

O Planejamento da Transição Energética

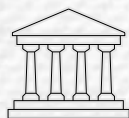
CONIBEN 2025

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Lisboa, 27 de novembro de 2025

► Sobre a EPE



**Empresa pública federal vinculada
ao Ministério de Minas e Energia**



**Desenvolvemos estudos de planejamento
e estatísticas energéticas para subsidiar a
formulação, implementação e avaliação da
política energética nacional**



www.epe.gov.br

**Integrante do Conselho Nacional
de Política Energética (CNPE)**

Sobre a EPE



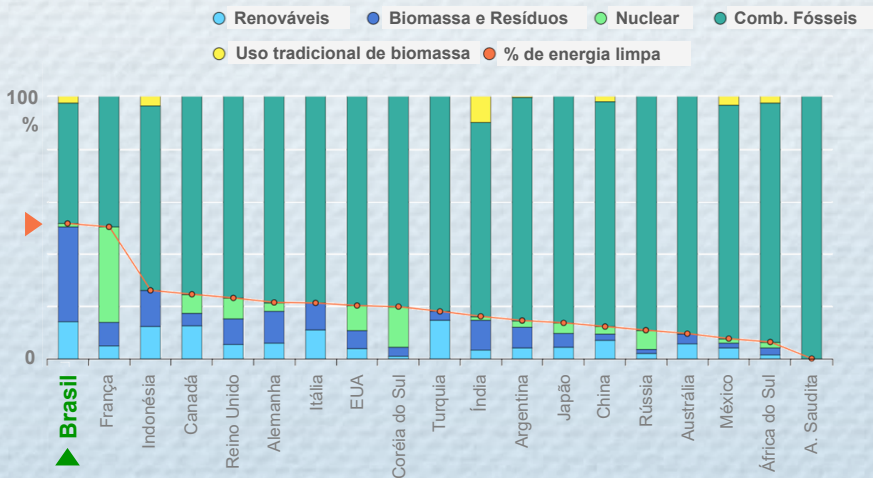
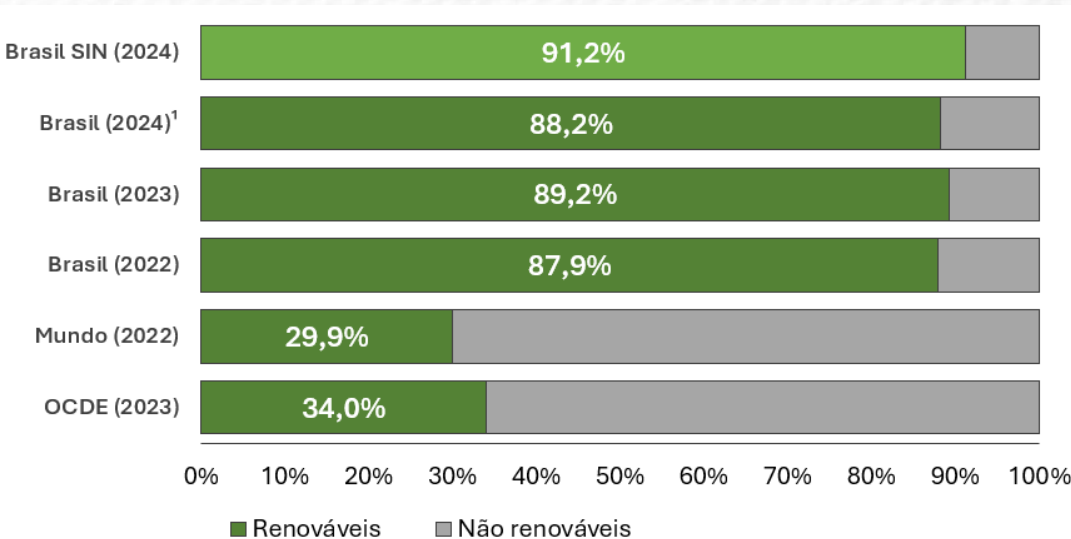
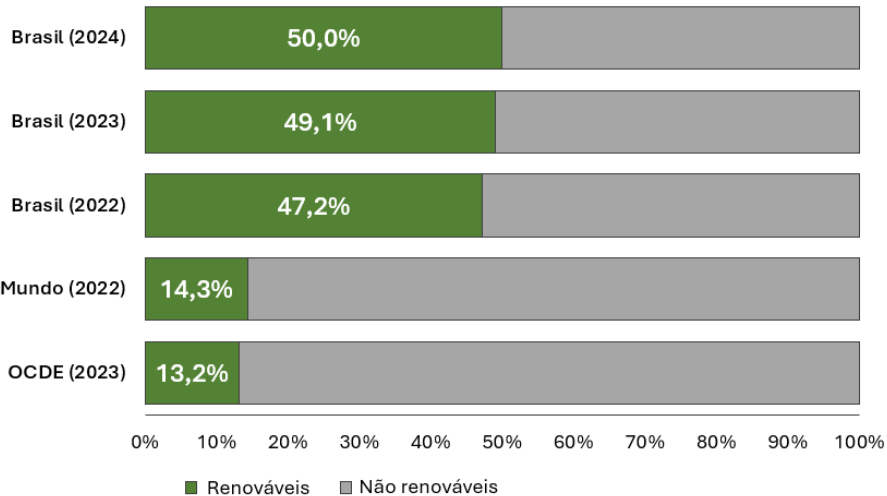
Visão integrada do setor energético, incluindo petróleo, gás natural, biocombustíveis, eletricidade, nuclear, eficiência energética, meio ambiente...

De onde partimos? Onde estamos? Para onde vamos?



Participação das renováveis na OIE

Fonte: Agência Internacional de Energia (AIE) e EPE para o Brasil. Elaboração: EPE



O Brasil tem a maior participação de energia limpa entre os países do G20

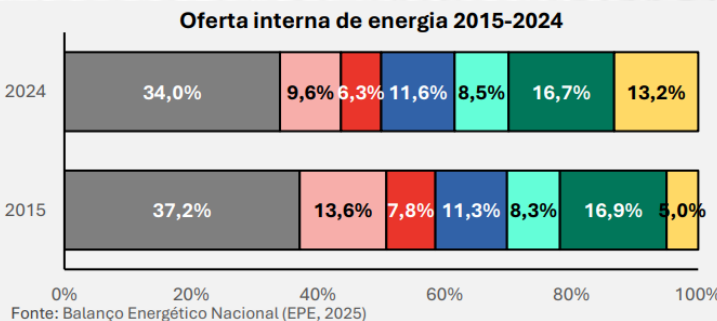
Transição Energética no Brasil – Últimos 10 anos



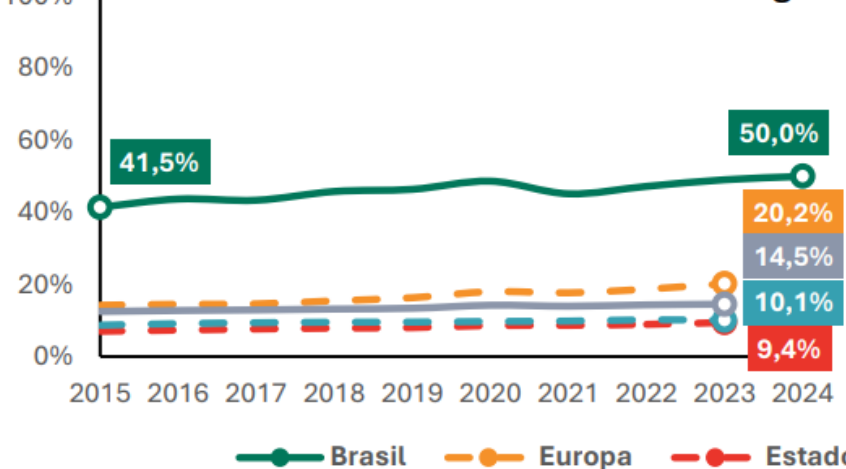
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL 10 ANOS DO ACORDO DE PARIS



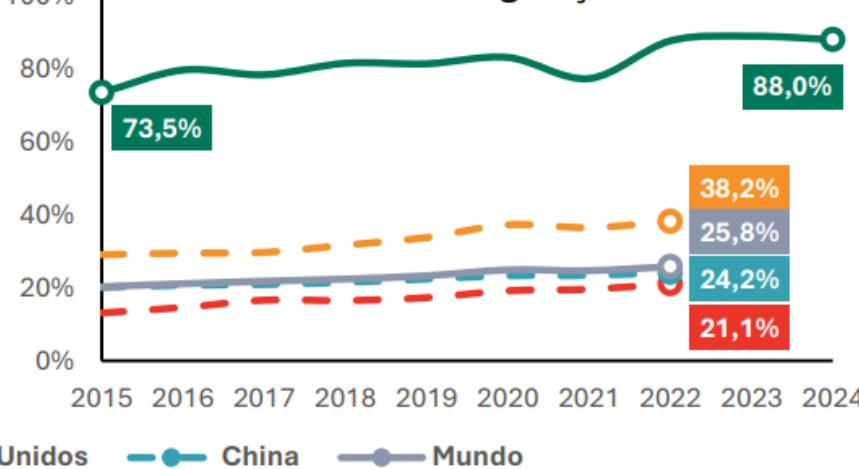
DEZ ANOS DO ACORDO DE PARIS, O BRASIL AVANÇA NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA COM UMA MATRIZ CADA VEZ MAIS LIMPA, POLÍTICAS PÚBLICAS ROBUSTAS E AÇÕES PARA SEGURANÇA ENERGÉTICA E ERRADICAÇÃO DA POBREZA ENERGÉTICA



% de renováveis na oferta interna de energia



% de renováveis na geração elétrica



Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE, 2025 - Dados do Brasil); IEA (Dados das demais localidades).

- Petróleo e Derivados
- Gás Natural
- Carvão, Urânio e Outras Não-Renováveis
- Hidráulica
- Lenha e Carvão Vegetal
- Derivados da Cana
- Eólica, Solar e Outras Renováveis



Transição Energética no Brasil – Últimos 10 anos

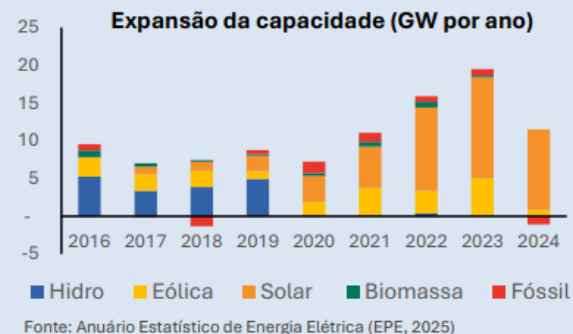
CAPACIDADE INSTALADA com expansão renovável

A capacidade instalada de geração elétrica atingiu

236 GW em 2024.

Nos últimos 10 anos foram adicionados **95,5 GW** de potência instalada, sendo

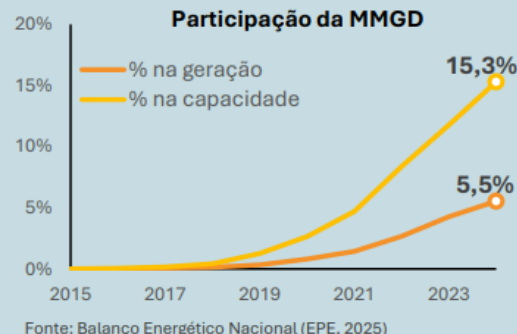
97% de fontes renováveis



MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA (MMGD) cresce exponencialmente



No final de 2024 eram **36 GW** instalados, sendo 99% de energia solar fotovoltaica, atingindo 15% da capacidade instalada e 5,5% da geração elétrica, com **4,8 milhões de consumidores** (Painel de Dados de MMGD – EPE, 2025).



A expansão com energias renováveis é resultado dos leilões de energia, políticas de incentivos a fontes renováveis e instrumentos normativos para MMGD, como a Resoluções ANEEL nº 482/2012, nº 687/2015, nº 786/2017 e a Lei nº 14.300/2022 (Marco Legal da MMGD).

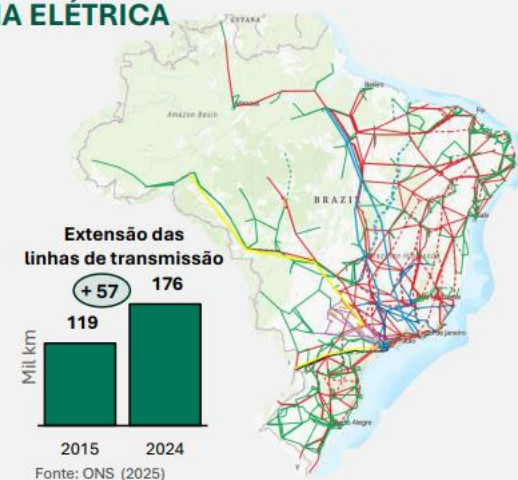
SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA aumentou 47%, e segue expandindo

O sistema de transmissão do Brasil é um dos mais complexos e robustos do mundo, conectando todos os estados do País.

A transmissão vem se expandindo para dar maior confiabilidade e robustez ao escoamento de um sistema elétrico com demanda crescente e com mais fontes renováveis não controláveis.

Foram realizados investimentos de **R\$ 247 bilhões** em **19 leilões de transmissão** realizados entre 2015 e 2024, evidenciando o sucesso desse mecanismo no setor elétrico (Resultados dos leilões de transmissão – ANEEL, 2025).

Nota: investimentos em valores corrigidos.



O consumo de **etanol** substitui o de gasolina fóssil, com :

- conteúdo obrigatório de etanol anidro na gasolina C, que atingiu **30%** em 2025 em volume (Resolução CNPE nº 9/2025),
- a frota de **veículos leves flex** abastecendo com etanol hidratado, e
- o **RenovaBio**.

O Programa Brasileiro de Produção e Uso de **Biodiesel** (2004) introduziu o biodiesel na matriz energética. Com os avanços normativos, a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel chegou a 15% em volume em 2025. Com isso o consumo de biodiesel mais que dobrou em 10 anos.

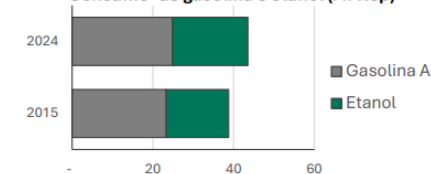
Mistura de biodiesel

B7 → B15

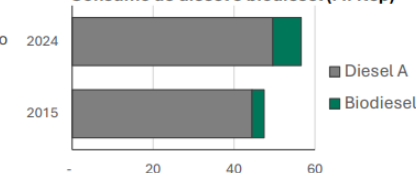
2015 2025

Fonte: Lei nº 13.033/2014, Resolução CNPE nº 8/2023 e Resolução CNPE nº 8/2025

Consumo¹ de gasolina e etanol (MMtep)



Consumo de diesel e biodiesel (MMtep)



Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE, 2025)

¹ consumo final energético

O planejamento energético: quais as nossas bússolas?

Plano Nacional de Energia

Instrumento estratégico de longo prazo



- **Horizonte:** 30 anos (revisado a cada 5 anos)
- Orienta políticas, programas e iniciativas
- **Foco:** sustentabilidade, segurança, modicidade
- Base para a estratégia nacional energética

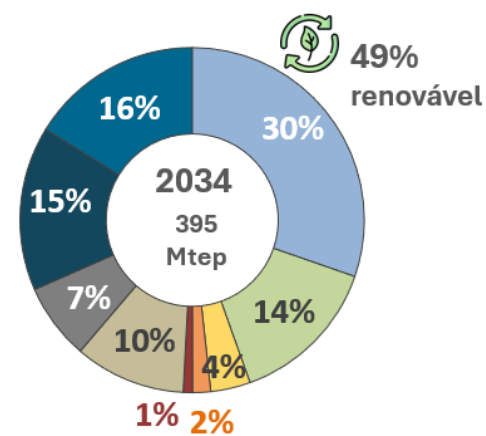
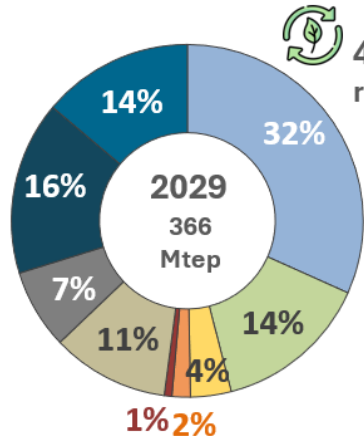
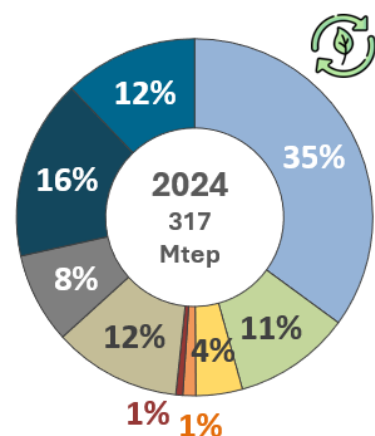
Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE)

Planejamento técnico de médio prazo



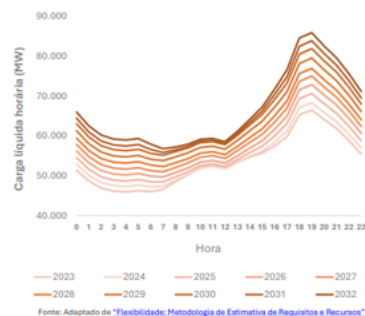
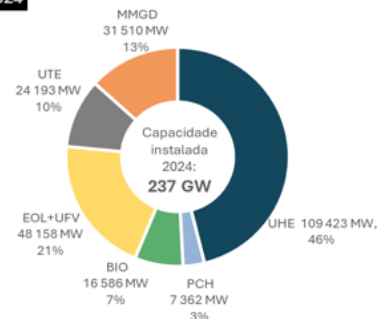
- **Horizonte:** 10 anos (revisado anualmente)
- Detalha a expansão da oferta e da infraestrutura
- Reflete políticas vigentes, sinais de mercado e viabilidade técnica
- Base para decisões de investimento e regulação

PDE 2034

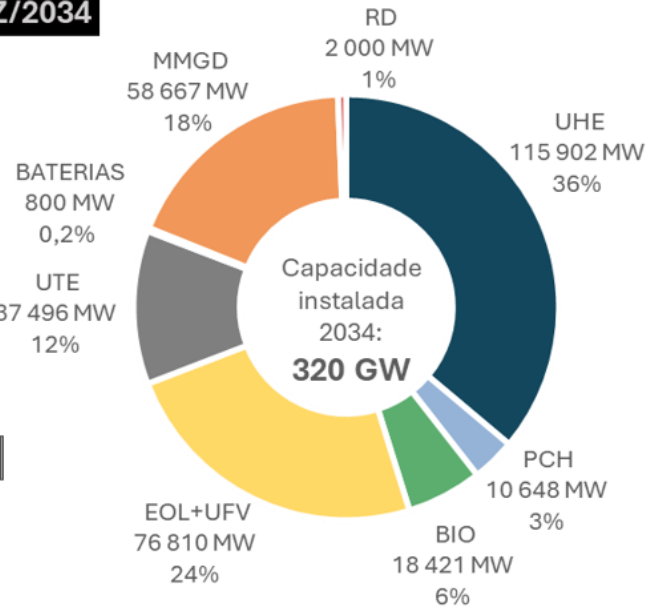


- Petróleo e Derivados
- Gás Natural
- Carvão Mineral e Derivados
- Urânio (U₃O₈) e Derivados
- Outras Não Renováveis
- Hidráulica e Eletricidade
- Lenha e Carvão Vegetal
- Produtos da Cana-de-Açúcar
- Outras Renováveis

DEZ/2024

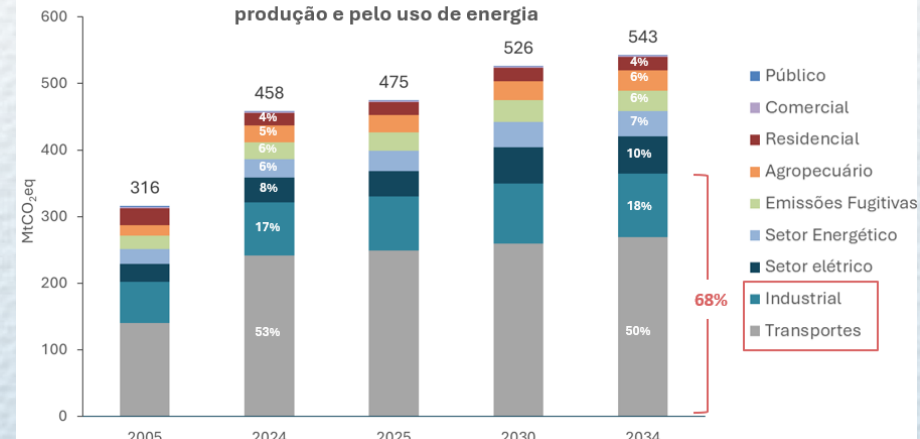


DEZ/2034






O Cenário de Referência atende aos critérios de segurança de suprimento de energia e potência

Evolução da participação setorial nas emissões de GEE pela produção e pelo uso de energia



PDE 2034 - Investimentos



 ENERGIA ELÉTRICA R\$ 597 Bilhões (18,7%)	 PETRÓLEO E GÁS NATURAL R\$ 2.489 Bilhões (78,1%)	 BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS R\$ 102 Bilhões (3,2%)
GERAÇÃO CENTRALIZADA⁽¹⁾ R\$ 352 Bilhões (11,0%)	E&P DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL⁽¹⁾ R\$ 2.349 Bilhões (73,7%)	ETANOL⁽⁴⁾ UNIDADES DE PROD. E INFRA. DUTOVIÁRIA R\$ 67 Bilhões (2,1%)
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (MICRO E MINIGERAÇÃO) R\$ 117 Bilhões (3,7%)	OFERTA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO⁽³⁾ R\$ 124 Bilhões (3,9%)	BIODIESEL USINAS DE PRODUÇÃO R\$ 35 Bilhões (1,1%)
TRANSMISSÃO⁽²⁾ R\$ 129 Bilhões (4,0%)	OFERTA DE GÁS NATURAL R\$ 16 Bilhões (0,5%)	

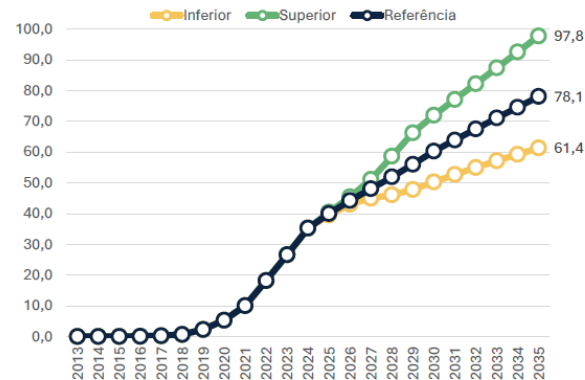
Nota: ¹Inclui estimativas de investimentos em usinas já concedidas e autorizadas, entre elas, as usinas com contratos assinados nos leilões de energia; ²Inclui instalações já licitadas que entrarão em operação no período decenal; ³Investimentos em logística ferroviária passaram a ser considerados a partir do PDE 2034 podendo, entretanto, estar superestimados, pois as cifras de investimentos selecionados podem servir a outras funções além da movimentação de derivados de petróleo. Por outro lado, outros ativos ferroviários não selecionados podem eventualmente movimentar combustíveis, representando uma potencial subestimativa do montante total; ⁴Inclui investimentos para formação de canais e unidades de etanol 1G, 2G e de milho. Não inclui açúcar.; ⁵Taxa de câmbio referencial: R\$ 5,22 / US\$ (dez/2022).

O total de estimativas de investimentos previstos para o horizonte decenal prevê cerca de R\$ 3,2 trilhões dispersos entre três categorias principais de projetos, sendo concentrado acima de 78% na indústria de petróleo e gás natural

PDE 2035 em elaboração

Projeção da capacidade instalada de MMGD (GW) Por Cenário

Fonte: EPE



Nota: Data base da projeção: novembro de 2024.

PDE 2035

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035

Micro e Minigeração Distribuída & Baterias Atrás do Medidor

Julho 2025



<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/mme-e-epe-publicam-caderno-sobre-micro-e-minigeracao-distribuida-e-baterias-atras-do-medidor-no-pde-2035>

PDE 2035

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035

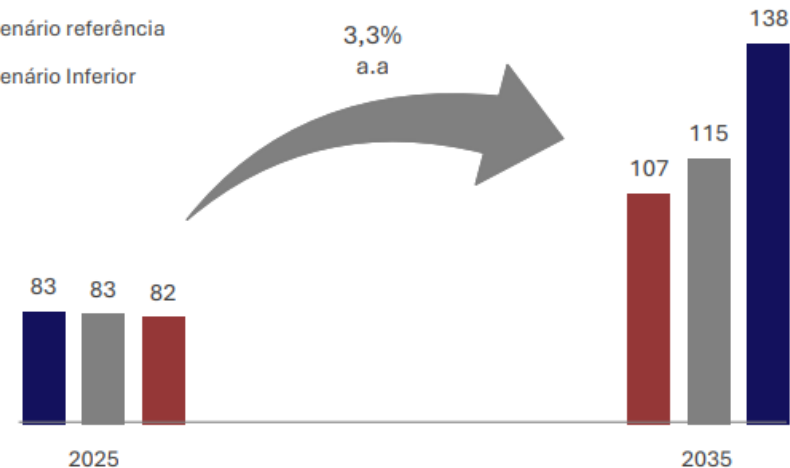
Demanda de Eletricidade

Setembro 2025



Carga global de energia (GWmédio), SIN

- Cenário superior
- Cenário referência
- Cenário Inferior



¹ Corresponde ao conceito de carga global adotado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS)

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2035>

PDE 2035 em elaboração

PDE 2035

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035

Eletromobilidade: Transporte Rodoviário

Novembro de 2025



PDE 2035

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035

Parâmetros de Custos Geração e Transmissão

Novembro de 2025



PDE 2035

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035

Preços Internacionais do Petróleo e seus Derivados

Agosto 2025



PDE 2035

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035

Oferta de Biocombustíveis

Julho 2025



PDE 2035

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035

Premissas Demográficas e Econômicas

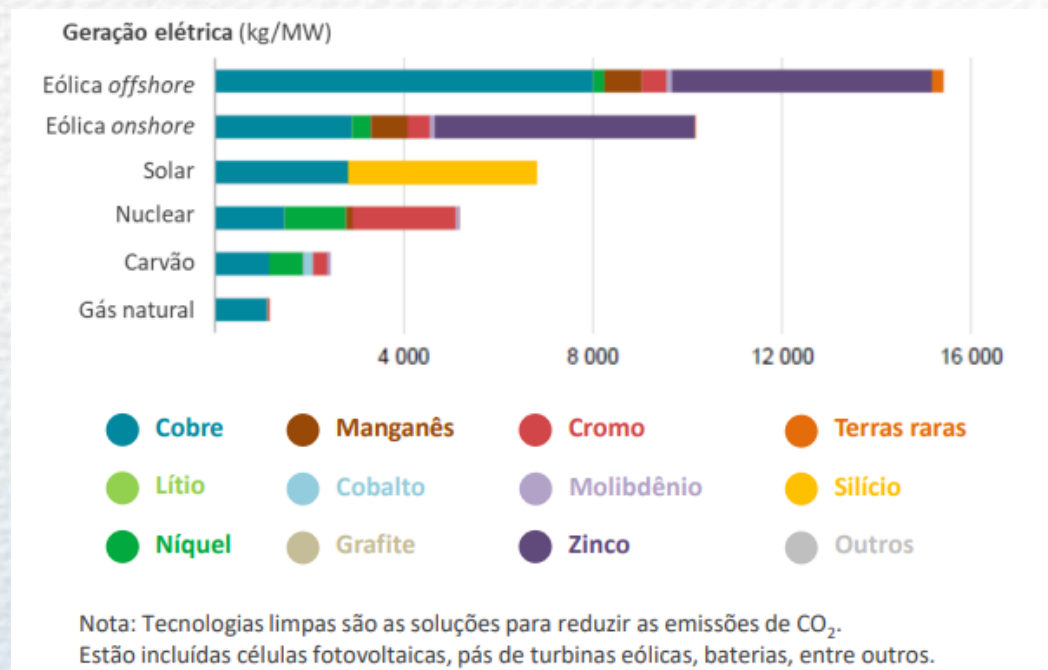
Junho de 2025



<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2035>

Transição energética é intensiva em minerais

Minerais utilizados em tecnologias de energia limpa e tradicionais



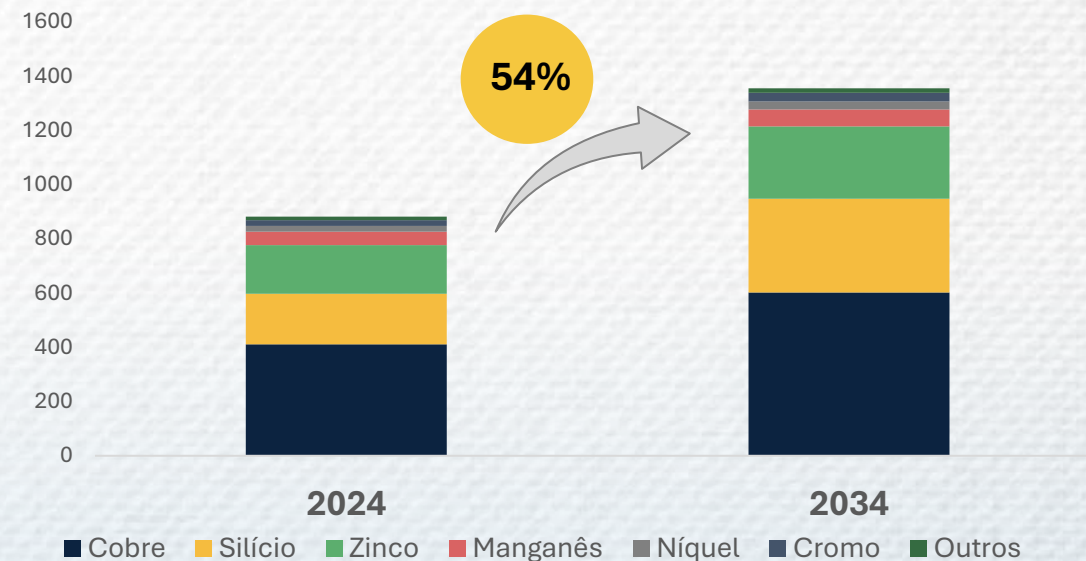
Fonte: Adaptado de The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions. IEA, 2021.



Parque eólico terrestre = **9x** mais recursos minerais do que uma usina a gás;



Composição Mineral da Matriz Elétrica (Mil Toneladas)



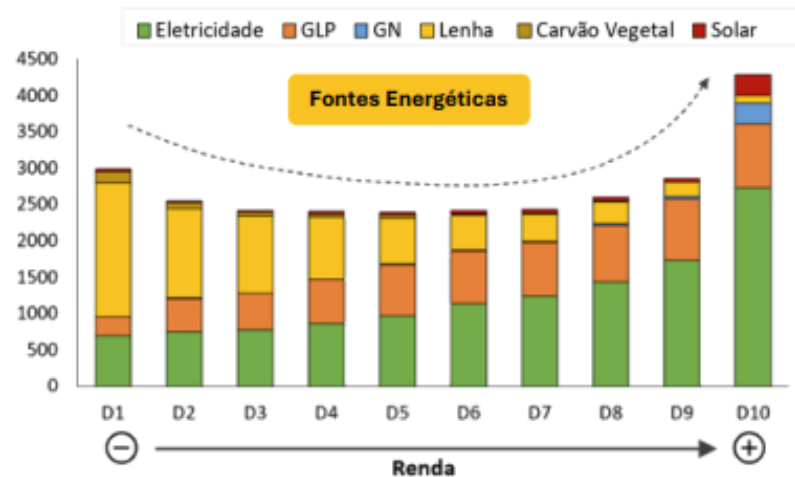
Os minerais considerados para a contabilização incluem: cobre, níquel, manganês, zinco, cromo, titânio, molibdênio, silício, terras raras e cobalto.

A capacidade instalada aumenta **35%** de 2024 para 2034. Já o aumento de uso estimado de minerais é **54%** nesse período.

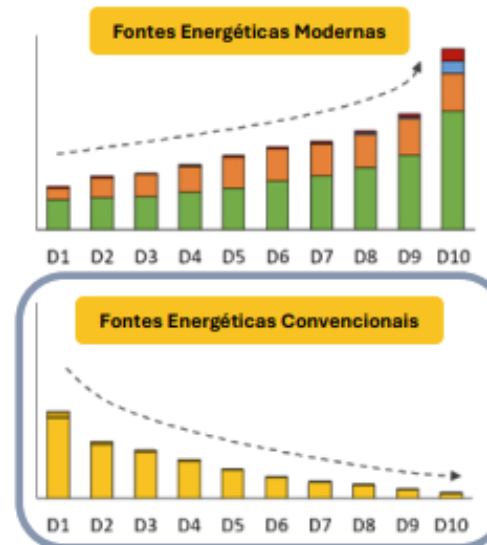


A Transição energética tem que ser justa...

Gráfico 1: Consumo Total de Energia por Fontes e Classes de Renda no Brasil em 2019 (em 10³ tep). Fonte: [EPE \(2024\)](#)



Nota: As classes D1 a D10 possuem a mesma quantidade de pessoas (10% da população ou 20,9 milhões de pessoas). D1 representa a classe de renda mais baixa e D10 a mais alta.



Desigualdade energética: Há uma **distinção clara** entre o perfil de consumo de energia das classes de maior e de menor renda no país, com a **lenha** representando a **maior parte** do consumo dos **decis mais pobres**, sendo gradualmente substituída pelo GLP e pela eletrificação.

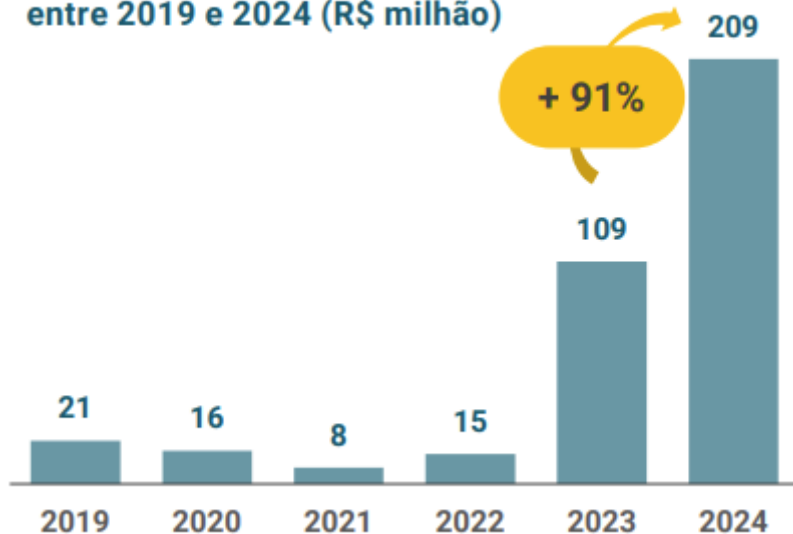
O vale de eficiência: Este **alto consumo de lenha** também representa uma **baixa eficiência energética**, elevando o consumo total das faixas de renda mais baixas em relação aos decis intermediários.



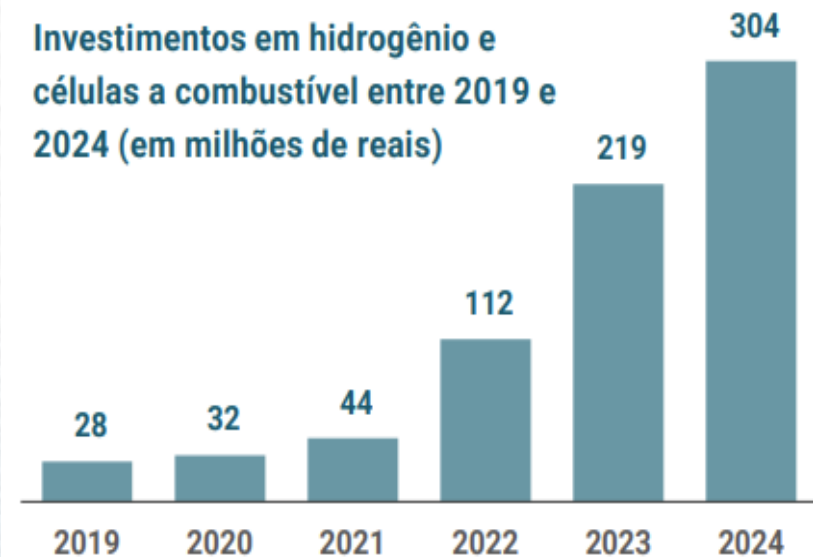
Para o futuro, como resultado, **as classes de renda mais baixa** tendem a apresentar **maior potencial de eficiência energética** e uma **maior demanda reprimida por fontes energéticas modernas** e outros usos finais.

A Transição precisa de inovação...

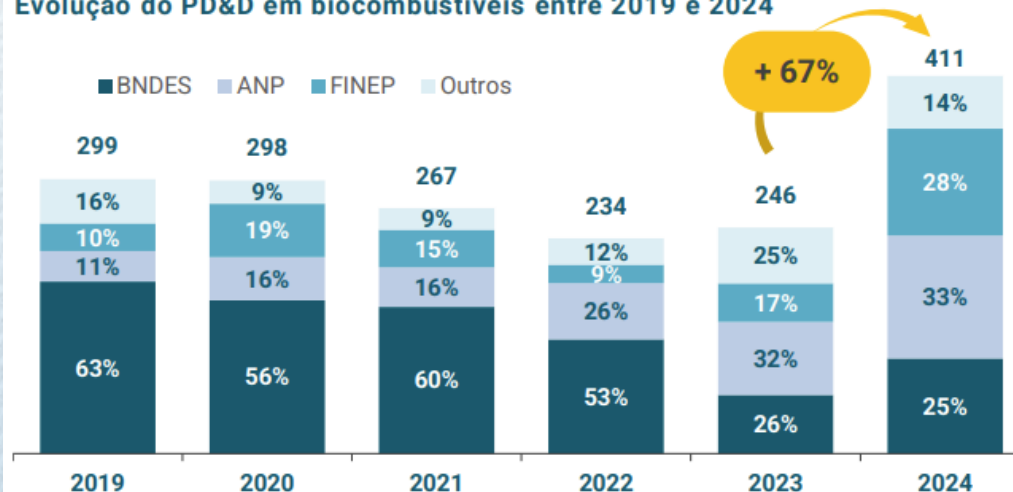
Investimentos em PD&D em CCUS entre 2019 e 2024 (R\$ milhão)



Investimentos em hidrogênio e células a combustível entre 2019 e 2024 (em milhões de reais)



Evolução do PD&D em biocombustíveis entre 2019 e 2024



A Transição precisa de planejamento...

No setor energético cada vez mais complexo, o planejamento energético é de vital importância para a transição energética

*“O **planejamento energético** é um **componente central da formulação de políticas energéticas** em todo o mundo, orientando decisões sobre quando, onde e como investir no setor de energia.” (IEA)*

iea

Developing Capacity for Long-Term Energy Policy Planning: A Roadmap

International Energy Agency

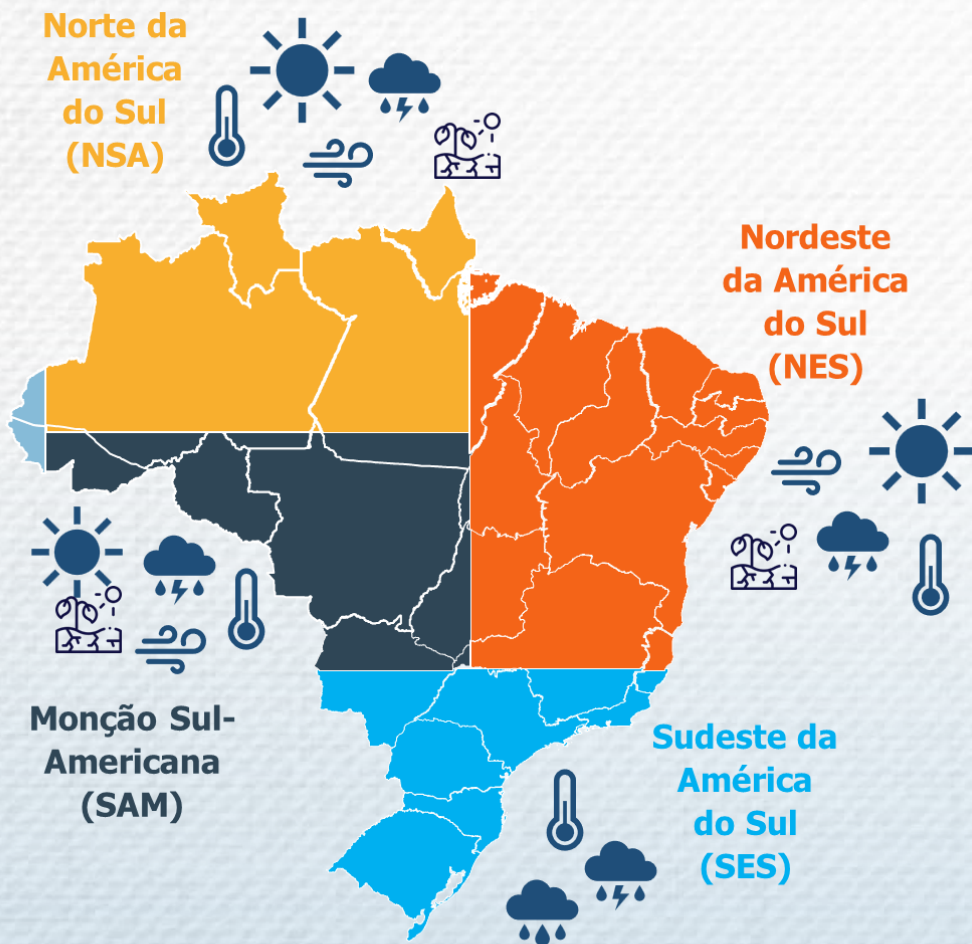


Declaração de Líderes do Rio de Janeiro

*“Nós reconhecemos o importante papel do **planejamento energético doméstico**, do fortalecimento de capacidades, das estratégias de políticas e marcos legais, bem como da cooperação entre diferentes níveis de governo, **na criação de ambientes facilitadores para atrair financiamento para as transições energéticas.**” (Declaração dos líderes do G20)*

Tanto as principais organizações internacionais do setor de energia (IEA e IRENA), quanto fóruns políticos como o G20, têm reconhecido o planejamento energético como elemento central para avançar na implementação da transição energética.

O desafio das Mudanças Climáticas



Fonte: Atlas do IPCC (2021)

Projeções para os próximos 20 a 30 anos, compatíveis com aquecimento global de 2°C em comparação com um período semelhante entre 1960-2014



Aumento da temperatura média do ar em todo o país

Aumento na intensidade e frequência de **extremos de temperaturas** (calor e frio) e **ondas de calor**.



Aumento na precipitação média na região SES e redução em NES e NSA



Aumento na intensidade e frequência de **chuvas fortes e alagamentos** nas 4 regiões, com destaque para SES e na Amazônia.



Tendências crescentes na frequência e duração das **secas** nas regiões SAM, NSA e NES



Aumento na velocidade média dos ventos nas regiões **NSA, SAM e NES**



Aumento da radiação na superfície nas regiões **NSA, SAM e NES**

Conteúdo do Roadmap

Demanda de Energia

- O aumento na temperatura, sobretudo no verão, implica em aumento na demanda de energia elétrica para refrigeração.



Solar

- Mudanças nos padrões de radiação incidente na superfície podem impactar a geração de energia solar.

Eólicas

- Alteração nos padrões de ventos podem impactar a geração eólica.
- Ventos extremos podem causar danos às estruturas.

Hidrelétricas

- Mudanças nos padrões de precipitação e vazões podem impactar a produção de energia hidrelétrica.
- Alagamentos aumentam os riscos às estruturas.

Termelétricas

- Altas temperaturas do ar e da água reduzem a eficiência e capacidade das plantas termelétricas.
- Alterações nos padrões de precipitação e temperatura podem impactar os recursos bioenergéticos.

Transmissão de Energia

- Altas temperaturas reduzem a eficiência das linhas e transformadores.
- Queimadas, descargas atmosféricas, rajadas de ventos e queda de árvores implicam em danos às estruturas do sistema de transmissão.



Estudo de Impactos das Mudanças Climáticas no Planejamento da Geração de Energia Elétrica



CONCLUSÕES

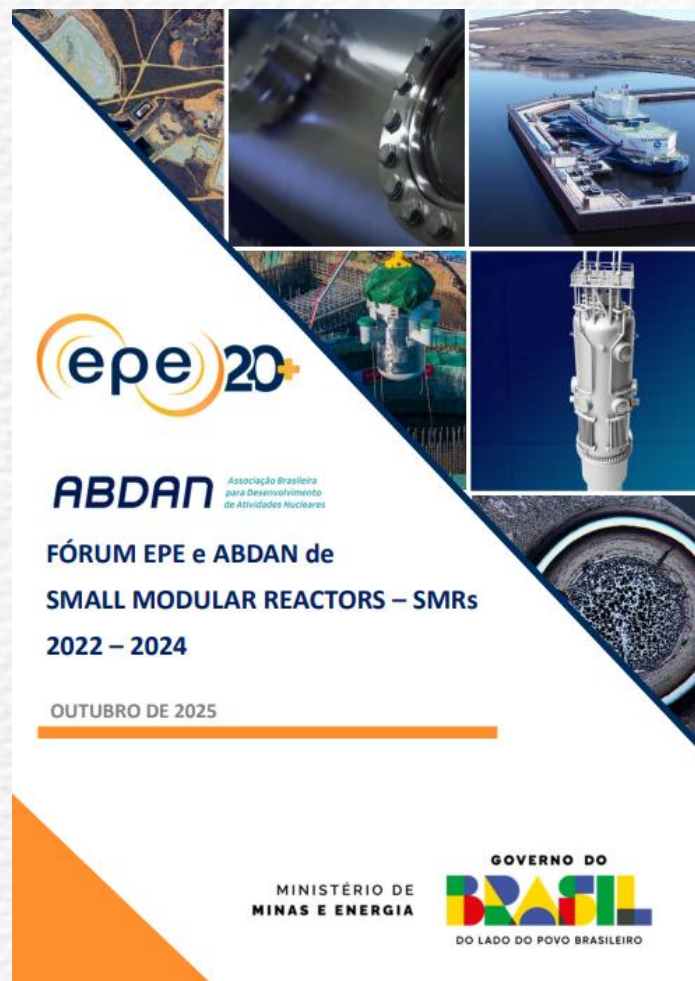
- 01 A avaliação da operação do caso de referência indica, no longo prazo, que planejar a expansão e a operação do sistema sem considerar os cenários de mudança climática pode resultar em aumento de custos operativos e violações de critérios de confiabilidade.
- 02 Antecipar os cenários de mudanças climáticas no cálculo da política operativa indica uma redução de até 13% dos custos de operação nessas condições, o que representa um efeito médio de redução de 7% nas tarifas. Nota-se, no entanto, que nestes cenários o critério de confiabilidade ainda ultrapassa o limite de 5% nas simulações realizadas.
- 03 Incorporar os cenários de mudanças climáticas na etapa de cálculo da expansão da geração do sistema garante um aumento de capacidade que permite que os critérios de suprimento sejam respeitados. Considerar as mudanças climáticas no planejamento da expansão não é um custo, mas um investimento que diminui impactos operativos e sociais maiores no futuro
- 04 A construção de um portfólio de geração com emissões neutras e que atenda aos critérios de suprimento pode requerer um investimento adicional expressivo para a implantação de 121 GW, com destaque para tecnologias de armazenamento. Apesar de ser um sistema com custo de operação reduzido, é observado um aumento de 70% dos custos totais (R\$ 144 bilhões), sob as condições do cenário base.

RECOMENDAÇÕES

- 01 Incorporar nos modelos de expansão e operação regimes climáticos distintos e suas transições, utilizar ferramentas analíticas apropriadas e aplicar índices de assertividade para priorizar modelos climáticos com maior aderência a dados históricos, reduzindo incertezas nas projeções.
- 02 Revisitar continuamente critérios de planejamento energético avaliando também sensibilidades e riscos associados às mudanças climáticas
- 03 Fazer refinamento constante dos dados de bacias hidrográficas disponíveis no país, aprimorando os resultados dos modelos setoriais e avaliando a competição pelo seu uso nos períodos de escassez.
- 04 Incorporar no modelo de expansão a opção de investir em recursos do lado da demanda como alternativa à construção de nova geração, avaliando o custo total do sistema.
- 05 Aumentar a resiliência da infraestrutura ao aprimorar novos mecanismos de remuneração de serviços como capacidade, flexibilidade e serviços ancilares.

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/estudo-de-impactos-das-mudancas-climaticas-no-planejamento-da-geracao-de-energia-eletrica>

Parceria EPE – ABDAN no Fórum de SMR



<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/forum-epe-e-abdan-de-small-modular-reactors-smrs-2022-2024>

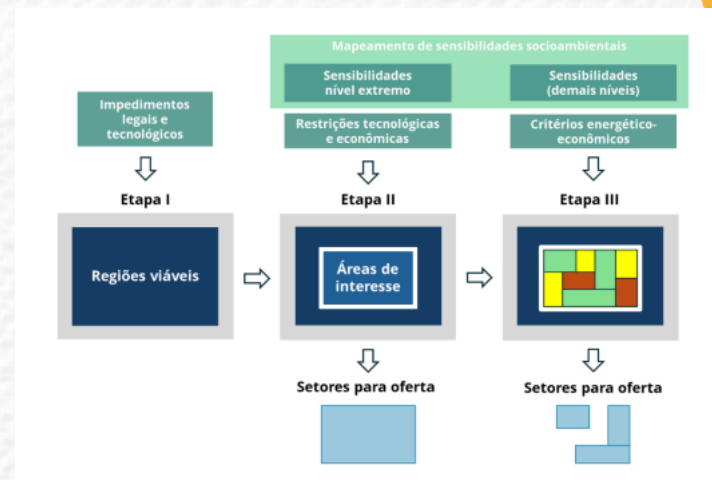
ABDAN



- Objetivo: aprofundar o conhecimento sobre a tecnologia dos SMRs e suas potencialidades;
- Reuniões **Plenárias** e Reuniões **Técnicas**: aspectos técnicos, operacionais, econômicos e modelos de negócios;
- Participação de **instituições nacionais e internacionais**.



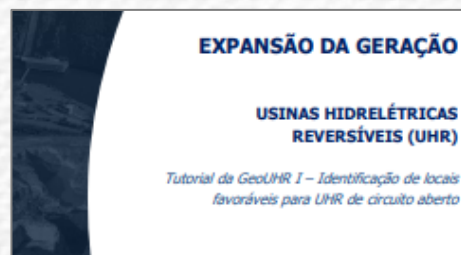
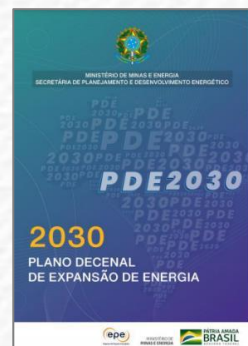
Estudos EPE – EOL Offshore



<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/eolica-offshore-consulta-publica-propoe-criterios-para-escolha-de-areas-de-geracao-eolica-offshore>



Estudos EPE - Armazenamento



Considerações Finais



- ✓ **Brasil: posição estratégica mundial, matriz renovável e limpa,** recursos naturais, posição geográfica, importante mercado consumidor, potencial. **Lider mundial na Transição/Transformação Energética.**
- ✓ **Mudanças à vista:** Oportunidades e desafios importantes com o papel do consumidor, novas tecnologias, novos modelos de negócio, inovação e digitalização.
- ✓ A importância do Planejamento Energético: **constante adaptação e aprimoramento** dos estudos, com segurança energética. **Papel indutor de formulação de políticas públicas.**
 - ✓ Importância dos estudos sobre Mudanças Climáticas e Resiliência dos sistemas energéticos, bem como de novas tecnologias e modelos de negócio
- ✓ Aproveitar as oportunidades para **o desenvolvimento socioeconômico,** em busca da **transição energética justa e inclusiva.**



Obrigado



www.epe.gov.br



Praça Pio X, 54 – Centro, Rio de Janeiro/RJ