne bovina no Brasil é uma das principais fontes dessas emissões, principalmente devido ao metano liberado pelos animais e ao desmatamento para criação de pastagens.
- Estudos recentes mostram que a pecuária é responsável por cerca de 12% das emissões globais de gases de efeito estufa. No Brasil, a produção de alimentos, incluindo a pecuária, gerou aproximadamente 1,8 bilhão de toneladas de gases poluentes em 2021, com a maior parte dessas emissões vindo do desmatamento.

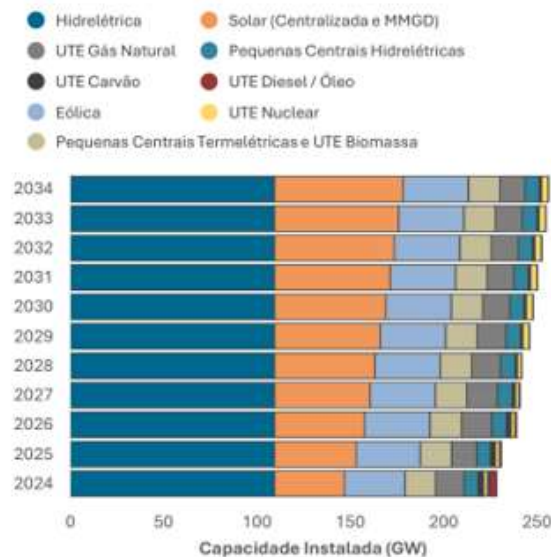




# Brasil - Energia Renovável

- Segundo projeção do ONS, **em 2028**, o Brasil terá uma demanda de 111 gigawatts de energia, contra uma oferta de 281 gigawatts.
- Para incentivar eólica e solar, o governo concedeu descontos nas tarifas de distribuição e transmissão de energia.
- A manutenção dos descontos levou ao seu crescimento exponencial.
- Localização na região Nordeste, distante do grande centro de consumo (Sudeste), implica na necessidade de transferência de grandes blocos de energia, com impactos na estabilidade do sistema elétrico.
- Para 2028, o ONS projeta uma "rampa de queda" de 50 gigawatts de oferta de energia eólica e solar ao final do dia. **É como se quase quatro usinas de Itaipu fossem desligadas todas as noites.**
- Deixar de usar o potencial de geração por falta de demanda já é uma realidade, que tende a ser mais frequente.
- O risco, caso o consumo não esteja sincronizado com a produção, é de causar danos ao sistema.
- Pequena evolução das fontes hidrelétrica e nuclear.

**Figura I – Expansão Indicativa no Horizonte – 2024/2034**



Fonte: EPE

*“Não é mais transmissão que vai criar demanda onde ela não existe. Em qualquer atividade econômica, quando há sobras, armazena-se. Falta armazenamento, que proporciona uma carga adicional, evitando desperdício. Não é simples, pois requer regulamentação, critérios de operação, investidores, licenciamento, regras de reciclagem. Mas é indispensável.” Pietro Erber – 02/09/24*

# Brasil - Energia Nuclear

- Elevado CAPEX. Porém, o custo da energia gerada é baixo (~30 R\$/MWh).
- Leilão de Energia Emergencial para a contratação de energia de origem termoelétrica (2022-25). Este leilão contratou 1.221 MW, dentre os quais distribuídos em 14 projetos usando Gás Natural, com um preço médio de R \$1.564,0/MWh.
- Acidentes de Chernobyl e Fukushima levaram ao mito de que é insegura.
- É independente dos “humores” da natureza.
- Alto fator de capacidade e não emite CO2.
- O PNE 2050 sinaliza a expansão de mais 10 GW de novas usinas nucleares no Brasil nos próximos 25 anos. Padronizar e construir em sequência um programa de construção em sítios nucleares pré-definidos, pode vir a ser a base comprovada para o sucesso de um programa de novas usinas nucleares no Brasil. A França construiu em dez anos 40 usinas nucleares!
- Nos leilões nNão é considerado o custo de transmissão, nem a confiabilidade do sistema, nem a reserva de energia, nem o ciclo de vida (anos de duração da capacidade de geração). Ou seja, não se considera a economicidade da solução para o sistema de forma global.
- Tendência de SMRs – mais baratos e com segurança intrínseca. Capacidade de operar conjuntamente com usinas intermitentes ajudando o seguimento de carga.

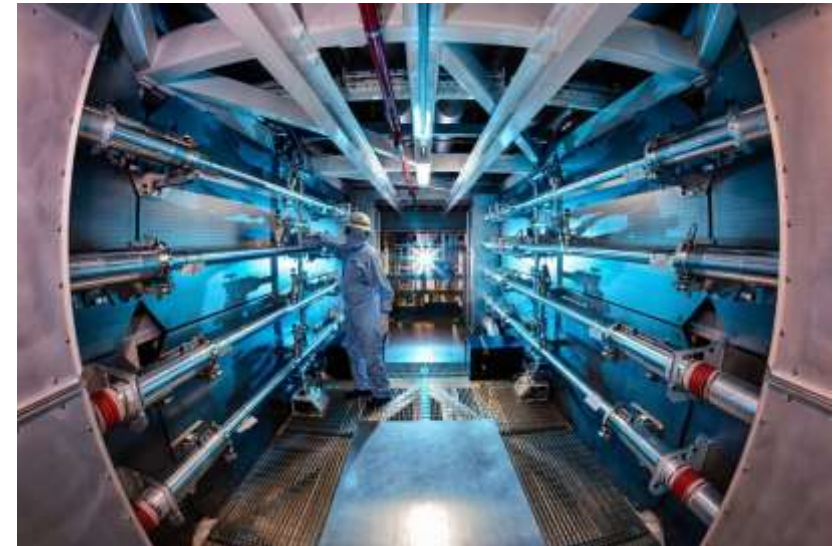


Foto: Lawrence Livermore National Laboratory / The New York Times



# Armazenamento

## UHRs:

- A concepção, custos e as características das UHR são influenciados por condições locais como a topografia, a geologia, a hidrologia, as limitações de operação e as necessidades do sistema elétrico no ponto de conexão.
- Esta característica impede a existência de projetos iguais, resultando em maior complexidade e maiores esforços para o desenvolvimento do projeto, licenciamento ambiental e outorga.
- Hidrelétricas servem para essa função mas a variação de sua geração durante o dia resulta em variação das descargas de água no rio que podem trazer problemas para as populações ribeirinhas.

## Baterias:

- Baterias de Íon-Lítio: São amplamente utilizadas devido à sua alta densidade de energia e eficiência. São ideais para aplicações que requerem armazenamento de energia em larga escala, como usinas solares e eólicas.
- Baterias de Chumbo-Ácido: Embora sejam mais antigas, ainda são usadas em algumas aplicações devido ao seu custo relativamente baixo e confiabilidade.

## Térmicas

- Estocagem de gás para alimentação de térmicas

China completes the world's largest pumped storage station



# Óleo e Gás na transição energética

1. Como o setor de óleo e gás pode contribuir?
  - O setor de óleo e gás é responsável por 41% das emissões globais de GEE. Desses, 10% são emissões diretas (escopo 1), 1% são emissões indiretas relacionadas à energia elétrica (escopo 2) e 30% são outras emissões indiretas (escopo 3)
  - Eficiência energética, co-geração, reduzir fuga de Metano, produção de óleos leves e gás, CCUS
2. Redução da demanda passa por:
  - Resolver a mobilidade, com carros Elétricos ou a Hidrogênio ou a Etanol (com geração limpa)
  - Problemas: mineração; logística; depreciação e descarte → avaliar sempre o ciclo integrado !
  - Eliminar o uso do carvão para gerar energia
  - Aumento da geração de energia solar, eólica, hidráulica, nuclear e aumento da eficiência energética
4. CCUS:
  - Não é uma “bala de prata”. Responderá por apenas 10% da redução de emissões **do setor de energia**, em 2070
5. No Brasil
  - Temos o conflito Desenvolvimento x Transição energética ?
  - Como uma das nações com a matriz energética mais limpa (assim como a Guiana), é justo passarmos a importar derivados de petróleo?
6. A transição será lenta.

# Atenção: Aumento da mineração

## 1. China:

- **Minerais de terras raras** - usados em ímãs permanentes (turbinas eólicas, motores de carros elétricos)

## 2. Indonésia:

- **Níquel** - baterias de íon-lítio, utilizadas em veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia.

## 3. República Democrática do Congo:

- **Cobalto**, outro mineral essencial para baterias de íon-lítio e tecnologias de armazenamento de energia.

## 4. Chile:

- **Cobre**, utilizado na geração de energia e em infraestruturas limpas.
- **Lítio**, essencial para baterias de veículos elétricos e armazenamento de energia.

## 5. Brasil:

- **Ferro e Cobre.**

**Atenção: impacto sobre o meio ambiente**



# Sumário - Controle do clima: Ações previstas

1. Energia renovável
2. Aumentar a eficiência energética. Cogeração.
3. Nuclear com SMRs é uma opção complementar para aumentar a energia despachável.
4. Investir em armazenamento de energia é indispensável (baterias, Hidrelétricas reversíveis).
5. Agricultura sustentável (agro-silvo-pastoril) – As árvores não só proporcionam sombra aos animais, mas também sequestram carbono que contrabalança as emissões de metano. Se a silvo-pastagem fosse aumentada em 60% em todo o mundo, poderia poupar 31,1 gigatoneladas de emissões de carbono até 2050.
3. Reflorestamento e reciclagem. As florestas armazenam 300 mil milhões de toneladas de carbono, mas 15 mil milhões de árvores são cortadas todos os anos. Quando as florestas são destruídas, a saúde do solo despenca e a terra degradada liberta o seu conteúdo de carbono na atmosfera. Mais de 10% das emissões anuais de carbono são causadas desta forma.
4. Implantar programas educacionais generalizados e tecnologias como carros elétricos autônomos e agricultura oceânica.
5. Continuar pesquisas para estimar o impacto dos diversos componentes para o aquecimento global: CO<sub>2</sub>, Metano, Óxido Nitroso, CFCs, vapor d'água, Ozônio etc.
6. A captura de carbono direta do ar (DAC) e de instalações emissoras, seguida de armazenamento subterrâneo representará uma parcela pequena no controle de emissões.



# Tópicos sobre Transição Energética

Antonio Carlos Capeleiro Pinto  
antonio.capeleiro@gmail.com