

Cenários Energéticos

Plano Nacional de
Energia 2055



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO



FICHA TÉCNICA

(composição dos cargos em 20 de dezembro de 2024)



Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo

Arthur Cerqueira Valerio

Secretário de Energia Elétrica

Gentil Nogueira de Sá Junior

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Pietro Adamo Sampaio Mendes

Secretário de Transição Energética e Planejamento

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

www.mme.gov.br

Rio de Janeiro, 2025



Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Reinaldo da Cruz Garcia

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa

Carlos Eduardo Cabral Carvalho

www.epe.gov.br

EQUIPE TÉCNICA

EPE

Adriana Queiroz Ramos
Allex Yujhi Gomes Yukizaki
Aline Moreira Gomes
Ana Claudia Sant'Anna Pinto
Ana Cristina Braga Maia
Ana Dantas Mendez de Mattos
Angela Oliveira da Costa
Arnaldo dos Santos Junior
Arthur Cortez Pires de Campos
Arthur Mendonça Quinhones Siqueira
Bernardo Folly de Aguiar
Bianca Nunes de Oliveira
Bruno Rodamilans Lowe Stukart
Bruno Scola Lopes da Cunha
Caio Monteiro Leocadio
Camila de Araujo Ferraz
Carla Achão
Carolina Maria H. de G. A. Feijó Braga
Caroline Chantre Ramos
Cristiane Moutinho Coelho
Daniel Kuhner Coelho

Daniel Silva Moro
Dourival de Souza Carvalho Junior
Elisangela Medeiros de Almeida
Fernanda Marques Pereira Andreza
Filipe de Pádua Fernandes Silva
Filipe Soares da Cruz
Flavia Camargo de Araujo
Flávio Raposo de Almeida
Gabriel Konzen
Giovanna Carneiro Ronze Pedreira
Giovani Vitória Machado
Glauce Maria Lieggio Botelho
Glaucio Vinicius Ramalho Faria
Glaysson de Mello Muller
Gustavo Cerqueira Ataíde
Gustavo Daou Palladini
Gustavo Naciff de Andrade
Gustavo Pires da Ponte
Heloisa Borges Bastos Esteves
Henrique Plaudio G. Rangel
Hermani de Moraes Vieira

Juliana Rangel do Nascimento
Laura Cristina Daltro Cardoso
Letícia Gonçalves Lorentz
Lidiane de Almeida Modesto
Lucas Simões de Oliveira
Luciano B. Oliveira
Marcelo Costa Almeida
Marcelo Ferreira Alfradique
Marcos Ribeiro Conde
Marcos Vinicius G. da Silva Farinha
Mariana Império M. T. da Silva
Mariana R. de Carvalhaes Pinheiro
Mariana Weiss de Abreu
Marina Martins Klostermann
Matheus Richter Poggio de Carvalho
Nathalia Oliveira de Castro
Otto Hebeda
Pamella Elleng Rosa Sangy
Patricia Costa Gonzalez de Nunes
Patrícia Feitosa Bonfim Stelling
Paula Cunha Coutinho

Rachel Martins Henriques
Rafael Barros Araujo
Rafael Rigamonti
Reinaldo da Cruz Garcia
Renata de Azevedo Moreira da Silva
Renata Nogueira F. de Carvalho
Renato Haddad Simões Machado
Roney Nakano Vitorino
Simone Saviolo Rocha
Thais Pacheco Teixeira
Thiago Guilherme Ferreira Prado
Thiago Ivanoski Teixeira
Veronica S. M. Gomes
Vinicius Mesquita Rosenthal

EQUIPE TÉCNICA

MME

Aline Teixeira Eleutério Martins
André Grobério Lopes Perim
Antônio Fernando C. Pella
Christiany Salgado Faria
Clara Monteiro Marinho
Claudir Afonso Costa
Deivson Matos Timbó
Diogo Santos Baleeiro
Esdras Godinho Ramos
Fernando Massaharu Matsumoto
Flávia Souza Ramos dos Guaranys
Guilherme Silva de Godoi
Guilherme Zanetti Rosa
Gustavo Santos Masili
Isabela Sales Vieira
Karina Araújo Sousa
Laís Forti Thomaz
Leandro Pereira de Andrade
Liliane Ferreira da Silva
Lorena Mendes de Souza
Marco Antônio Juliatto

Maria Ceicilene Aragão Martins
Marlian Leão de Oliveira
Nelson Simão de Carvalho Júnior
Paulo Ricardo Mendes Valença
Pedro Henrique Milhomem Coutinho
Rafael Bastos da Silva
Rita Alves Silva
Rogério Alexandre Reginato
Rogério Guedes da Silva
Samira Sana Fernandes de Sousa Carmo
Sergio Rodrigues Ayrimoraes Soares
William de Oliveira Medeiros

Coordenação Geral

Thiago Guilherme Ferreira Prado (EPE)
Thiago Vasconcellos Barral Ferreira (MME)

Coordenação Executiva

Gustavo Naciff de Andrade (EPE)
Leandro Pereira de Andrade (MME)
Patricia Costa Gonzalez de Nunes (EPE)

Coordenação Técnica

Camila de Araujo Ferraz (EPE)
Filipe de Pádua Fernandes Silva (EPE)
Lidiane de Almeida Modesto (EPE)
Sergio Rodrigues Ayrimoraes Soares (MME)

ÍNDICE

Apresentação	6
1 Construção de cenários para o PNE 2055	
Conceito, visão geral do processo e seus diferenciais	7
2 Definição do escopo e análise retrospectiva	
Escopo e dimensões-chave	11
Análise retrospectiva e situacional	13
3 Condicionantes de futuro: tendências e incertezas	
Grandes tendências para o sistema energético	31
Incertezas para o sistema energético	39

4 Priorização das incertezas e desenvolvimento da lógica da cenarização	
Priorização das incertezas	42
Lógica dos cenários energéticos	47
5 Cenários energéticos para 2055	
C1: Transição pra todos	52
C2: Transição pra quem?	54
C3: Transição desperdiçada	56
C4: Transição pra quê?	58
C5: Transição bloqueada	60
Referências	62
Agradecimentos	67

APRESENTAÇÃO

A EPE tem entre suas principais atribuições o desenvolvimento de planos de médio e longo prazo para o setor energético nacional, como o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e o Plano Nacional de Energia (PNE).

Por meio de uma governança inovadora, que envolve dois grupos de trabalho – um dedicado à elaboração dos cenários energéticos de longo prazo (GT Cenários) e outro à coordenação da representação e otimização das cadeias energéticas no modelo energético integrado (GT Modelos) –, a EPE tem liderado o processo de elaboração do novo Plano Nacional de Energia 2055. O PNE 2055 será publicado em 2025, em conformidade com a periodicidade definida na Portaria MME n. 6, de 7 de janeiro de 2020.

O presente documento reúne os principais insumos produzidos entre março de 2023 e junho de 2024 no âmbito do GT Cenários, como parte da construção do PNE 2055. O processo participativo que tem sido conduzido pela EPE em colaboração com o Ministério de Minas e Energia (MME) representa uma abordagem inovadora no desenvolvimento de estudos de cenarização de longo prazo. A qualidade metodológica e a robustez dos resultados alcançados no processo refletem não apenas a criação de capacidade interna significativa, mas também o potencial de contribuição para outras importantes iniciativas em andamento, como o Plano Nacional de Transição Energética (PLANTE), do MME, e o Estratégia Brasil 2050, do Ministério do Planejamento e Orçamento (MPO).

Vale destacar que a construção de cenários futuros de forma qualitativa e colaborativa é um ponto de partida fundamental do PNE 2055, que, nos próximos passos, envolverá a quantificação desses cenários energéticos e a formulação da estratégia energética brasileira.

Desejamos a todos uma boa leitura!

O PROCESSO DO PNE 2055





1

Construção de cenários para o PNE 2055

Cenários não são projeções, mas sim histórias consistentes sobre o futuro e ferramentas práticas para apoio à decisão sob incerteza

Os sistemas energéticos, tanto no âmbito mundial quanto nacional, estão vivenciando transformações que exigem um acompanhamento constante e uma visão ampliada de longo prazo. Novos temas emergem, trazendo consigo uma série de incertezas – como as mudanças do clima, a transição energética, a evolução das inovações tecnológicas e as mudanças nos hábitos de consumo – o que aumenta a complexidade do ambiente externo. Este é o contexto no qual se define, ou se perde, o valor das políticas públicas, dos negócios e das organizações.

Esse ambiente repleto de incertezas torna desafiadora a elaboração de estratégias e o planejamento de longo prazo, especialmente para aqueles que acreditam que o futuro pode ser previsível. O primeiro passo para adotar uma abordagem mais eficaz é compreender que, por natureza, **o futuro é múltiplo e incerto**. Como afirmou Taleb (2018), “*só é possível prever o ordinário, mas não o inusitado*”. Essa mudança de mentalidade é essencial para a **adoção de uma abordagem prospectiva, que se configura como uma poderosa ferramenta de posicionamento estratégico**.

No entanto, essa mudança de mentalidade não é simples, pois implica, em última instância, em uma mudança de cultura nas práticas de análise de longo prazo. Embora não possamos controlar o ambiente externo nem prever o futuro com exatidão, podemos aprender a lidar com a incerteza, adotando uma postura proativa e aprimorando nossa capacidade de antecipação, o que, por sua vez, subsidia o processo de decisão.

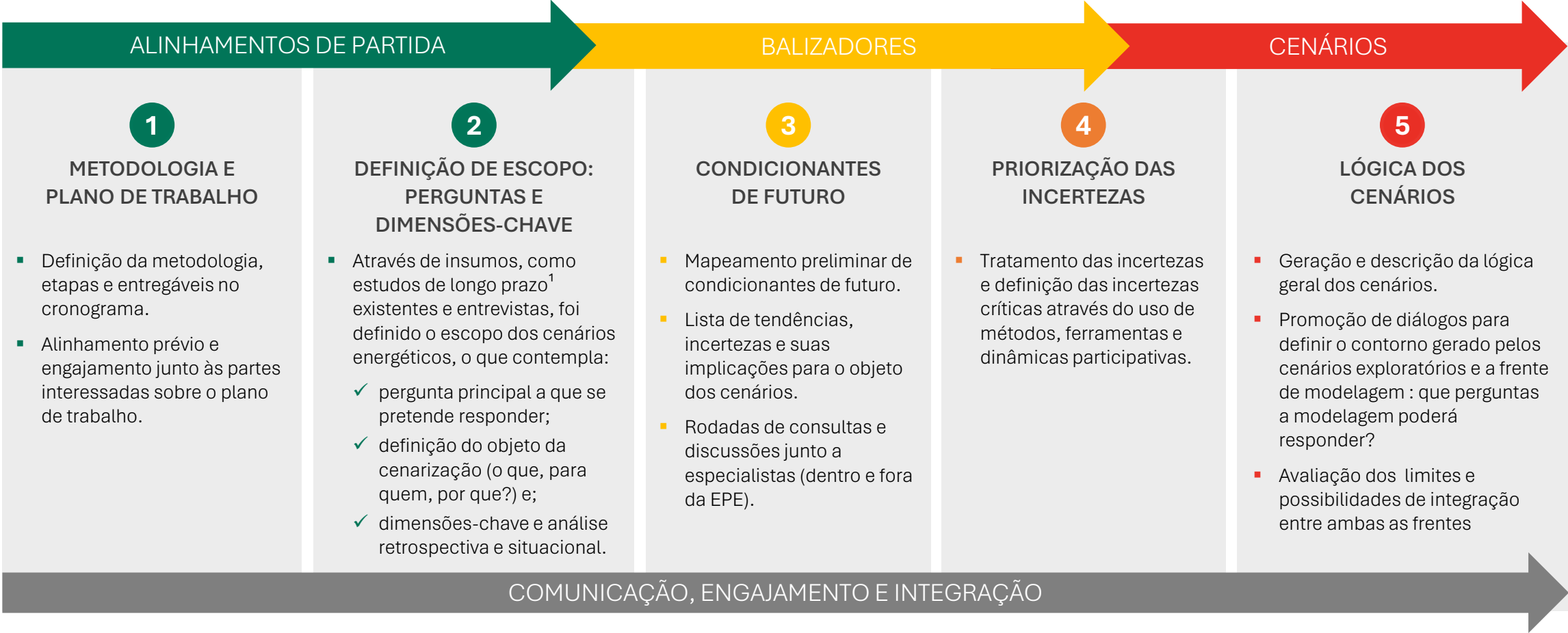
Para que isso ocorra, além da mudança de mentalidade, é necessário recorrer a abordagens de planejamento e gestão que permitam explorar as possibilidades de futuro e lidar de maneira eficaz com a incerteza. Nesse sentido, **a prospectiva e os métodos de construção de cenários se destacam como instrumentos valiosos, apoiando a compreensão desse ambiente complexo e facilitando o planejamento de longo prazo**. Esses métodos não apenas ajudam na criação de uma visão compartilhada do futuro entre os diversos agentes envolvidos, mas também contribuem para o alcance do futuro desejado, adotando uma abordagem sistêmica e não linear.

Algumas das perguntas que a cenarização nos ajuda a responder:

- Quais incertezas são críticas para o futuro (ou para os futuros possíveis)?
- Qual a viabilidade de determinado objetivo?
- Que flexibilidade temos na estratégia?
- Quais os possíveis arrependimentos?



Quais foram as etapas percorridas na construção de cenários para o PNE 2055?



¹ Os estudos de longo prazo consultados foram: BP (2023), CEBDS e PSR (2023), CEBRI, BID, EPE e CENERGIA (2023), DELOITTE (2020), EIA (2023), EPE (2007), EPE (2020), EPRI e GTI Energy (2023), IEA (2022), IRENA (2022), IRENA (2023a), IRENA (2023b), NREL (2022), Shell (2023) e Statkraft (2022).

... e os principais diferenciais deste processo?



- **Governança institucional**, com a criação de grupo de trabalho (GT Cenários) formado por integrantes da EPE e do MME, dedicado à construção dos cenários energéticos de longo prazo.
- **Processo constante de comunicação, participação e engajamento** durante todas as fases de desenvolvimento dos cenários: Diretoria Executiva da EPE, MME, Conselho Consultivo da EPE (Concepe), Comitê Executivo do PNE 2055 e grupo de trabalho de modelagem do PNE 2055 (GT Modelos).
- Combinação de **metodologias de construção de cenários²** com a **aplicação de técnicas de facilitação**, como as Estruturas Libertadoras. Essa metodologia ajuda a fomentar maior participação, inovação e efetividade nas reuniões.
- Consultas aos colaboradores da EPE e do MME por meio de **ferramentas digitais**, como formulários e plataformas interativas, além de **entrevistas com lideranças** da EPE e do MME.
- De forma descentralizada, planejamento e implementação de **oficinas internas sobre incertezas críticas do setor energético** e debates sobre cadeias relevantes para a transição energética, com participação de especialistas internos e externos.

² Desde 2018, foram realizados três ciclos de capacitação em metodologias de construção de cenários destinados aos colaboradores da EPE.



2

Definição do escopo e análise retrospectiva

Alinhamentos de partida: escopo geral e principais dimensões

QUADRO SÍNTESE DA CENARIZAÇÃO



Objeto e local
Sistema energético no Brasil



Horizonte temporal
2055



Objetivo
Traçar trajetórias para um sistema energético descarbonizado como vetor de desenvolvimento sustentável



Pergunta-chave
Quais desafios e oportunidades para a construção de um sistema energético descarbonizado que contribua para o desenvolvimento sustentável?



Público-alvo
MME e sociedade em geral

DIMENSÕES-CHAVE DOS CENÁRIOS ENERGÉTICOS



Geopolítica da Energia



Inovação



Desenvolvimento Sustentável



Demanda de Energia e Papel do Consumidor



Resiliência e Segurança Energética



Políticas Públicas, Governança e Financiamento para a Transição Energética



Antes de pensar sobre o futuro, é preciso olhar para o passado e para o presente e refletir sobre os nossos principais desafios ...

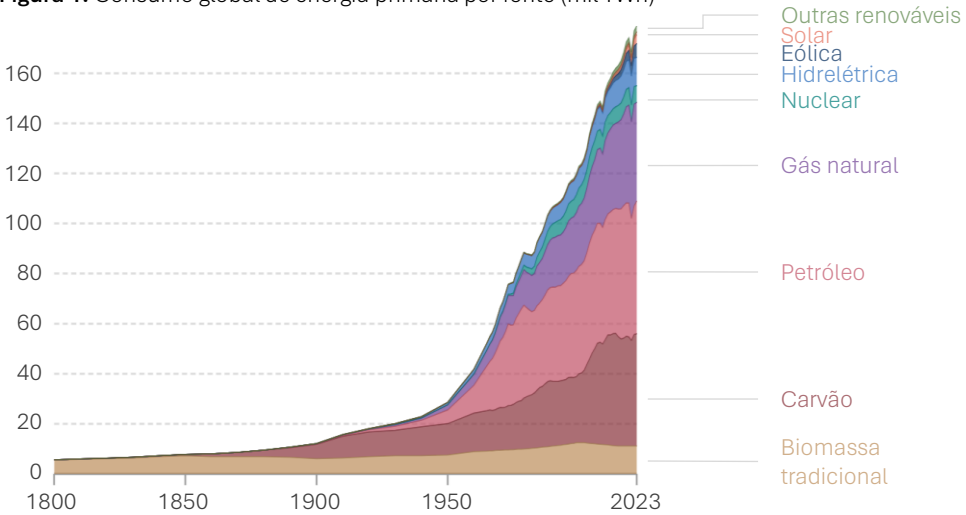
A história mostra que as transições energéticas não são uma virada de chave ...

Ao longo da história, **as transições energéticas têm sido processos graduais e complexos**, em vez de mudanças abruptas ou "viradas de chave".

Os processos de substituição de uma fonte de energia primária dominante por outra ocorreram ao longo de décadas, refletindo não apenas o desenvolvimento de novas tecnologias, como também fatores econômicos, sociais e políticos.

A transição do consumo energético predominante de biomassa tradicional para o carvão no século XIX e, posteriormente, do carvão para o petróleo no século XX, não refletiram necessariamente em redução absoluta das fontes de energia substituídas.

Figura 1: Consumo global de energia primária por fonte (mil TWh)



Fonte: Adaptado de Energy Institute (2024) e Smil (2017).

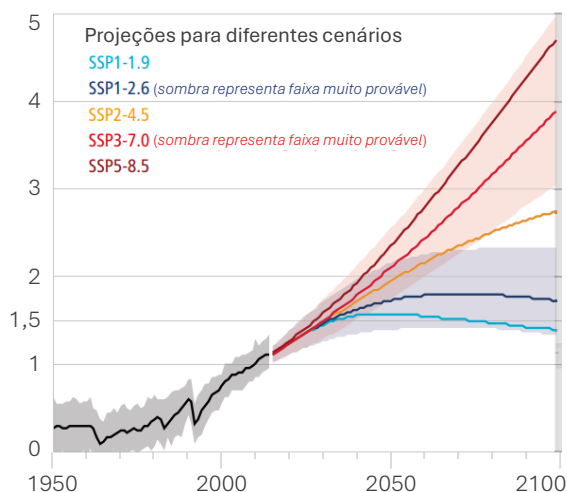


... mas a emergência climática e seus impactos impõem a necessidade de aceleração do atual processo de transição energética

A emergência climática evidencia a urgência de acelerar o processo atual de transição global em direção a fontes de energia mais sustentáveis, de menor emissão de carbono.

O aumento da temperatura média global, a intensificação de eventos climáticos extremos e a pressão sobre os ecossistemas impõem uma nova dinâmica, reforçando a necessidade de reduzir rapidamente as emissões de gases de efeito estufa, o que exige um esforço coordenado de governos, empresas e sociedade civil. **O desafio reside em equilibrar essa necessidade urgente com as realidades econômicas e sociais de cada região.**

Figura 2: Variação da temperatura da superfície global em relação a 1850-1900 (°C)



Fonte: Adaptado de IPCC (2022).



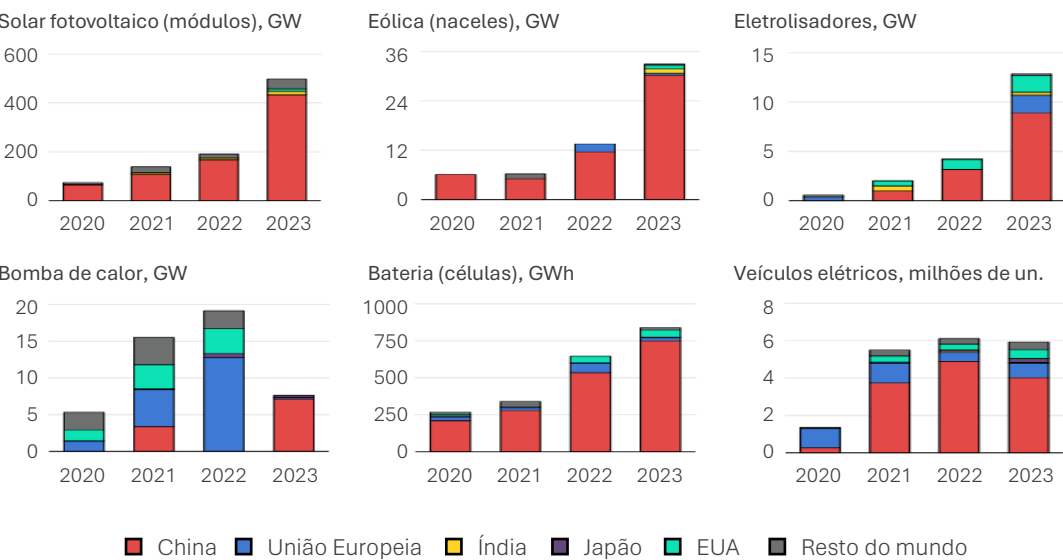
O aspecto social da transição energética em países emergentes é especialmente desafiador, dado que milhões de pessoas ainda dependem de fontes tradicionais de energia para atender suas necessidades básicas. Isto, porque, uma parte significativa da população mundial não tem as suas necessidades básicas atendidas, refletindo uma situação de pobreza energética e forte demanda reprimida.

Portanto, **a transição global para economias de baixo carbono precisa considerar a inclusão social e o combate à pobreza energética**, garantindo acesso a fontes mais modernas, sustentáveis e acessíveis.

... trazendo novos contornos para a geopolítica da energia

A aceleração da transição energética também está remodelando a geopolítica da energia, deslocando o eixo de poder de países produtores de petróleo e gás natural para novos *players* que detêm disponibilidade de recursos e domínio tecnológico nas cadeias de valor de energias de baixo carbono. A China, por exemplo, desempenha papel central nesse contexto, com sua dominância na cadeia de suprimentos das energias solar e eólica, de baterias e eletrolisadores, e de minerais estratégicos.

Figura 3: Adições de capacidades produtivas para tecnologias de baixo carbono selecionadas por país/região – 2020 a 2023

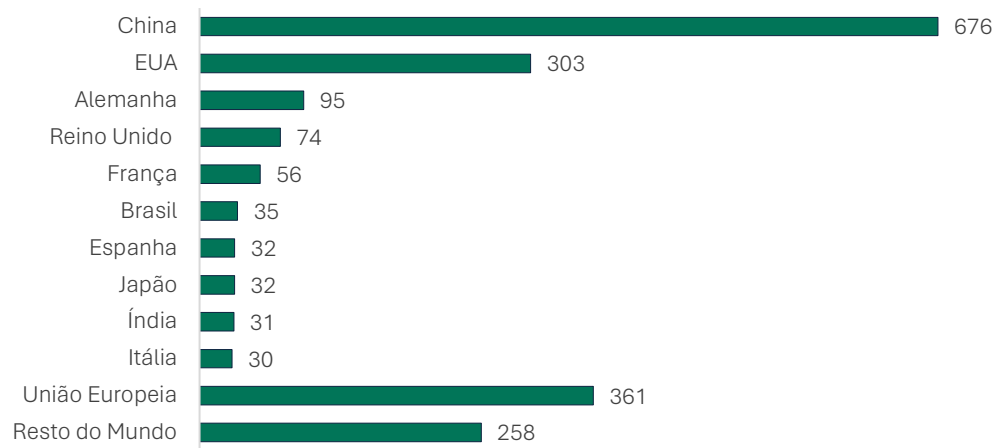


... isso tudo em um contexto de mudanças na conjuntura política e econômica global

Nesse contexto, **grandes potências estão adotando políticas transformacionais para acelerar esse processo de transição energética**. Os Estados Unidos lançaram o **Inflation Reduction Act (IRA)**, que incentiva investimentos em tecnologias limpas. Na Europa, o **RePowerEU** reforça a independência energética e o avanço das renováveis, enquanto a China promove sua transição com metas ambiciosas para descarbonização em seus Planos Quinquenais.

Esses esforços refletem a competição global por liderança em tecnologias de baixo carbono, ao mesmo tempo que lidam com os desafios de transição econômica e política em um contexto de emergência climática crescente.

Figura 4: Economias com maiores investimentos em transição energética em 2023 (US\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria a partir de BloombergNEF (2024).





E como o Brasil está posicionado neste contexto?

São inúmeras as nossas vantagens comparativas em termos de disponibilidade de recursos energéticos e minerais e do perfil da nossa matriz energética ...

O Brasil é amplamente reconhecido como uma das maiores potências energéticas globais, tendo disponibilidade abundante de recursos energéticos e minerais. Além disso, o País possui grande disponibilidade de recursos naturais, como recursos hídricos, florestais e a maior biodiversidade do planeta.

O País detém a maior disponibilidade hídrica do mundo e é o segundo maior produtor de energia hidrelétrica (Energy Institute, 2024), com recursos que sustentam uma matriz energética predominantemente renovável. Além disso, o Brasil conta com a sétima maior capacidade instalada de energia eólica (Energy Institute, 2024), com enorme potencial *onshore* e *offshore* ainda inexplorado e de alta qualidade. A energia solar, a fonte que mais cresce no País, é impulsionada pela excelente irradiação que cobre o território, oferecendo um elevado potencial técnico para a geração fotovoltaica.

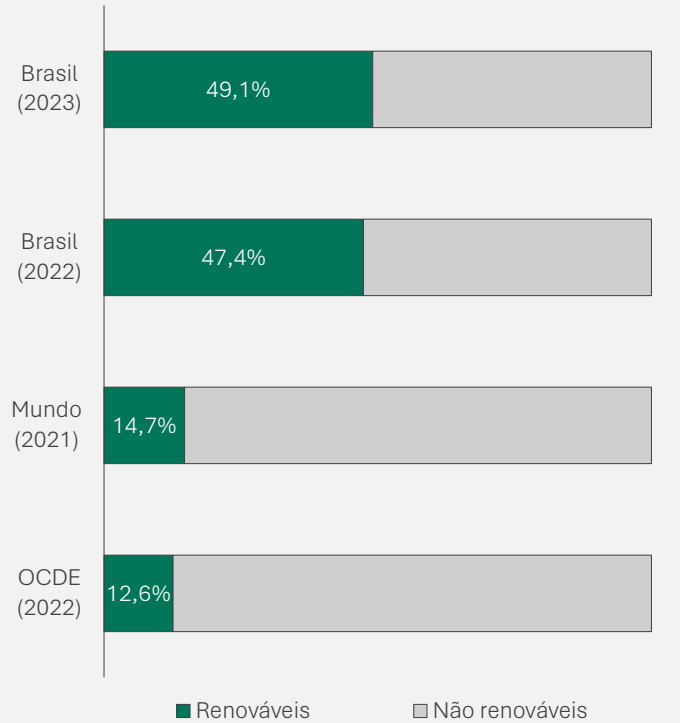
No campo da bioenergia, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de biocombustíveis líquidos, sendo o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar e o terceiro maior produtor de biodiesel (Energy Institute, 2024). O País também possui potencial para expandir a produção de biogás e biometano, bem como de biocombustíveis avançados.

No setor de óleo & gás, o Brasil ocupa atualmente a oitava posição entre os maiores produtores de petróleo (Energy Institute, 2024), com perspectivas de se tornar um dos cinco maiores produtores e exportadores do mundo nos próximos anos (EPE, 2024b). O desenvolvimento do pré-sal tem sido um fator chave para esse avanço, consolidando o País como um importante *player* no mercado global de petróleo.

O Brasil também é reconhecidamente um líder produtor e exportador no mercado global de *commodities* minerais, em especial de minerais metálicos, destacando-se pela produção de minério de ferro, cobre, ouro, alumínio e nióbio. Além disso, possui a oitava maior reserva de urânio (SGB, 2024), a segunda maior reserva de terras raras e a terceira maior reserva de níquel (USGS, 2024).

O elevado potencial de energias renováveis tem garantido ao Brasil uma matriz energética com alto grau de renovabilidade, com cerca de 50% de participação de energias de baixo carbono, em comparação com uma a média mundial de cerca de 15%, conforme exibido na Figura 5. Entre os países do G20, o Brasil possui a matriz energética mais renovável (IEA, 2024b), consolidando seu papel de liderança nesse aspecto.

Figura 5: Renovabilidade da matriz energética brasileira, mundial e dos países da OCDE



Fonte: EPE (2024a).

... que contribuem com a segurança do sistema. Mesmo assim é necessário aumentar sua resiliência frente às ameaças climáticas

Nas últimas décadas, o Brasil tem avançado na sua autossuficiência em energia, reduzindo paulatinamente a dependência externa, conforme Figura 6. Essa conjuntura combinou-se com uma **diversificação cada vez maior da matriz energética** (Figura 7) – com a inserção acelerada de fontes renováveis como eólica, solar e bioenergia, aliada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) mais robusto, conectando diferentes regiões do País e permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos energéticos.

Essa **diversidade energética e a interconexão do sistema aumentam a flexibilidade e a capacidade de resposta** diante de eventuais crises ou flutuações na oferta de energia. Tais fatores conferem ao Brasil uma base sólida para enfrentar desafios futuros, especialmente em um cenário de transição energética global. Ainda assim, o aumento da intensidade de eventos extremos nos últimos anos exige ações adicionais para ampliar ainda mais a resiliência do sistema energético frente às ameaças climáticas.

Em adição, o Brasil enfrenta uma crescente demanda por energia, impulsionada tanto pelo crescimento demográfico e pela urbanização quanto pela necessidade de melhoria ao acesso a serviços essenciais para toda a população.

À medida que mais brasileiros buscam uma melhor qualidade de vida e acesso a bens e serviços, as necessidades energéticas se expandem em setores como o transporte, o uso residencial e o setor industrial. Esse aumento da demanda reforça a importância das vantagens comparativas do Brasil, como a abundância de fontes renováveis, para suprir essas necessidades de forma sustentável e inclusiva.

No entanto, **atender a essa demanda de maneira sustentável requer investimentos robustos e políticas que incentivem tanto a expansão da infraestrutura energética quanto a eficiência e acessibilidade**, de modo a integrar camadas mais vulneráveis da sociedade e reduzir a pobreza energética. Esses fatores são essenciais para que o Brasil mantenha a segurança do sistema, promova inclusão e assegure uma **transição energética socialmente justa**.

Figura 6: Dependência externa de energia do Brasil (%)

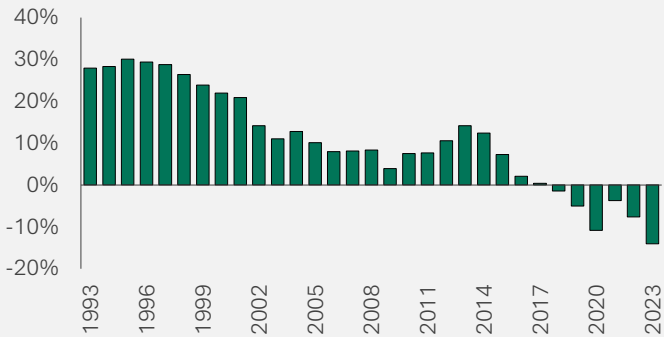
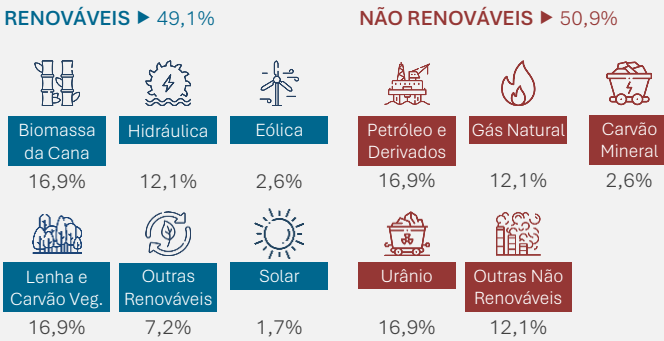


Figura 7: Matriz energética brasileira em 2023



Fonte: EPE (2024a).



Como o sistema energético poderá ser vetor para o desenvolvimento sustentável e como fazer uma transição justa no Brasil?

E quando olhamos para o desenvolvimento sustentável, qual o real ponto de partida do Brasil?

De forma a avaliar como o Brasil está avançando em termos de desenvolvimento sustentável, é importante monitorar os avanços observados em termos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A Figura 9, mostra que o País vem atingindo a maior parte das metas referentes ao ODS 7 – Energia Limpa e Acessível – com crescimento da energia renovável e melhoria do acesso à eletricidade.

Por outro lado, grande parte dos ODS ainda enfrentam desafios para serem alcançados em 2030. Sendo assim, **o sistema energético pode atuar como um catalisador para o desenvolvimento sustentável, impulsionando os demais ODS.**

Figura 8: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2024).

Figura 9: Monitoramento do ODS 7 no Brasil

7 ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL	Meta	Indicadores globais	Evolução dos indicadores	Avaliação das metas
	7.1 – Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.	7.1.1 – Percentagem da população com acesso à eletricidade.	✓	✓🎯
		7.1.2 – Percentagem da população com acesso primário a combustíveis e tecnologias limpas.	✓	
	7.2 – Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.	7.2.1- Participação das energias renováveis na OIE.	✓	✓🎯
	7.3 – Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética da economia brasileira.	7.3.1- Intensidade energética medida em termos de energia primária e de PIB.	✓	✓🎯
	7.a – Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.	7.a.1 – Fluxos financeiros internacionais para países em desenvolvimento para apoio à pesquisa e desenvolvimento de energias limpas e à produção de energia renovável, incluindo sistemas híbridos.	✗	✗
	7.b – Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.	7.b.1 – Investimentos em eficiência energética, em percentagem do PIB, e montante de investimento direto estrangeiro em transferências financeiras para infraestruturas e tecnologias para serviços de desenvolvimento sustentável.	✓	✓
✓ Evolução positiva ✗ Evolução negativa ⚪ Sem evolução ☼ Impactado pela covid-19 🎯 Meta global atingida ✗ Sem indicadores ou série curta ou irregular				

Fonte: IPEA (2024).

E quando olhamos para o desenvolvimento sustentável, qual o real ponto de partida do Brasil?

Nesse contexto, ao analisar o ponto de partida do Brasil para um desenvolvimento sustentável, as dimensões ambiental, econômica e social revelam tanto desafios quanto oportunidades.

Ótica ambiental

As emissões brasileiras de gases de efeito estufa (GEE) diferem da média global, uma vez que o setor energético responde por uma parcela menor das emissões totais. **No Brasil, a maior parte das emissões está relacionada ao uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (a qual inclui o desmatamento) e à agropecuária**, conforme exibido na Figura 10.

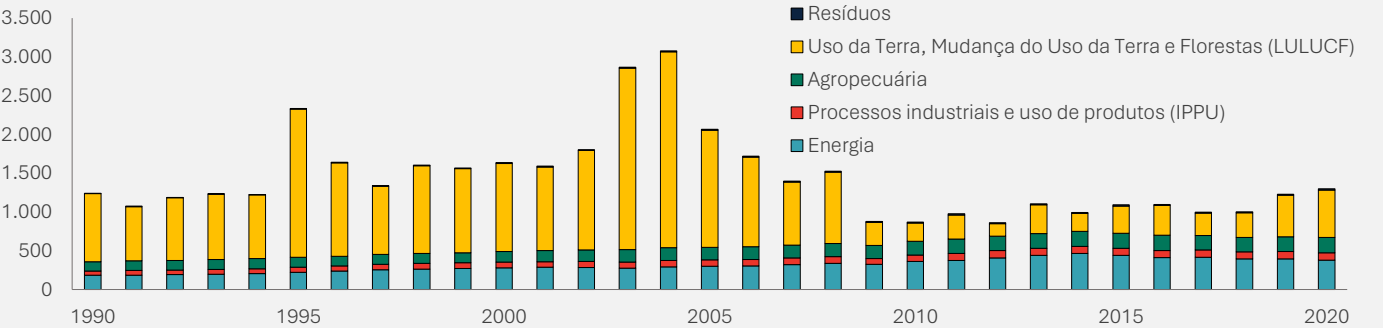
O aumento do desmatamento ilegal, em particular, tem impulsionado o crescimento das emissões nacionais, o que compromete as metas de redução de GEE e ressalta a necessidade de políticas efetivas para a proteção ambiental.

Ótica econômica

Sob a perspectiva econômica, **o País enfrentou um período recente de baixo crescimento econômico, além de registrar uma produtividade total dos fatores praticamente estagnada há algumas décadas**, como ilustrado pela Figura 11, com perda de conteúdo tecnológico da pauta exportadora e produtiva.

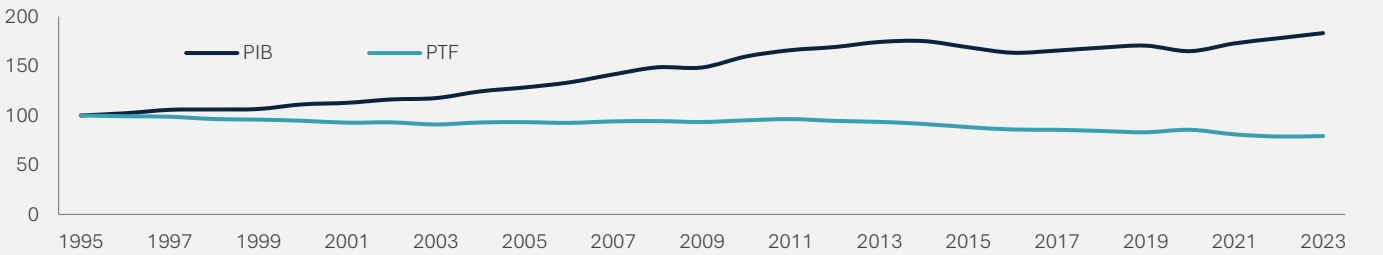
Essa conjuntura, de alguma forma, pode limitar a capacidade de investimento em infraestrutura energética moderna e sustentável.

Figura 10: Emissões brasileiras de gases de efeito estufa por setor (milhões de toneladas de CO₂ equivalente)



Fonte: Elaboração própria a partir de MCTI (2024).

Figura 11: Evolução do PIB e da produtividade total dos fatores nos últimos anos (1995=100)



Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2024) e FGV (2024).

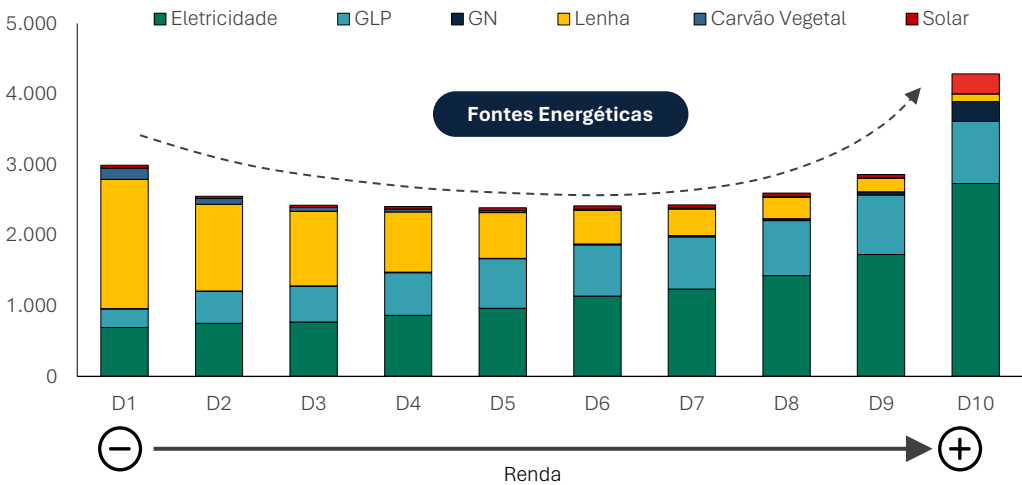
E quando olhamos para o desenvolvimento sustentável, qual o real ponto de partida do Brasil?

Ótica social

No campo social, o Brasil apresenta elevados níveis de pobreza e desigualdade de renda, refletidos também no setor energético. Apesar da recente queda, cerca de 3,5% da população vive abaixo da linha de pobreza extrema, segundo o Banco Mundial.

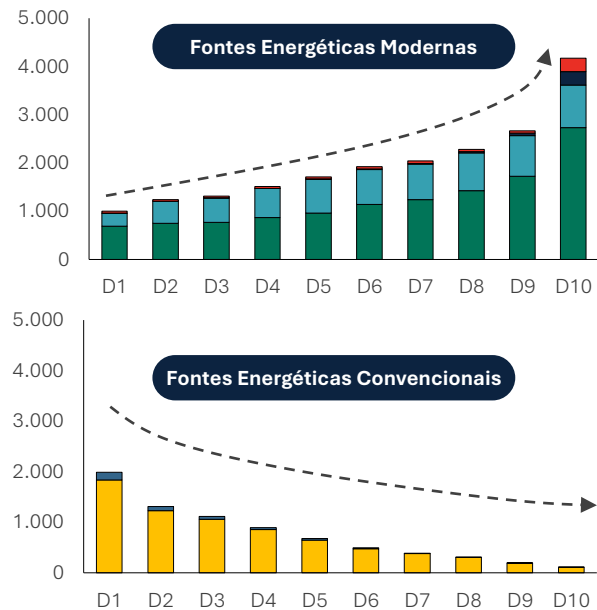
O País apresenta **desafios significativos para reduzir a desigualdade de acesso à energia e melhorar a eficiência energética, especialmente entre populações de baixa renda**. A participação significativa da lenha no consumo residencial, sobretudo nas famílias com menor poder aquisitivo, evidencia o problema da pobreza energética, indicando que muitas famílias ainda não têm acesso adequado a fontes modernas de energia (Figura 12). Esses fatores ressaltam a necessidade de políticas públicas robustas que impulsionem o desenvolvimento sustentável, ao mesmo tempo em que garantam inclusão e equidade social.

Figura 12: Consumo total de energia por fontes e classes de renda no Brasil em 2019 – mil tep



Fonte: EPE (2023).

Nota: Todas as classes de 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 significa a classe de renda mais alta.



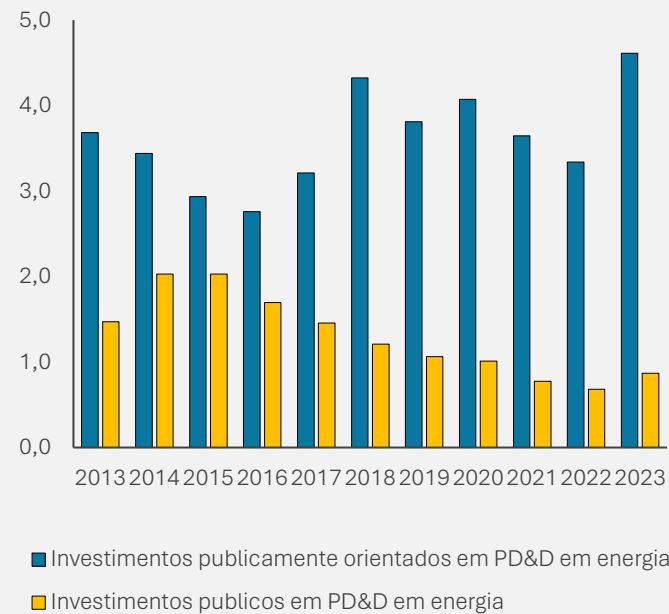
Perguntas difíceis de responder, mas as respostas passam necessariamente por inovação ...

A inovação desempenha um papel crucial no desenvolvimento de tecnologias emergentes e de soluções de baixa emissão de carbono. Segundo IEA (2023), grande parte dessas tecnologias ainda estão em fase inicial de maturidade e de desenvolvimento, de modo que a aceleração dos investimentos em inovação é premente.

Todavia, no caso brasileiro, os investimentos públicos e publicamente orientados em pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D) no setor de energia mostram um cenário desafiador. Segundo a plataforma Inova-e (EPE, 2024c), os investimentos públicos em PD&D em energia chegaram a totalizar R\$ 2,0 bilhões em 2014, e após sucessivas quedas totalizou R\$ 683 milhões em 2022, movimento que começa a ser revertido a partir de 2023. Já os investimentos publicamente orientados mostram maior resiliência ao longo dos anos, chegando a totalizar R\$ 4,6 bilhões em 2023 (Figura 13).

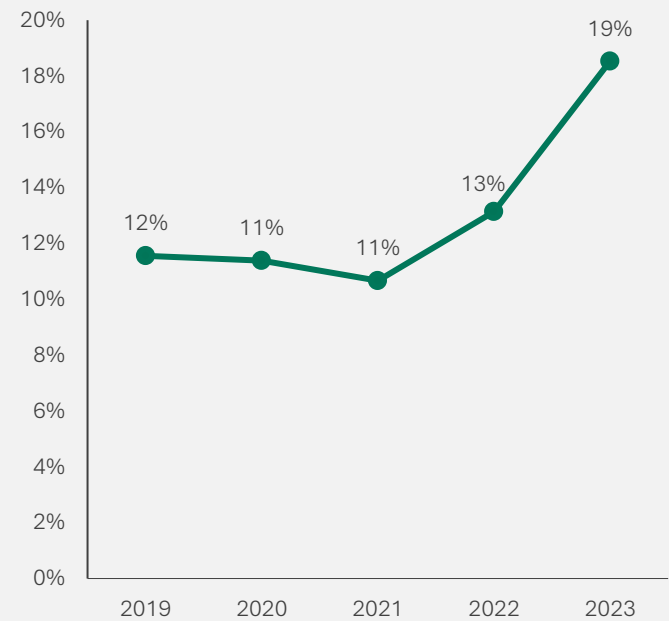
Grande parte desses recursos são derivados de obrigações legais e regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) em seus programas de pesquisa e desenvolvimento (P&D). No âmbito do programa da ANP, tem-se observado nos últimos anos uma diversificação de portfólio dos investimentos do setor de óleo e gás na direção de tecnologias alinhadas à transição energética, como renováveis, hidrogênio e células a combustível, eficiência energética e outras tecnologias transversais (Figura 14).

Figura 13: Investimentos públicos e publicamente orientados em PD&D em energia mapeados pela Inova-e (R\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2024c).

Figura 14: Participação dos investimentos em PD&D de tecnologias não fósseis no âmbito do programa da ANP (% total)



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2024c).

... além de instrumentos para financiar a transição justa ...

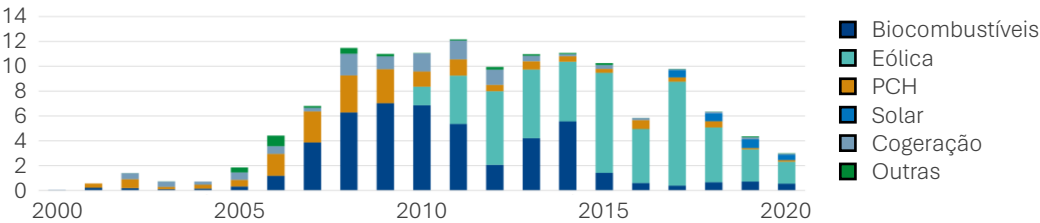
A Agência Internacional de Energia (IEA, 2023) estima a necessidade de triplicar os investimentos em energias limpas até 2030 para atingir a neutralidade líquida de carbono até 2050. Cerca de 55% destes investimentos deverão acontecer nos países emergentes e em desenvolvimento, como o Brasil, demandando a mobilização de instrumentos financeiros e regulatórios.

Outro pilar essencial para a transição energética justa e inclusiva é o financiamento. Nesse sentido, o Brasil tem adotado diversos instrumentos financeiros e regulatórios para financiar a transição energética e promover o desenvolvimento sustentável.

Os fundos climáticos e títulos verdes têm sido essenciais, enquanto a precificação de carbono e a taxonomia sustentável brasileira (TSB) ajudarão a alinhar investimentos com metas climáticas. O BNDES tem retomado recentemente seus investimentos em energias renováveis, enquanto o volume de debêntures incentivadas em infraestrutura no setor de energia tem crescido, refletindo um ambiente mais propício para financiar iniciativas que visam a transição para uma economia de baixo carbono.

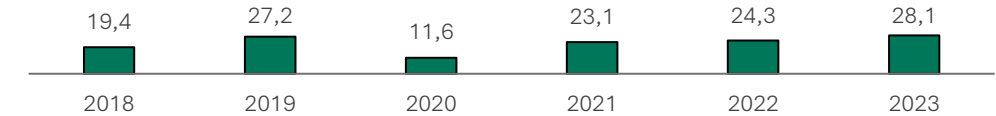


Figura 15: Desembolsos do BNDES para energias renováveis (R\$ bilhões)



Fonte: Adaptado de BNDES (2021).

Figura 16: Volume de debêntures incentivadas de infraestrutura em energia (R\$ bilhões)



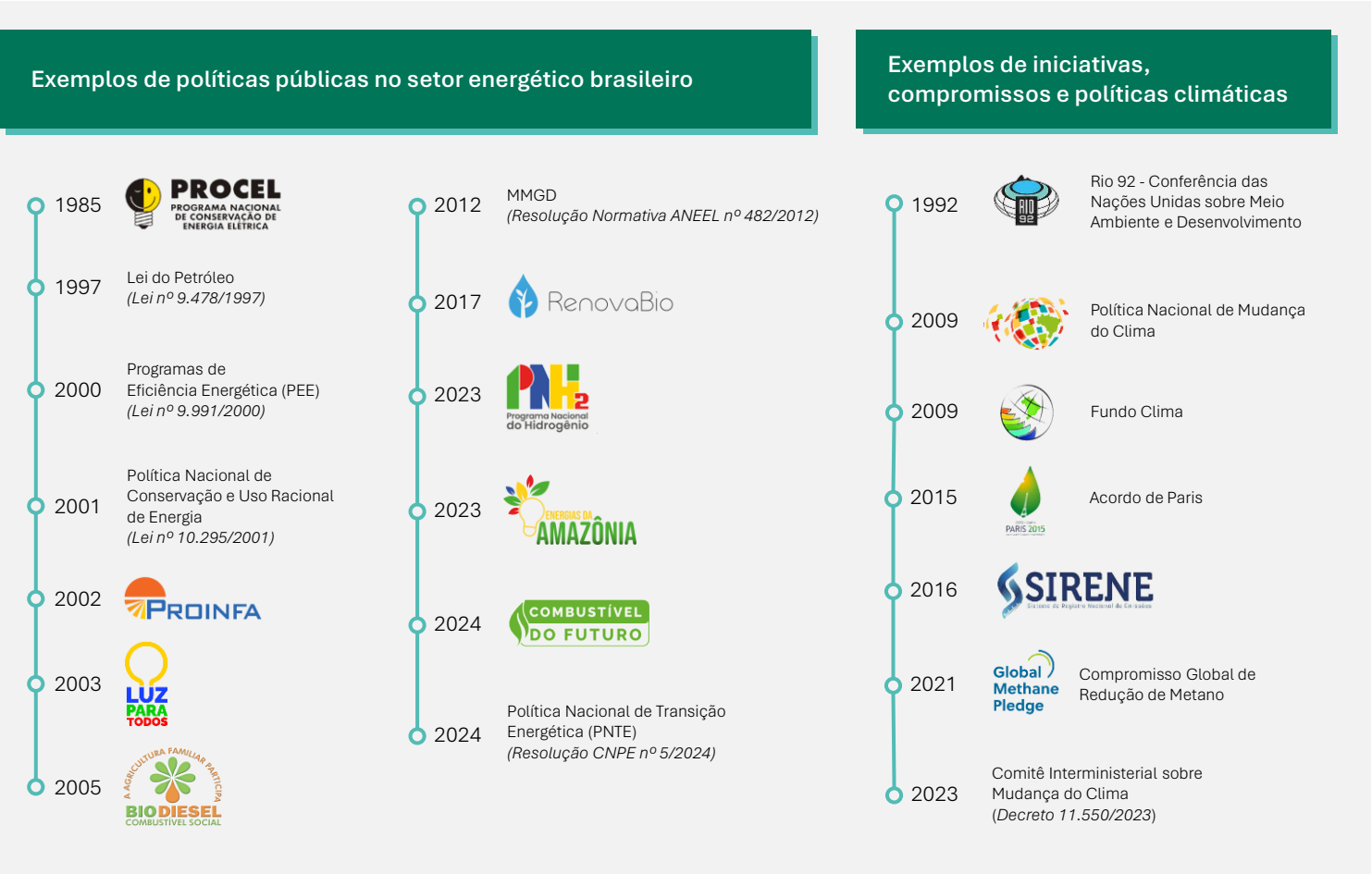
Fonte: Elaboração própria a partir de ANBIMA (2024).

... e políticas públicas integradas

No que tange às políticas públicas, o Brasil desenvolveu instituições sólidas no setor energético, especialmente a partir dos anos 1990 com a reestruturação institucional. A criação de órgãos como a ANEEL, a ANP, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) marcou um período de transformações significativas, em que o País aprimorou a governança e a regulação do setor energético.

A partir dessa estrutura institucional sólida, diversas políticas públicas foram implementadas com sucesso no setor energético brasileiro nas últimas décadas, sendo instrumentos decisivos para fomentar a segurança energética, a expansão da infraestrutura e a diversificação da matriz, como, por exemplo, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o Programa Luz para Todos e a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).

No âmbito climático, o Brasil tem se engajado em iniciativas globais desde a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992 (Rio 92), passando pelo Acordo de Paris, até a criação de políticas nacionais como a Política Nacional de Mudança do Clima e de fundos como o Fundo Clima e o Fundo Amazônia.



Em torno da agenda prioritária e transversal que é a transição brasileira para uma economia de baixo carbono

A agenda brasileira de transição para uma economia de baixo carbono integra diversas iniciativas prioritárias e transversais que visam promover o desenvolvimento sustentável em várias frentes. A Política Nacional de Transição Energética (PNTE) e o Plano de Transformação Ecológica exemplificam essa abordagem, trazendo diretrizes para reduzir a intensidade de carbono em setores estratégicos e promover o adensamento produtivo e tecnológico em cadeias relevantes para a transição energética.

Em paralelo, o Brasil revisou recentemente a sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), assumindo um compromisso mais ambicioso em relação à redução de emissões de GEE. O programa Energias da Amazônia é outra ação essencial, que visa integrar a Região Amazônica ao sistema energético nacional de maneira sustentável, por meio de energias renováveis, reduzindo a dependência aos fósseis. A Lei do Combustível do Futuro também representa um marco para o setor energético nacional, trazendo uma série de iniciativas para promover a mobilidade sustentável de baixo carbono. Essas ações, quando integradas, formam uma base sólida para que o **Brasil consolide a sua posição como líder da transição energética global**, preservando seus recursos naturais, ampliando a segurança energética e promovendo a inclusão social, elementos fundamentais para que essa transformação seja justa e inclusiva.

Plano unifica ações de Estado para política energética mais verde e inclusiva

Com a presença de Lula, conselho aprova Política Nacional de Transição Energética, que vai integrar todas as ações do Governo Federal, com potencial de R\$ 2 trilhões em investimentos

NOVO PAC

DESENVOLVIMENTO E SUSTENTABILIDADE

BNDES, Finep e MCTI lançam maior programa de inovação do país com apoio de R\$ 60 bi e novas taxas

NOVA INDÚSTRIA BRASIL

FORTE, TRANSFORMADORA E SUSTENTÁVEL

Taxonomia Sustentável Brasileira

NOVO BRASIL

PLANO DE TRANSFORMAÇÃO ECOLÓGICA

UMA NOVA ECONOMIA. UM NOVO FUTURO.

PLANO CLIMA

Presidente Lula sanciona Lei do Combustível do Futuro para promover a mobilidade sustentável

Norma estabelece a criação de programas nacionais de diesel verde, de combustível sustentável para aviação e de biometano, entre outras medidas

Brasil entrega à ONU nova NDC alinhada ao Acordo de Paris

Documento determina meta de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa do país entre 59% e 67% até 2035

BNDES busca projetos para financiar transição energética

Banco tem intenção de aprovar créditos de R\$ 52 bi este ano, com maior parte dos recursos voltados para energia limpa

Transmissão de energia terá R\$ 89 bilhões em investimentos no novo PAC

Novas linhas passarão por 15 estados e trarão mais qualidade e segurança para os consumidores

Presidente Lula sanciona lei que cria mercado regulado de carbono no Brasil

Nova lei institui sistema de bonificação para empresas ou estados que reduzirem a emissão de gás carbônico na atmosfera

Novo Fundo Clima cresce e tem R\$ 10,4 bilhões com novas condições para projetos verdes

LUZ PARA TODOS VOLTOU!

Fontes: Agência Gov (2024), BNDES (2023), BNDES (2024), Brasil (2023a), Brasil (2023b), Brasil (2024a), Brasil (2024b), Brasil (2024c), MDIC (2024), Ministério da Fazenda (2023), Ministério da Fazenda (2024) e Valor Econômico (2023).



3

Condicionantes de futuro: tendências e incertezas

Condicionantes de futuro: tendências e incertezas

O futuro é múltiplo, incerto e muda a todo instante. Explorá-lo através da construção de **cenários prospectivos** requer uma etapa importante que é o mapeamento de fatores que tem influência relevante na evolução futura do objeto de cenarização, os chamados **condicionantes de futuro**.

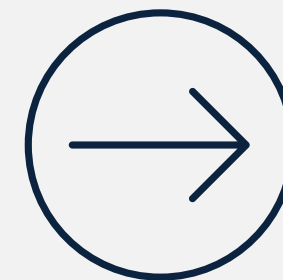
Alguns destes fatores são forças que existem hoje e que estarão presentes no futuro, com direção bastante previsível e suficientemente consolidada, as chamadas **tendências**. Apesar de sua magnitude e capacidade de influência, as tendências não são elementos constitutivos da lógica dos cenários, mas atuam como um pano de fundo comum dos futuros possíveis.

As **incertezas**, por outro lado, são fenômenos com baixa previsibilidade e elevado impacto em relação ao objeto de cenarização. Por esta razão, as hipóteses sobre seus estados futuros são elementos balizadores importantes da construção da lógica dos cenários e da criação de diferentes possibilidades de futuro.

As mudanças climáticas, as transformações na geopolítica da energia e a necessidade crescente de uma transição energética justa e inclusiva são exemplos de mudanças que além de exigirem respostas imediatas do País, apresentam claros efeitos sobre a transição energética brasileira. Boa parte das mudanças é permeada por elevado grau de incerteza, mas há fenômenos cujos desdobramentos futuros podem ser vislumbrados com certo grau de previsibilidade.

O que é certo ou quase certo: Tendências

Fenômenos cuja direção é bastante visível e suficientemente consolidada (movimento com direção bastante previsível)



O que muda: Incertezas

Fenômenos com baixa previsibilidade e elevado impacto em relação ao futuro do objeto

Grandes tendências para o sistema energético nacional até 2055



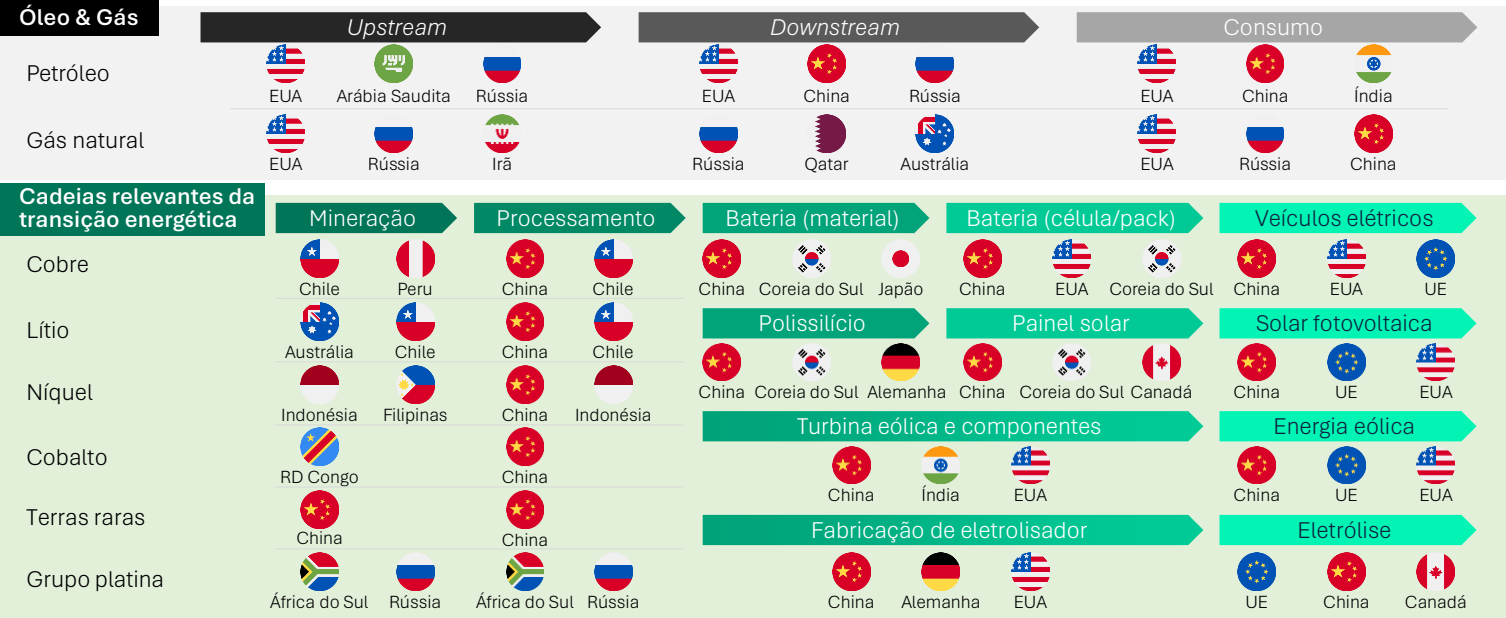
T1: Transformação na geopolítica da energia: novos atores e cadeias produtivas

A corrida global para economias de baixo carbono está transformando a geopolítica da energia. As cadeias de valor de combustíveis fósseis e de soluções de baixo carbono apresentam distintas concentrações geográficas, levando ao deslocamento do eixo de poder da geopolítica da energia, como observado na Figura 17. Um exemplo é a maior demanda por minerais estratégicos, cuja cadeia produtiva está concentrada em países que possuem baixa relevância atualmente na produção de petróleo e gás.

Destaca-se que a diversidade de condições e prioridades entre os países e regiões – tecnológicas, de recursos energéticos e minerais, de segurança energética e de desenvolvimento socioeconômico – configuram um cenário ao mesmo tempo de disputa e de possibilidades de cooperação internacional, cada vez mais evidentes no processo de transição energética global.

A disputa tecnológica e a corrida por minerais críticos, indispensáveis para expandir as energias renováveis, assim como os impactos da Guerra na Ucrânia, mostram como a geopolítica e a busca por sistemas energéticos mais resilientes têm ganhado protagonismo. Ao mesmo tempo, interesses econômicos e geopolíticos continuam a moldar a agenda climática e a evolução dos sistemas energéticos no mundo, como evidenciam políticas como o Inflation Reduction Act (IRA) e o REPowerEU.

Figura 17: Cadeias produtivas para óleo e gás e para tecnologias relevantes para a transição energética



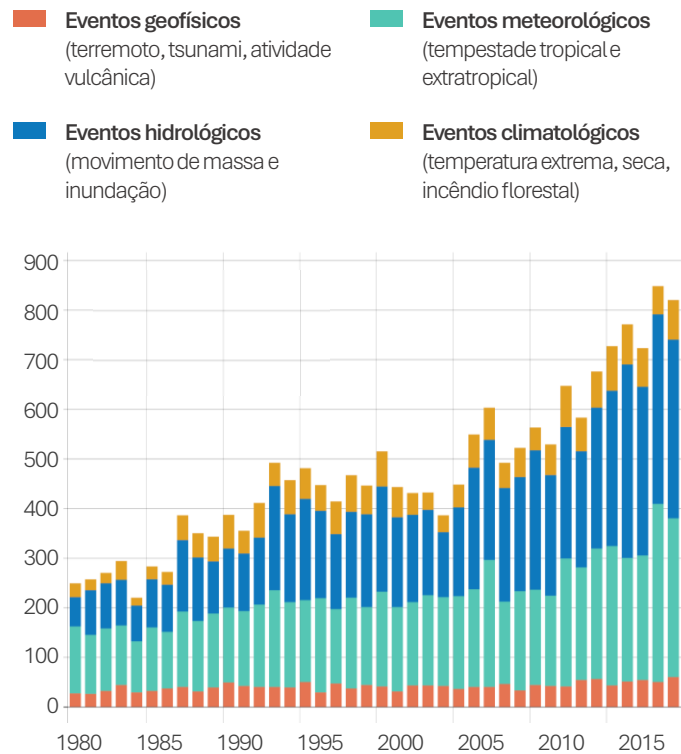
Fonte: Adaptado de IEA (2022).

Implicações para o sistema energético brasileiro

- Posicionamento de países desenvolvidos, China e outros países asiáticos no desenvolvimento tecnológico e em diversas cadeias relevantes da transição energética (como equipamentos para transmissão, painéis fotovoltaicos, baterias etc.) geram desafios relacionados à dependência produtiva e tecnológica do sistema energético brasileiro e à competitividade nacional.
- Preocupações sobre segurança energética e oportunidades para desenvolvimento de cadeias produtivas (novas e existentes) para a transição energética no País.

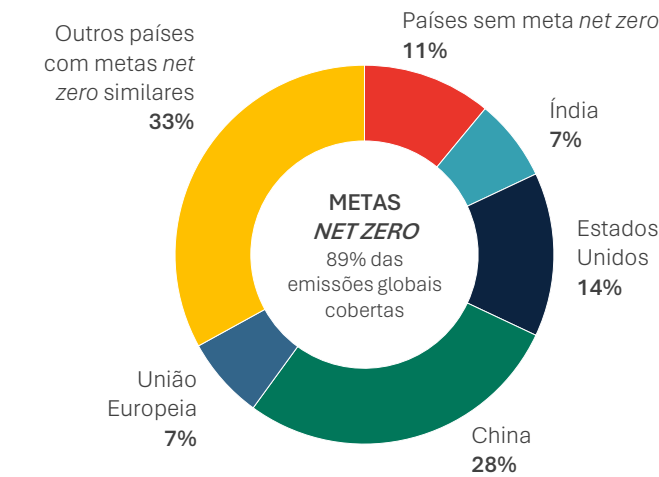
T2: Mudanças climáticas e segurança energética cada vez mais no centro das políticas

Figura 18: Quantidade de eventos climáticos extremos no mundo: 1980-2019



Fonte: Adaptado de Munich Re (2016) apud UK Met Office (2024).

Figura 19: Compromissos *net zero* anunciados por países



Fonte: Adaptado de Climate Action Tracker (2023).

O sistema energético é fortemente influenciado pelas questões climáticas por conta da sua relevância nas emissões de GEE e da sua vulnerabilidade às alterações do clima.

Períodos de escassez hídrica, ondas de calor extremo e tempestades são exemplos de eventos que demandam medidas para aumentar a resiliência e a segurança do sistema energético.

Neste contexto, os cenários de aquecimento global pressionam por medidas de mitigação de emissões de GEE, como a promoção de fontes renováveis e a precificação de carbono. Em novembro de 2023, cerca de 145 países anunciaram ou estão considerando metas de emissões líquidas zero, cobrindo cerca de 90% das emissões globais (Climate Action Tracker, 2023).

Implicações para o sistema energético brasileiro

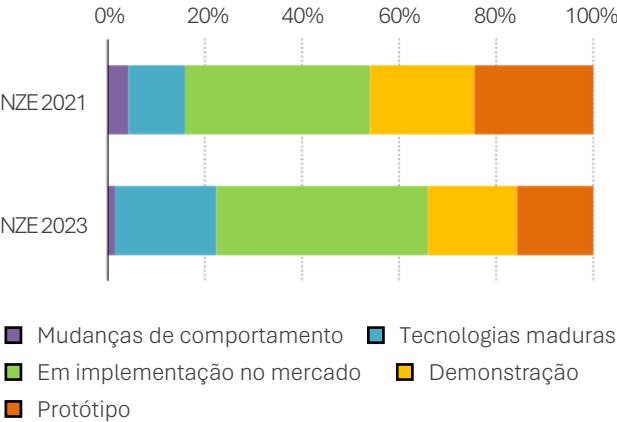
- As alterações climáticas podem impactar a disponibilidade de recursos naturais e energéticos, a demanda por energia, e a eficiência e a integridade de infraestruturas energéticas.
- Assim, a necessidade de resiliência e segurança se impõe no planejamento do sistema energético nacional, e por esse motivo é preciso desenvolver outros modelos de negócio/mecanismos para prover a segurança do suprimento.

T3: Relevância crescente de investimentos em inovação para a transição energética

No contexto de transição energética e de resposta aos desafios das mudanças climáticas, **a inovação é – e continuará sendo – um driver fundamental para viabilizar e potencializar as transformações nos sistemas energéticos**. Porém, grande parte das tecnologias necessárias para a redução de emissões de GEE para o *net zero* ainda estão nos estágios iniciais da cadeia de inovação: 35% em 2023. Em 2021, este percentual era de quase 50%, demonstrando um avanço tecnológico importante no âmbito global (IEA, 2023).

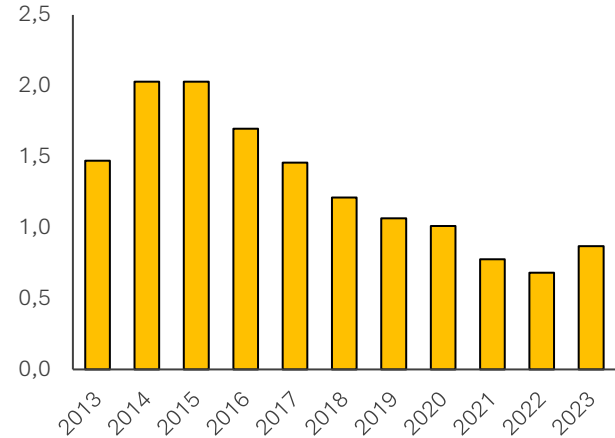
No Brasil, os investimentos públicos e publicamente orientados de pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D) em energia no período de 2013 a 2023 foram superiores a R\$ 4,0 bilhões por ano, sendo que 74% deste montante é de investimentos publicamente orientados, ou seja, regulados pela ANEEL e ANP. Por sua vez, os investimentos públicos em PD&D mostraram uma queda significativa nos últimos anos, trajetória que começou a ser revertida a partir de 2023 (Figura 21).

Figura 20: Comparação da redução de emissões de CO₂ cumulativas do setor de energia relativa ao ano base, por maturidade tecnológica



Fonte: Adaptado de IEA (2023).

Figura 21: Evolução dos investimentos públicos em PD&D em energia no Brasil (R\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2024c).

Implicações para o sistema energético brasileiro

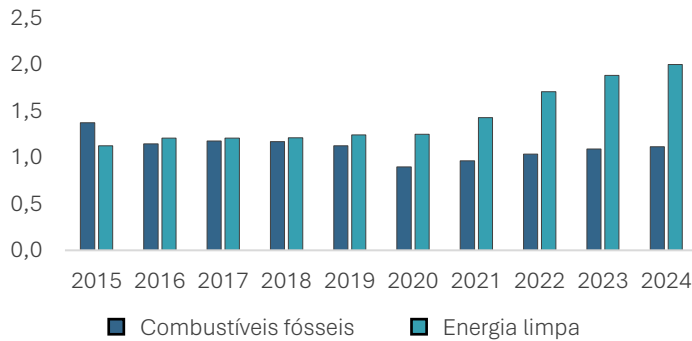
- É necessário acelerar e dar escala aos investimentos em inovação, tanto em eficiência energética e energias renováveis, mas também em novas tecnologias associadas aos setores de difícil descarbonização (como siderurgia, cimento, transporte de carga, aviação, produtos químicos etc.), além de tecnologias habilitadoras, como ligadas à transformação digital.
- O fortalecimento da capacidade inovativa do sistema energético nacional e seu direcionamento para os desafios da transição energética brasileira demandará forte articulação interministerial, além de integração de instrumentos financeiros. Segundo IEA (2024a), os resultados da inovação energética são mais facilmente alcançados quando se alinham com as visões nacionais de economia e desenvolvimento social. A inovação deve ser considerada para além da perspectiva tecnológica – a partir de uma abordagem sistêmica, que contemple modelos de negócios, arranjos de financiamento e as condições e desafios locais, aproveitando peculiaridades brasileiras, com potencial de geração de emprego e renda.

T4: Transformação gradual dos sistemas energéticos na direção de economias de baixo carbono

A emergência climática impõe pressão para redução de emissões dos diferentes segmentos da economia, sendo um deles o setor energético. No caso do Brasil, apesar do maior peso dos setores de uso da terra nas emissões, o **setor de energia pode ser um vetor importante para descarbonização** dos setores transporte e indústria – que apresentaram renovabilidade de 22,5% e 64,7%, respectivamente, em 2023, de acordo com EPE (2024a).

A transformação na direção de economias de baixo carbono vai além da substituição de fontes energéticas, envolvendo movimentos como descentralização e digitalização – os 3 Ds da transição energética.

Figura 22: Investimento global em combustíveis fósseis e energia limpa: 2015-2024 (US\$ 2023 trilhões)



Fonte: Elaboração própria a partir de IEA (2024c).

Tendências		Implicações para o sistema energético brasileiro
T4A	Maior inserção de fontes renováveis variáveis, trazendo novos desafios para sua integração no sistema	- A expansão de fontes variáveis impõe desafios para o planejamento e a operação, tornando necessário o investimento em recursos que agreguem cada vez mais flexibilidade e controlabilidade para a operação, de modo a fazer frente às variações da geração e da carga. - Além de um sistema de transmissão robusto, também podem contribuir para o necessário aumento da flexibilidade operativa o desenvolvimento/implantação de tecnologias de armazenamento de energia, Sistemas de Transmissão de Corrente Alternada Flexíveis (FACTs), compensação reativa variável, mecanismos de resposta de demanda, tecnologias meteorológicas, entre outros. - Relevância da consideração dos impactos socioambientais locais das renováveis variáveis.
T4B	Aumento da eletrificação no consumo final de energia	- Apesar da eletrificação do setor de energia ser considerada tendência, a intensidade e a velocidade desse processo são incertas, sobretudo em segmentos como o de transportes e o industrial. - Questões relacionadas ao custo da energia elétrica podem afetar o processo de eletrificação. - É um <i>driver</i> para a integração de novos projetos de geração renovável, estimulando o aproveitamento eficiente e sustentável do potencial energético brasileiro e do sistema de transmissão.
T4C	Protagonismo do consumidor e maior descentralização dos sistemas energéticos	- Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) impõem desafios, mas também podem trazer benefícios associados a sua integração ao sistema, como redução de perdas, aumento de confiabilidade etc. - Necessidade de aprimoramentos metodológicos, de modelagem e de políticas de compartilhamento de informações que possam garantir a identificação adequada dos requisitos de expansão, possibilitando um planejamento energético efetivo e eficiente, e uma operação futura segura.
T4D	Perspectiva de maior digitalização na produção e uso de energia	- Em todo setor energético, a digitalização pode ajudar a reduzir custos, melhorar eficiência e resiliência, além de induzir mudanças de comportamento do consumidor na direção de opções de baixo carbono. - Destacam-se como desafios a criação de capacidade para o aproveitamento do potencial da digitalização (infraestrutura, serviços tecnológicos e mão de obra), não apenas em nichos específicos, mas de uma forma mais ampla na população, bem como preocupações com cibersegurança.

T5: Expansão da necessidade de serviços energéticos no Brasil

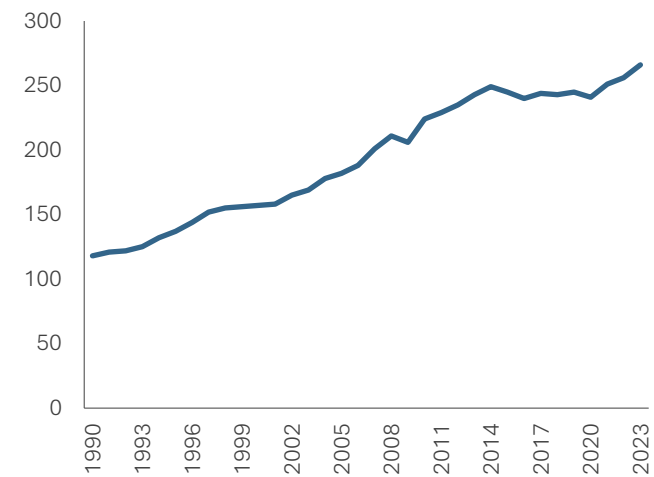
Economias emergentes apresentam demandas crescentes por conta do seu processo de desenvolvimento, crescimento populacional, melhoria nos padrões de vida, entre outros, o que pressiona a necessidade de serviços energéticos.

De acordo com EPE (2020), a demanda de energia irá duplicar e a de energia elétrica irá triplicar até 2050 no Brasil. As mudanças comportamentais e novos modelos de negócios (que afetam a forma como os agentes utilizam a energia), a eficiência energética e a eletrificação poderão influenciar a trajetória da demanda de energia nos setores de uso final, ainda que a magnitude destes impactos sejam ainda incertos.

A desaceleração da taxa de crescimento populacional assim como a evolução da renda, com estimativa de crescimento do PIB per capita, também influenciarão a necessidade de serviços energéticos. Em 2023, o consumo de energia per capita no Brasil ainda era metade da União Europeia.

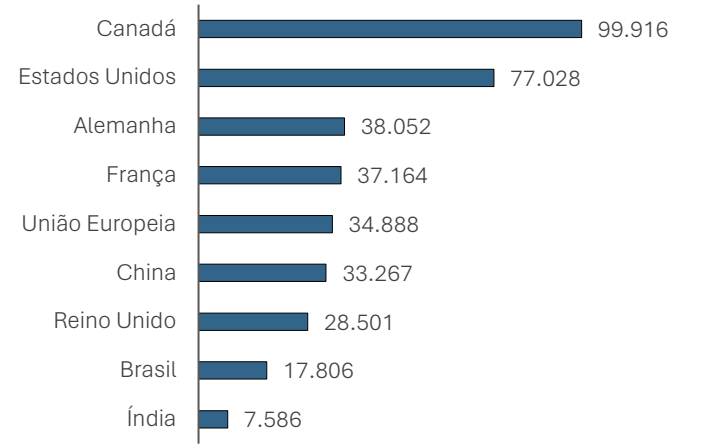
As cidades respondem por uma parcela expressiva do consumo energético, tendo mais de 50% da população, 80% do PIB, dois terços do consumo de energia e mais de 70% das emissões de carbono. Prevê-se que, até 2050, mais de 70% da população mundial viverá em cidades, resultando em um crescimento maciço da procura de infraestruturas energéticas urbanas (IEA, 2021).

Figura 23: Consumo final de energia no Brasil (milhão tep)



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2024a).

Figura 24: Consumo de energia per capita em 2023 em países selecionados (kWh)



Fonte: Elaboração própria a partir de Our World in Data (2024).

Implicações para o sistema energético brasileiro

- Desafio de assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia a todas e todos (ODS 7).
- Expandir e modernizar a infraestrutura e a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia.
- Ritmo e intensidade do crescimento da demanda poderão ser impactados por fatores ainda incertos ligados ao comportamento do consumidor, eficiência energética, eletrificação nos setores de uso final e evolução da renda no Brasil.

T6: Pressão por uma transição energética socialmente justa e inclusiva

É iminente a **pressão cada vez maior para que a transição para uma economia de baixo carbono esteja associada aos objetivos de desenvolvimento sustentável** (ODS) e à agenda de mitigação da pobreza energética, especialmente nos países em desenvolvimento, de modo a garantir para todos os domicílios o acesso a fontes de energia limpas, modernas e acessíveis.

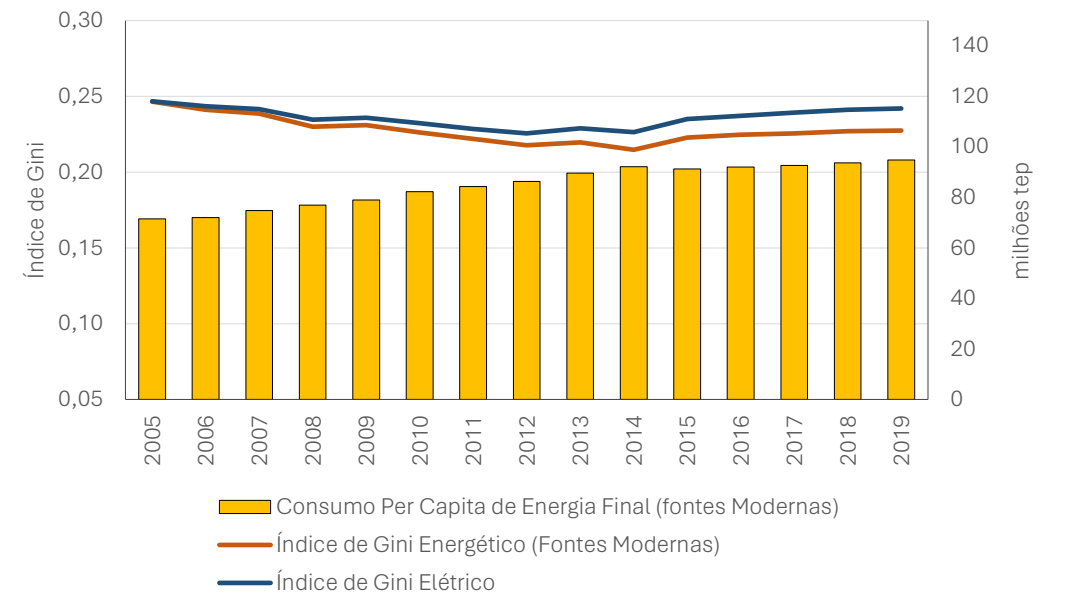
No Brasil, a lenha e o carvão vegetal representam 25% de toda a energia consumida nos domicílios, impactando diretamente na saúde e na qualidade de vida, principalmente de mulheres e crianças, que passam a maior parte do tempo nos afazeres domésticos e cuidados com a família.



Implicações para o sistema energético brasileiro

- Potencial para geração de emprego e renda a partir das potencialidades energéticas brasileiras, inclusão social, combate à pobreza energética, redução das desigualdades socioeconômicas e regionais, melhoria da qualidade de vida, crescimento econômico, reindustrialização sob bases mais sustentáveis, dentre outras oportunidades.
- A transição energética pode ser vetor para o desenvolvimento sustentável no País.

Figura 25: Evolução anual do Índice de Gini Elétrico no setor residencial e do consumo residencial de energia elétrica no Brasil



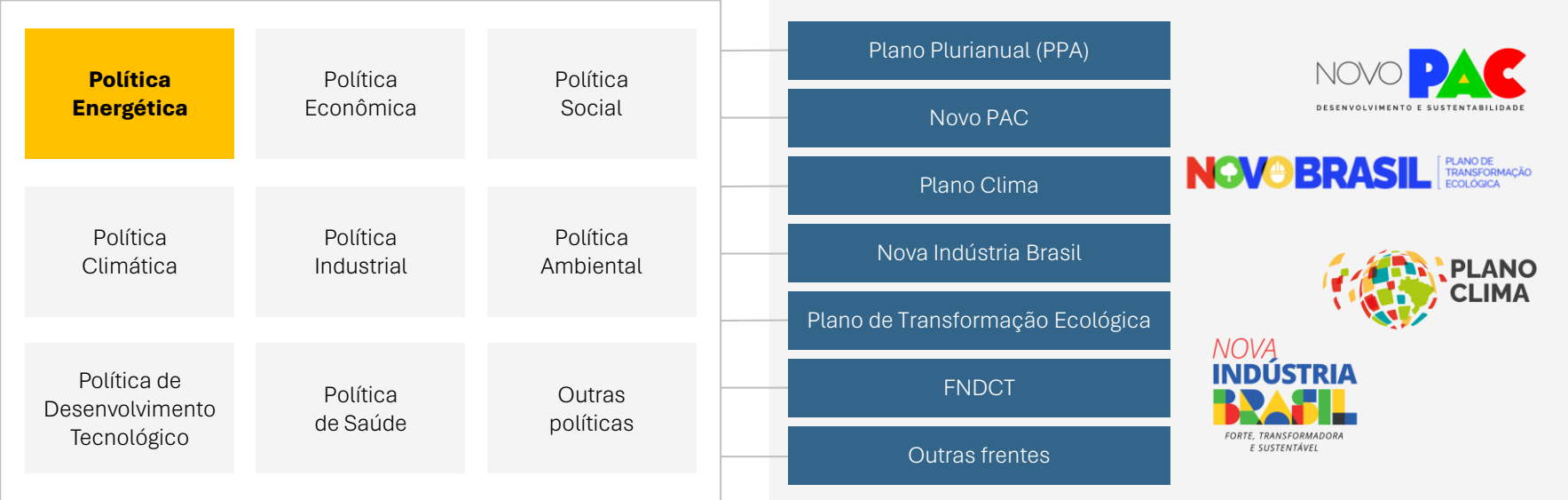
Fonte: EPE (2023).

T7: Importância crescente de integração de políticas públicas, governança e financiamento para a transição energética

A transição energética é um tema transversal à toda economia brasileira e, por conta disso, vem sendo pauta de ações em diferentes ministérios, como MME, MDIC, Fazenda, MRE, MMA, MCTI, entre outros.

Diante disso, a **coordenação e integração dessas políticas são determinantes para o processo de transição energética.**

Nesse sentido, a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), instituída pela Resolução CNPE nº 5/2024, visa integrar políticas públicas para promover uma transição energética justa e inclusiva.

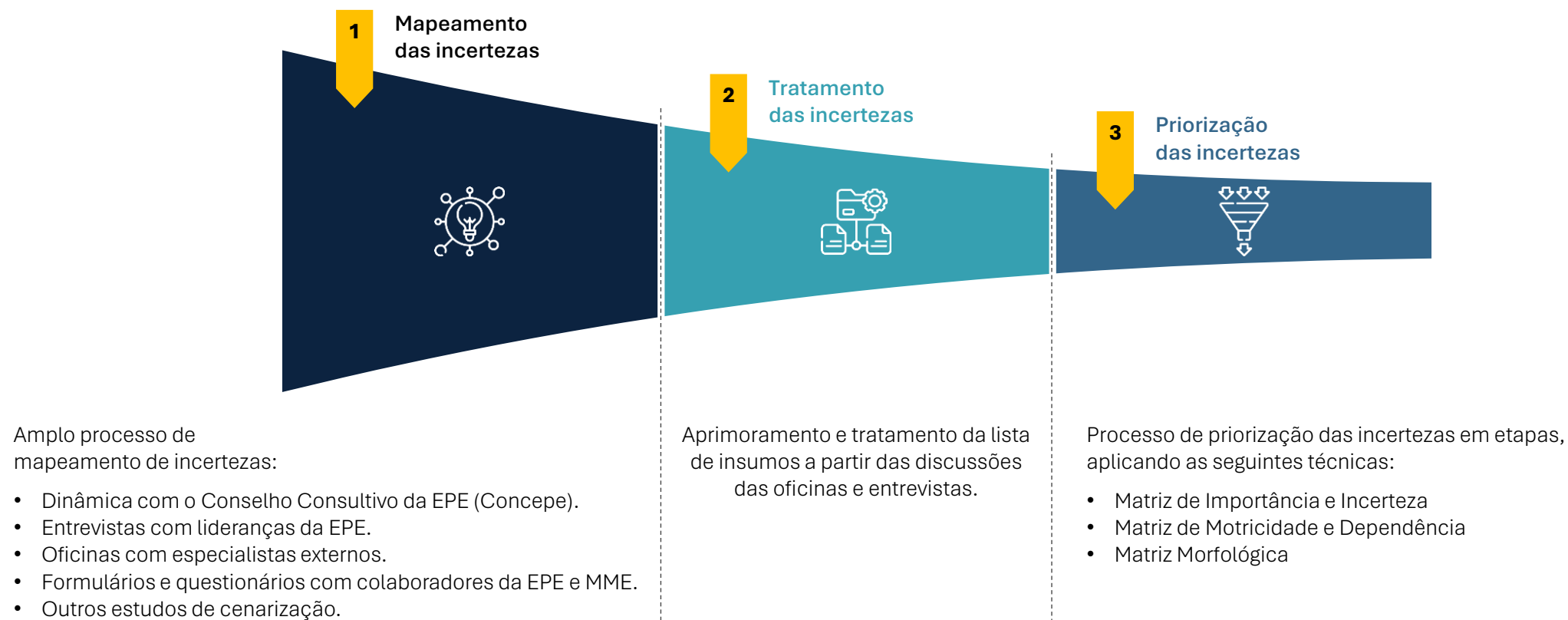


Implicações para o sistema energético brasileiro

- O nível de coordenação e integração de políticas é fundamental para o sucesso da transição energética.
- Necessidade das políticas lidarem com os impactos ambientais que podem ser causados pela maior expansão de algumas fontes renováveis.
- Administrar e articular interesses de diversos setores, muitas vezes conflitantes, em prol do processo de transição energética.
- Entender quais são nossos principais objetivos, na realidade de um país em desenvolvimento com inúmeras demandas a serem atendidas.

Depois de olhar as grandes tendências, partimos para o mapeamento das forças com alto grau de incerteza e elevado impacto em relação ao sistema energético nacional até 2055 ...

As incertezas são fundamentais para definição da lógica dos cenários e, em geral, são escritas na forma de perguntas. E qual foi a abordagem do PNE 2055 para o processo de mapeamento e priorização das incertezas?



Oficinas internas promovidas pela EPE para discutir as incertezas

1ª Oficina – 11/3/2024

Como as mudanças climáticas impactarão o sistema energético nacional?



Painelistas

Representantes das áreas técnicas da EPE

2ª Oficina – 15/3/2024

Pobreza e justiça energética: definições, indicadores, medidas e governança



Painelistas

Lançamento de Nota Técnica da EPE, com participação de painelistas da EPE e do MME

1

2

3ª Oficina – 25/3/2024

Net zero, desafios e oportunidades para o Brasil



Painelista

Túlio Andrade (Itamaraty)

4ª Oficina – 3/4/2024

Transição da indústria de óleo & gás no Brasil



Painelistas

Alexandre Szklo (COPPE/UFRJ)
Décio Oddone (Brava Energia)
Viviana Coelho (Petrobras)

3

4

5ª Oficina – 11/4/2024

Caminhos para o Brasil nos setores de difícil descarbonização



Painelistas

Darlan Santos (ANAC)
Fernando Costa (Marinha)
Fernando Salina (CSN)
Gonzalo Visedo (SNIC)

6ª Oficina – 30/4/2024

Mudanças na dinâmica do sistema elétrico no contexto da transição energética



Painelistas

Bernardo Sicsú (Abraceel)
Christiano Vieira (ONS)
Jerson Kelman (UFRJ)
Joísa Dutra (FGV)
Paulo Pedrosa (Abrace)
Sinval Gama (Eletronuclear)

5

6

Plano Nacional de Energia 2055 | Cenários energéticos 40

Lista de incertezas para o sistema energético nacional até 2055

Incertezas	
01	Quais serão os impactos das mudanças climáticas sobre o sistema energético brasileiro? O sistema energético brasileiro será flexível e resiliente para lidar com eventos climáticos extremos ?
02	Como o Brasil vai conciliar políticas de desenvolvimento socioeconômico com a agenda climática ?
03	Haverá construção de consenso sociopolítico que assegure governabilidade e coerência de políticas e incentivos para a transição energética?
04	Haverá capacidade de coordenação e de integração entre diferentes políticas públicas , financiamento e governança para a transição energética?
05	Como evoluirá o modelo de desenvolvimento brasileiro ? O Brasil conseguirá avançar nas cadeias globais de valor e se destacar como uma potência industrial sustentável?
06	Quais serão os impactos da inovação e da evolução tecnológica no desenvolvimento sustentável?
07	Como evoluirão as cadeias produtivas relevantes para a transição energética no Brasil? Como evoluirá a dependência produtiva e tecnológica dessas cadeias ?
08	Como a transformação digital irá impactar o setor energético nacional?
09	Como evoluirá o financiamento para transição energética no Brasil?
10	Como será a regulação para o desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono e o custo dessas tecnologias?
11	Qual será a estratégia para lidar com o planejamento e a operação de um sistema elétrico mais descentralizado com elevada participação de fontes renováveis variáveis ?
12	Será possível desenvolver a infraestrutura e redes elétricas flexíveis e resilientes para o sistema elétrico do futuro?
13	Qual será o ritmo e a intensidade de inserção dos RED e quais serão seus impactos no sistema energético brasileiro?
14	Qual será a velocidade e intensidade de descarbonização do transporte e da indústria ?
15	Como será o crescimento da demanda de energia no Brasil? Como as mudanças demográficas e comportamentais irão afetá-la?
16	Haverá acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis de energia?
17	Como evoluirá a pobreza energética e a desigualdade no consumo de energia no Brasil?
18	O net zero será efetivamente alcançado no Brasil?
19	Como será a exploração de novas fronteiras de óleo e gás no Brasil?
20	Como a transição energética brasileira poderá ser vetor para desenvolvimento sustentável no País?



4

Priorização das incertezas e desenvolvimento da lógica da cenarização

1. Matriz de Importância e Incerteza

O que é?

- Uma ferramenta da prospectiva que hierarquiza fatores-chave do objeto a ser cenarizado, segundo dois critérios fundamentais: o grau de impacto sobre o sistema-objeto, que neste caso é o Sistema Energético Nacional até 2055, e o nível de incerteza.
- Quanto maiores forem o impacto e o nível de incerteza de um dado fator, maior a necessidade de considerá-lo na geração dos cenários.



Ponto de partida: uma lista de 43 incertezas (perguntas) traduzidas em **63 variáveis**.

Estas variáveis foram analisadas segundo os critérios de impacto e incerteza através de um **formulário**.

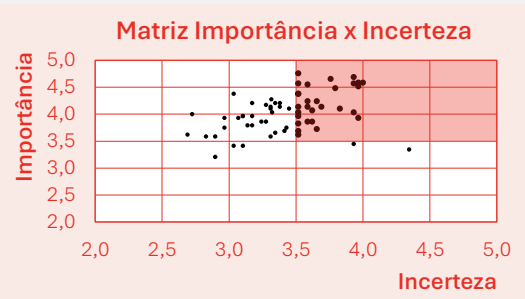


Compilação de **29 formulários** respondidos por membros do GT Cenários, tanto da EPE quanto do MME.



“Plotagem” dos fatores na Matriz de Importância e Incerteza.

Ranqueamento e seleção de uma **lista reduzida de incertezas**, posteriormente analisada nas demais etapas de priorização.



2. Matriz de Motricidade e Dependência (ou Matriz Estrutural)

O que é?

- É uma ferramenta de reflexão coletiva que descreve a “estrutura” das relações entre as variáveis que caracterizam o sistema estudado.
- Tem por objetivo explicitar as principais variáveis conforme os graus de motricidade (influência) e dependência em relação ao Sistema.
- Baseado no Método Micmac elaborado por Michel Godet.



Etapa 1
Mapeamento das variáveis
(advinda da Matriz de Importância e Incerteza)



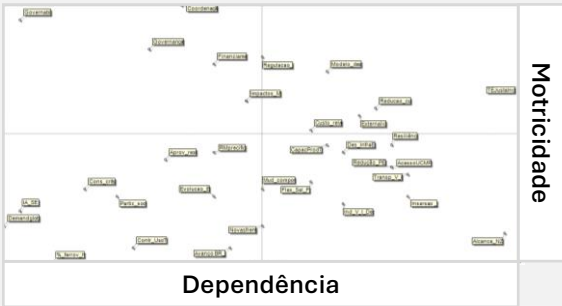
Etapa 2
Explicitação das **relações diretas existentes entre as variáveis** utilizando a Matriz Estrutural

Sobre...		Motricidade
Influência de...	Variáveis (Colunas da matriz)	
Variáveis (linhas da matriz)	Qual o grau de influência da variável “i” sobre a variável “j”?	
Dependência		



Etapa 4
Rodada de **inserção dos resultados no software Micmac**

A Matriz Estrutural separa as variáveis em **4 grupos**: as mais motrizes, as de ligação, as de resultado e as autônomas ou independentes.



Etapa 3
Dinâmicas de discussão e alinhamento



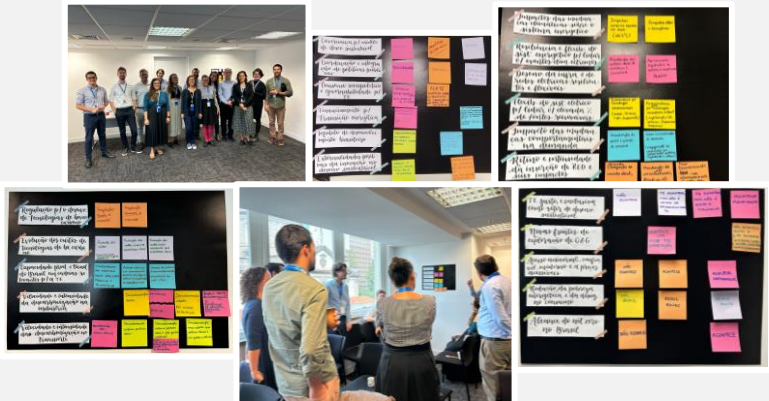
3. Matriz Morfológica

O que é?

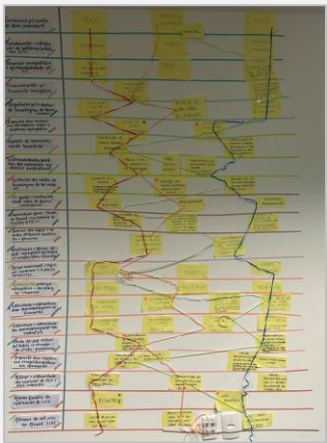
- Uma técnica que configura de maneira sistemática situações possíveis para um dado sistema, através da combinação de diferentes hipóteses sobre as incertezas, representadas por variáveis, relacionadas a este sistema.
- Evidencia combinações qualitativamente distintas.



Dinâmica de grupo para construção das hipóteses (estados futuros alternativos) de um conjunto de incertezas definidas nas etapas anteriores.



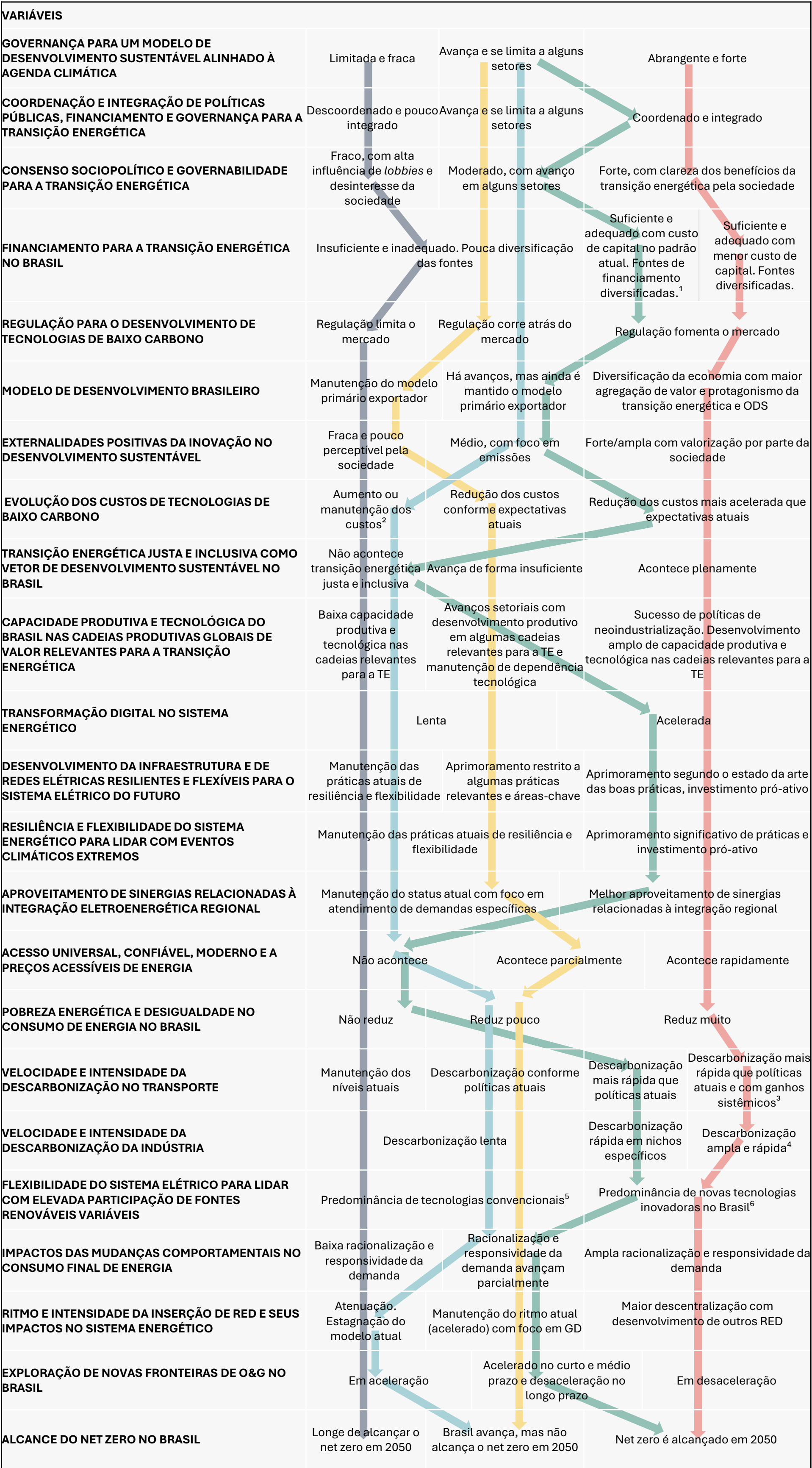
Construção da Matriz Morfológica completa a partir de combinações de diferentes hipóteses.



Digitalização da Matriz Morfológica.

VARIÁVEL	Limitação e fraca	Avanço e se limita a alguns setores	Alargamento e forte
GOVERNANÇA PARA UM MODELO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL ALINHADO À AGENDA CLIMÁTICA	Descentralizado e pouco alinhado	Avanço e se limita a alguns setores	Coordenação integrada
COORDENAÇÃO E INTEGRACÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS, FINANCIAMENTO E GOVERNANÇA PARA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	Foco em alta infraestrutura urbana e desenvolvimento de sociedade	Modelado, com ênfase em parcerias	Forte, com ênfase nos benefícios da transição energética para sociedade
CONSENSO SOCIOECONÔMICO E GOVERNABILIDADE PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	Insuficiente e desigualdade. Pouca diversidade de fontes	Suficiente e adequado com ênfase em parcerias de mercado, com ênfase em parcerias de mercado, com ênfase em parcerias de mercado	Suficiente e adequado com ênfase em parcerias de mercado, com ênfase em parcerias de mercado, com ênfase em parcerias de mercado
FINANCIAMENTO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL	Regime regulatório e mercado	Regime regulatório e mercado	Regime regulatório e mercado
REGULAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS DE BAIXO CARBONO	Regime regulatório e mercado	Regime regulatório e mercado	Regime regulatório e mercado
MODELO DE DESENVOLVIMENTO BRASILEIRO	Modelo de desenvolvimento baseado em exportação	Modelo de desenvolvimento baseado em exportação	Modelo de desenvolvimento baseado em exportação
EXTERNALIDADES POSITIVAS DA INOVAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	Foco em inovação em setores estratégicos	Foco em inovação em setores estratégicos	Foco em inovação em setores estratégicos
EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DE TECNOLOGIAS DE BAIXO CARBONO	Aumento no investimento em inovação	Aumento no investimento em inovação	Aumento no investimento em inovação
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA JUSTA E INCLUSIVA COMO SETOR DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
APARIÇÃO PRODUTIVA E TECNOLÓGICA DO BRASIL NAS CENÁRIOS PRODUTIVOS E CENÁRIOS DE VALOR RECORRENTE PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL DO SISTEMA ENERGÉTICO	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA E DE REDES ELÉTRICAS RESILIENTES E FLEXÍVEIS PARA O SISTEMA ELÉTRICO DO FUTURO	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
RESILÊNCIA E FLEXIBILIDADE DO SISTEMA ENERGÉTICO PARA LIDAR COM EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
APOSIAMENTO DE SINERGIA RELACIONADA À TRANSIÇÃO ELÉTRICA REGIONAL	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
ACESSO UNIVERSAL, CONFÍVEL, MODERNO E A PREÇOS ACESSÍVEIS DE ENERGIA	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
POBREZA ENERGÉTICA DA DESIGUALDADE NO CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
RESILÊNCIA E INTENSIDADE DA DESCARBONIZAÇÃO DO TRANSPORTE	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
RESILÊNCIA E INTENSIDADE DA DESCARBONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
FLEXIBILIDADE DO SISTEMA ELÉTRICO PARA LIDAR COM ALTA PARTICIPAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS VARIÁVEIS	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
IMPACTOS DAS MUDANÇAS COMPORTAMENTAIS NO CONSUMO FINAL DE ENERGIA	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
RESILÊNCIA E INTENSIDADE DA ENERGIA DE REE E SEUS IMPACTOS NO SISTEMA ENERGÉTICO	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
EXPLORAÇÃO DE NOVAS FRONTEIRAS DE ORO NO BRASIL	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis
ALCANCE DO NET ZERO NO BRASIL	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis	Transição energética baseada em fontes renováveis

3. Matriz Morfológica



Notas:

¹ Fontes de financiamento diversificadas (privado, público, internacional, mercado de carbono etc).

² Seja por conta de escassez de recursos, externalidades negativas, geopolítica.

³ Mudança de modos de transporte; transporte público; redução da demanda.

⁴ Com hidrogênio, eletrificação, biomassa, eficiência energética, CCUS etc.

⁵ Por exemplo, hidrelétricas, térmicas a gás, transmissão.

⁶ Por exemplo, digitalização, IA, baterias, reversíveis, transmissão.

Resultado da Matriz Estrutural

MOTRICIDADE



DEPENDÊNCIA

Resultado da Matriz Estrutural



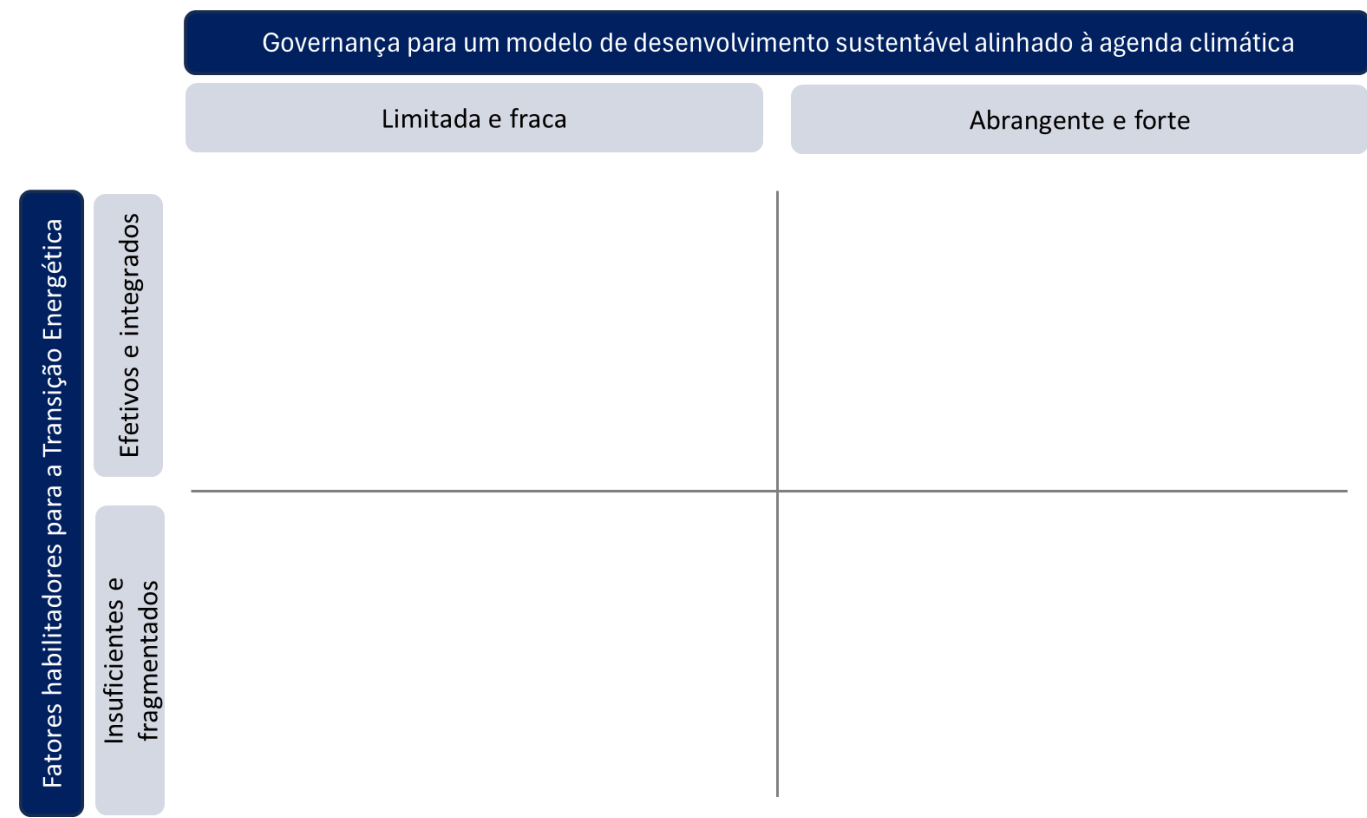
Resultados da Matriz Estrutural: definição dos eixos

A partir dos resultados obtidos com a Matriz Estrutural, representados na página anterior, foram selecionadas variáveis³ com alto grau de motricidade para construir os eixos dos cenários energéticos para o PNE 2055. Esses eixos são de extrema importância, pois contribuem para o entendimento da lógica dos cenários ao permitirem uma **visualização mais simples das principais diferenças entre cada um dos cenários**.

O eixo 1 representa a **Governança para um modelo de desenvolvimento sustentável alinhado à agenda climática**, que pode assumir dois estados: “limitada e fraca” ou “abrangente e forte”.

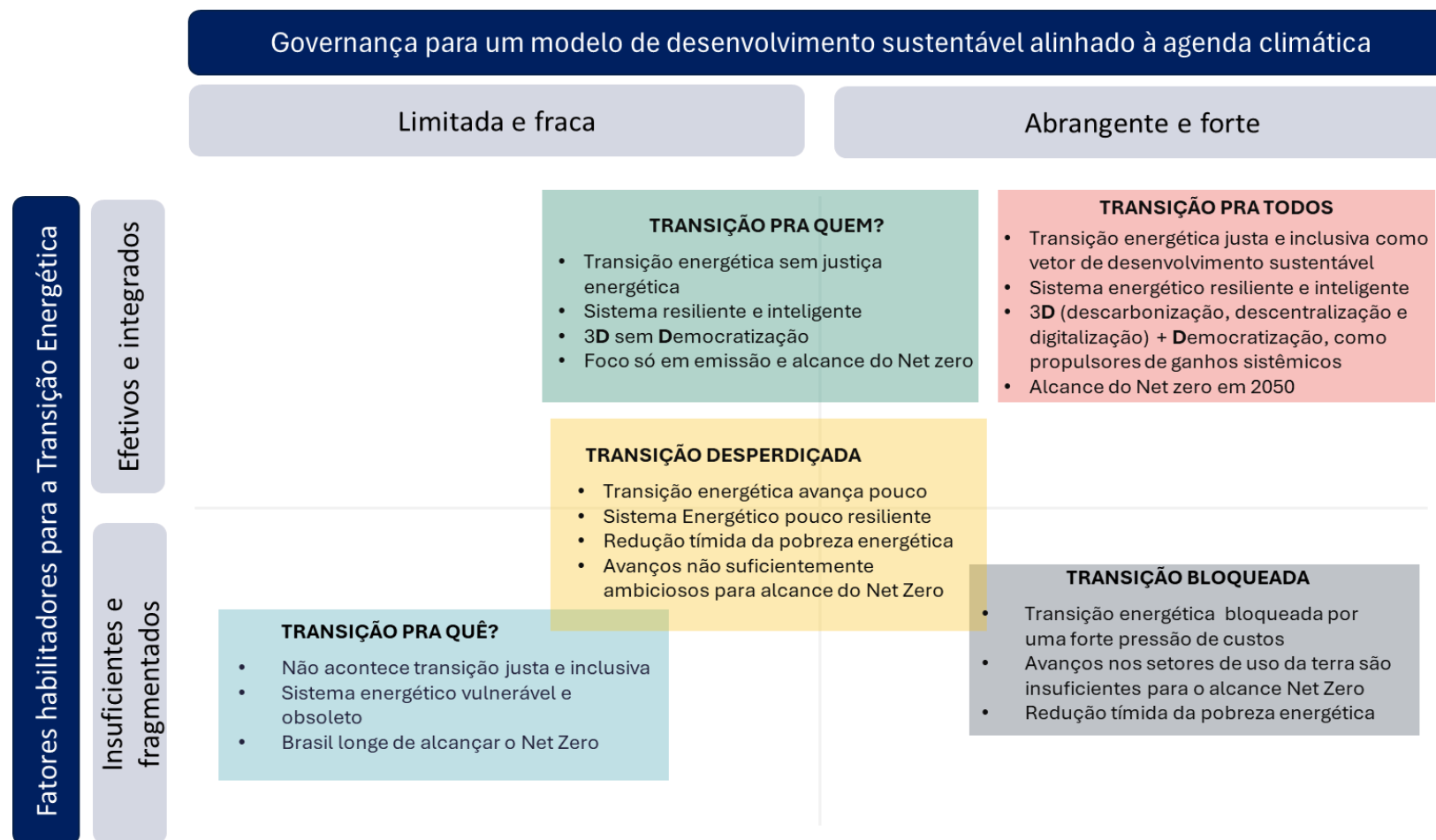
Por sua vez, o eixo 2 representa os **Fatores habilitadores para a transição energética**, que contempla variáveis como os custos e regulação de tecnologias de baixo carbono, a coordenação e integração de políticas para a transição energética, dentre outras. Tais fatores podem assumir dois estados: “insuficientes e fragmentados” ou “efetivos e integrados”.

Figura 26: Eixos dos cenários energéticos para o PNE 2055



³ As variáveis representadas na Matriz Estrutural representam as incertezas que foram consideradas no processo.

Lógica dos cenários energéticos





5

Cenários energéticos para 2055

C1 – Transição pra todos

Imagine um futuro em que ...

Há uma **coerência da ambição climática brasileira aos compromissos do Acordo de Paris e de neutralidade climática** – emissões líquidas nulas de gases de efeito estufa em 2050 – para limitação do aquecimento global.

Uma **governança forte e abrangente** se fortaleceu durante e após os eventos internacionais sediados no País (G20, COP, BRICS) na década de 2020. A maior frequência e gravidade dos eventos climáticos extremos também provocaram uma ampla mobilização interministerial nesta direção.

Ancorada numa visão compartilhada de futuro e na integração de instrumentos de planejamento, esta mobilização também contou com uma **sociedade mais consciente, crítica e participativa**, fruto de avanços na educação brasileira. Esse contexto contribuiu fortemente para a **compatibilidade entre a agenda climática brasileira e uma estratégia clara de desenvolvimento sustentável no País**. Assim, **a transição energética brasileira avançou de forma sinérgica a esta estratégia, contribuindo para um processo de diversificação e mudança estrutural no desenvolvimento do País**.

As **cadeias produtivas relevantes para a transição energética** – o que inclui energias renováveis, tecnologias de captura e armazenamento de carbono, hidrogênio,

bioeconomia, minerais estratégicos etc. – **foram fortalecidas em suas capacidades produtivas e tecnológicas**, o que permitiu a redução da dependência externa e a internalização dos benefícios em prol do desenvolvimento no País. **Empregos de qualidade, geração de renda, distribuição de riqueza e melhoria da pauta de exportação, com aumento da participação de bens e serviços de maior valor agregado**, são alguns exemplos destes benefícios, impulsionados por diversos programas e instrumentos com foco em inovação, industrialização e capacitação.

A busca por maior agregação de valor não teria sido possível sem outros fatores habilitadores como **coordenação entre as diversas políticas para a transição energética, financiamento e uma forte regulação, incentivando tecnologias de baixo carbono**.

A diversificação de instrumentos de financiamento, como fundos e empréstimos concessionais internacionais, investimentos públicos e privados em inovação em energia, precificação de carbono e a efetiva implementação de uma taxonomia sustentável (condizente com as potencialidades energéticas do Brasil), associados à coordenação das ações políticas em torno da transição energética, favoreceram a redução do custo de capital no País.



C1 – Transição pra todos

Isto impulsionou e direcionou os **investimentos para uma economia de baixo carbono, respeitando e desenvolvendo as potencialidades energéticas nacionais, com redução de desigualdade socioeconômica**. Adicionalmente, a preocupação sobre a mensuração dos custos e benefícios da transição energética nos três pilares da sustentabilidade – econômico, social e ambiental – e a percepção da sociedade sobre estes impactos se ampliou consideravelmente.

De forma consensual e coordenada, **a transição energética engendrou um processo de mudanças em diversas frentes**. Investimentos proativos em infraestrutura inteligente e tecnologias inovadoras, para lidar tanto com o aumento de fontes renováveis variáveis quanto com a maior frequência de eventos climáticos extremos, promoveram maior resiliência e flexibilidade ao sistema energético brasileiro. Destacam-se, também, a **aceleração dos processos de descarbonização tanto no transporte quanto na indústria; a maior escala dos recursos energéticos distribuídos** (para além da geração distribuída (GD) solar, incluindo outros tipos de GD, autoprodução de energia, eficiência energética e resposta da demanda); o **maior protagonismo e responsabilidade do consumidor** e, fundamentalmente, a **erradicação da pobreza energética e da redução da desigualdade no**

consumo de energia no Brasil (compromisso de Estado assumido pelo Brasil na década de 2020).

O amplo aproveitamento dos diversos recursos energéticos nacionais (com destaque para os de baixo carbono) juntamente a uma perspectiva de economia circular no sistema energético permitiram a **melhoria da gestão de resíduos rurais e urbanos, com externalidades positivas a nível regional e local**.

Em um contexto de menor demanda global de petróleo e redução significativa dos custos de tecnologias de baixo carbono, **o setor de óleo e gás passou por uma ampla transformação, migrando expertises rumo a uma economia de baixo carbono**. Nesse sentido, a oferta doméstica atingiu seu pico na década de 2030, com desaceleração da exploração de novas fronteiras neste período. Com maior racionalização e efetividade no seu uso, **a renda do petróleo passou a ser direcionada de forma mais efetiva para fomento a tecnologias de baixo carbono e para potencializar seus impactos no desenvolvimento sustentável para toda a sociedade**.

No âmbito regional, a **integração eletroenergética foi capaz de aproveitar sinergias e oportunidades de maneira mais eficaz**, superando situações específicas e emergenciais. A bem-sucedida integração energética na América do Sul trouxe uma ampla gama de benefícios.

A segurança energética foi expressivamente reforçada, com a diversificação das origens de suprimento e o aumento da confiabilidade sistêmica. A eficiência do sistema foi aprimorada, permitindo que recursos energéticos de um país fossem utilizados para atender à demanda em outro, em uma relação mutuamente benéfica. Ademais, a integração contribuiu para redução dos preços da energia, graças à economia de escala, acesso a mercados e ganhos de eficiência, tornando-a mais acessível. Finalmente, a criação de sinergias com projetos estratégicos estimulou o desenvolvimento de infraestrutura e parcerias intersetoriais, promovendo um crescimento sustentável e uma integração abrangente da região. Desta forma, **o País também contribuiu para o fortalecimento da cooperação e de um maior nível de integração de mercados na região, destacando ainda mais a liderança regional do Brasil**.

Por fim, **Brasil cumpriu seus compromissos climáticos com metas graduais e mais ambiciosas de redução de emissões e atingiu a neutralidade climática antes mesmo de 2050**. Assim, o País levou para a COP 2055 os resultados de uma transição energética justa e inclusiva, pautada pela distribuição de riqueza, que efetivamente conseguiu transformar vantagens comparativas em benefícios para a sociedade, além de reforçar seu protagonismo na agenda climática internacional.

C2 – Transição pra quem?

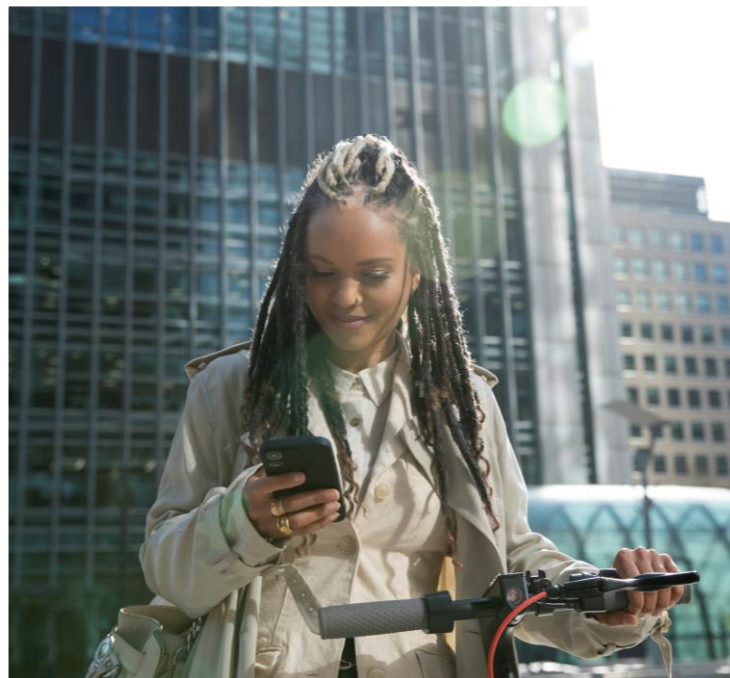
Imagine um futuro em que ...

Ao longo dos últimos 30 anos, **aconteceram avanços em termos de uma governança para um modelo de desenvolvimento focado na redução de emissões.**

Porém, estes foram concentrados em alguns setores, sem resultar em uma trajetória de desenvolvimento sustentável, envolvendo o tripé econômico, ambiental e social. Sendo assim, **o Brasil é uma economia de baixo carbono**, fruto da integração e coordenação de políticas para a transição energética e de avanços em termos da construção de um consenso sociopolítico para tal mudança, **no entanto, ainda apresenta os problemas sociais do passado.**

Nesse sentido, **a transição energética aconteceu, com alguns ganhos para a sociedade, porém sem justiça social.** Isso pode ser visto pela **manutenção da pobreza energética** e pela existência de uma parcela significativa de domicílios sem acesso à energia confiável e moderna com preços acessíveis.

A intensificação de políticas de subsídios para tecnologias que já se mostravam maduras geraram distorções e impactaram negativamente o preço ao consumidor final. Assim, a desigualdade no consumo de energia elétrica entre diferentes classes de renda e regiões do País é um exemplo que evidencia a



C2 – Transição pra quem?

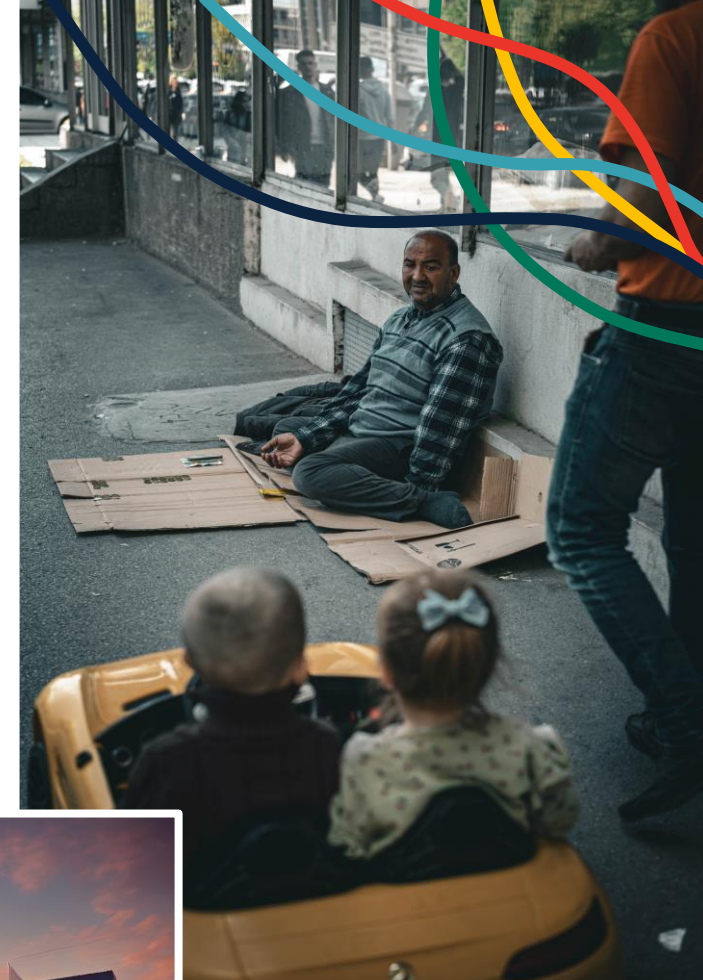
manutenção de vulnerabilidades sociais em um **sistema energético dual – de um lado, atrasado na dimensão social e, de outro, custo-eficiente na trajetória rumo à neutralidade climática.**

A corrida da descarbonização no transporte e na indústria, assim como os importantes aprimoramentos em termos de infraestrutura, resiliência e flexibilidade do sistema energético nacional, foram em grande parte beneficiadas por uma **significativa redução de custos das tecnologias de baixo carbono.** No entanto, pressões externas fizeram com que algumas das opções tecnológicas não fossem necessariamente aquelas mais adequadas ao contexto brasileiro, exigindo um maior investimento em novas infraestruturas e levando a **alguns trancamentos tecnológicos, tornando a transição mais custosa para o País.** Estes fatores criaram **um ambiente mais propício para o desenvolvimento e difusão de novas tecnologias, apoiada por subsídios,** que ocorreu com aproveitamento parcial dos recursos energéticos locais, mas comprometida ao cumprimento da neutralidade climática. A biomassa associada a captura e armazenamento de carbono (BECCS) como estratégia de alcance de emissões negativas no setor energético desenvolveu-se apenas parcialmente, por exemplo.

Tais avanços, somados à **erradicação do desmatamento ilegal no País antes de 2030** e à **redução de custo de**

tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS), deram tração à trajetória da neutralidade climática e espaço para a aceleração da exploração de novas fronteiras de óleo e gás até o final da década de 2030, seguida de uma desaceleração.

Na COP 2055, o Brasil recebeu críticas por, apesar de eficientemente alcançar a neutralidade climática em 2050, não ter conseguido mobilizar mudanças mais estruturais na sua economia – que se mantém no modelo primário-exportador e com uma certa dependência tecnológica externa – a partir de uma transição energética para longe dos fósseis e das pessoas.



C3 – Transição desperdiçada

Imagine um futuro em que ...

O Brasil caminhou lentamente na construção de um conjunto de políticas públicas em prol de um modelo de desenvolvimento sustentável alinhado à agenda climática. Essas políticas alcançaram bons resultados setoriais em cadeias produtivas em que o País já estava inserido, sobretudo nas que possui evidente vantagem comparativa, como a de biocombustíveis. Os progressos nesses setores foram favorecidos por um certo consenso sociopolítico e uma **moderada coordenação e integração de políticas**, o que se refletiu no aumento tímido da capacidade produtiva dessas cadeias.

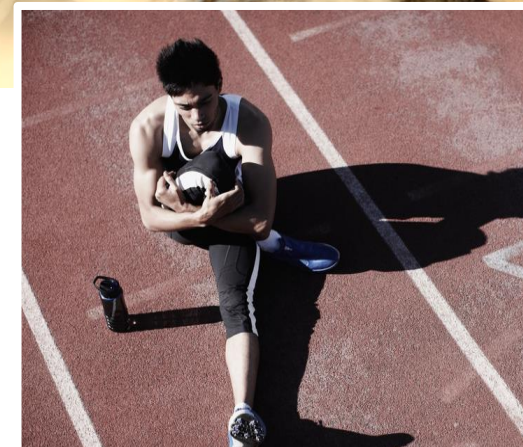
No entanto, os resultados dessa governança não foram amplos, tendo pouco sucesso no desenvolvimento nacional de capacidade produtiva e tecnológica em cadeias inovadoras relevantes para a transição energética. Apesar da redução gradual dos custos de tecnologias de baixo carbono, o financiamento foi insuficiente e inadequado e a regulação foi reativa. Com isso, a **descarbonização nos setores de difícil abatimento evoluiu lentamente**. Como resultado, o País não alcançou o compromisso de emissões líquidas nulas de gases de efeito estufa em 2050.

Desse modo, **o desenvolvimento econômico brasileiro se manteve altamente baseado no modelo primário-**

exportador. No setor energético, esse padrão ficou evidente no desenvolvimento de grandes projetos de produção de hidrogênio focados para o mercado externo, sem avanços em elos da cadeia com maior agregação de valor e altamente dependente de importação tecnológica.

Nesse contexto, o Brasil evoluiu de forma limitada em seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Particularmente em relação ao ODS 7, **houve pouca redução da pobreza energética e o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis de energia não foi plenamente alcançado**. Assim, a transição energética justa e inclusiva como vetor de desenvolvimento sustentável avançou parcialmente.

Apesar do aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos, **não houve um fortalecimento de medidas de adaptação para aumento da resiliência do sistema energético nacional**. Dessa forma, não se ampliou a utilização de tecnologias mais modernas para provimento de flexibilidade e resiliência na operação da rede e para aumentar a capacidade de armazenamento, mantendo a predominância de tecnologias convencionais. Essa característica levou a um aumento de custos de operação, não permitindo um aproveitamento mais eficiente do sistema. Ainda assim, houve alguns **aprimoramentos pontuais no desenvolvimento de**



C3 – Transição desperdiçada

infraestrutura para o sistema elétrico.

Os combustíveis fósseis permaneceram como as fontes dominantes na oferta total de energia primária no mundo. Porém, a sua participação no mix global vem se reduzindo paulatinamente desde a década de 2020, diante dos avanços de competitividade das fontes renováveis. Nesse contexto, **o Brasil permanece como grande produtor e exportador de petróleo e registrou aumento expressivo da produção de gás natural, reduzindo a sua dependência externa por este energético.** A indústria petrolífera nacional foi impulsionada, sobretudo, pela exploração de novas fronteiras nas décadas de 2020 e 2030. No entanto, a partir da década de 2040, o declínio da demanda global de petróleo limitou o desenvolvimento de novos projetos de óleo e gás de grande porte no País.



C4 – Transição pra quê?

Imagine um futuro em que ...

Uma governança fraca e limitada para um modelo de desenvolvimento alinhado à agenda climática impediu uma mudança mais estrutural na economia brasileira, fazendo com que **o Brasil não tenha aproveitado a agenda climática e de transição energética como diferencial em sua estratégia de desenvolvimento.**

Dessa forma, a economia brasileira não conseguiu avançar em cadeias relevantes para a transição energética, mantendo a dependência tecnológica de outros países e o seu modelo primário-exportador, com forte participação de *commodities* em sua pauta de exportações, inclusive o petróleo.

Embora haja um contexto global de maior preocupação com as mudanças climáticas, **o País não evoluiu significativamente em termos da transição energética e não cumpriu os compromissos climáticos globais firmados, como o de alcançar a neutralidade climática em 2050**, por falta de um consenso sociopolítico claro e pela forte presença de *lobbies*, especialmente no setor agropecuário e na indústria fóssil. Essa ausência de consenso acabou se refletindo em **falta de coordenação e integração de políticas públicas para a transição energética, comprometendo a evolução do País para uma economia de baixo carbono.**

Somado a isso, **o processo de transição energética também foi limitado por questões regulatórias e relacionadas aos custos de tecnologias de baixo carbono.** O arcabouço regulatório não evoluiu no sentido de estimular a disseminação dessas tecnologias e os custos destas se mantiveram elevados, inibindo o seu desenvolvimento no País. Além disso, o custo de capital se manteve elevado, tornando o financiamento para a transição energética insuficiente e inadequado.

A despeito do ambiente mais desfavorável para as tecnologias de baixo carbono, a matriz energética não se alterou de forma substancial em relação ao observado no início da década de 2020. Com os custos mais pressionados e com um processo de transformação digital lenta no setor, **o sistema elétrico não conseguiu adotar soluções inovadoras – como digitalização, baterias, reversíveis etc. – para garantir sua flexibilidade e permaneceu adotando tecnologias convencionais**, como hidrelétricas e térmicas a gás natural.

A situação desfavorável dos fatores habilitadores para a transição energética, como custos e regulação de novas tecnologias e a falta de um consenso e de coordenação de políticas para a transição energética, impactou **o ritmo e a intensidade da descarbonização nos setores de difícil abatimento, fazendo com que esse processo**



C4 – Transição pra quê?

tenha sido lento tanto no setor de transporte quanto no industrial, impactando as exportações e fragilizando a economia nacional.

Apesar da maior frequência de eventos climáticos extremos e da preocupação com a segurança energética, ao longo dos últimos 30 anos, o sistema elétrico continuou adotando as mesmas práticas de resiliência, ainda com relevância dos combustíveis fósseis na operação do sistema, se colocando, de alguma forma, em uma posição de vulnerabilidade, trazendo custos adicionais que oneraram ainda mais os consumidores.

No tocante à integração eletroenergética na América Latina, não houve avanços significativos e o Brasil manteve o ritmo de aproveitamento de sinergias presentes nesse processo, com foco em atendimento de demandas específicas.

Ao longo dos anos, a demanda por serviços energéticos se expandiu, porém ela se manteve com baixa responsividade e **não foi observado um processo de racionalização amplo do consumo de energia em virtude dos avanços tímidos em termos de eficiência energética.**

Ainda que haja um maior protagonismo do consumidor e uma maior descentralização dos sistemas energéticos, a expansão dos recursos energéticos distribuídos foi

atenuada com uma **certa estagnação do modelo RED baseado em geração distribuída.**

Com uma demanda por petróleo e seus derivados expressiva tanto internacional quanto doméstica e com os custos pressionados de tecnologias de baixo carbono, o setor de óleo e gás apresenta uma posição de destaque no Brasil em 2055. Sendo assim, **o País acelerou a exploração de novas fronteiras nos últimos 30 anos, aumentando a sua produção e relevância no mercado internacional.**

No que diz respeito ao aspecto social, não houve grandes avanços, já que a transição energética mais limitada não conseguiu ter um caráter inclusivo e justo. As ineficiências setoriais se intensificaram e oneraram ainda mais os consumidores, fazendo com que a pobreza energética não tenha sido reduzida e que, em 2055, não tenha sido atingido o acesso universal, confiável e moderno à energia com modicidade tarifária. Soma-se a isso o fato de as inovações terem produzido impactos tímidos sobre o desenvolvimento sustentável, sendo pouco percebidos pela sociedade. Dessa forma, **a inovação não foi aproveitada como um fator potencializador do desenvolvimento no País.**



C5 – Transição bloqueada

Imagine um futuro em que ...

Os eventos climáticos sediados no Brasil na década de 2020 geraram *momentum* para um avanço, ainda que parcial, da governança brasileira para agenda climática. **Apesar da maior mobilização e coordenação de alguns setores**, em especial aqueles ligados à mudança de uso da terra, **o Brasil não conseguiu alcançar o seu compromisso de neutralidade climática em 2050 e o sistema energético tampouco foi capaz de provocar mudanças mais estruturais rumo a uma economia de baixo carbono.**

A atuação não coordenada e de disputa entre os países dificultou a expansão das cadeias de suprimento levando a um processo duradouro de inflação provocado pelo aumento de preços de produtos e serviços relacionados à transição energética, com efeitos retardatários para o desenvolvimento de economias de baixo carbono. Neste contexto, **a transição energética brasileira foi cerceada por uma forte pressão de custos das tecnologias de baixo carbono**, que foi, em parte, explicada pela **baixa capacidade produtiva e tecnológica do País nessas cadeias**, mantendo a **relação de dependência de outras economias** e a posição de vulnerabilidade aos movimentos internacionais. Além disso, a **ausência de avanços no mercado de carbono regulado e de mecanismos inovadores e mais integrados de**



C5 – Transição bloqueada

financiamento para inovação em energia também dificultaram a transição brasileira para uma economia de baixo carbono.

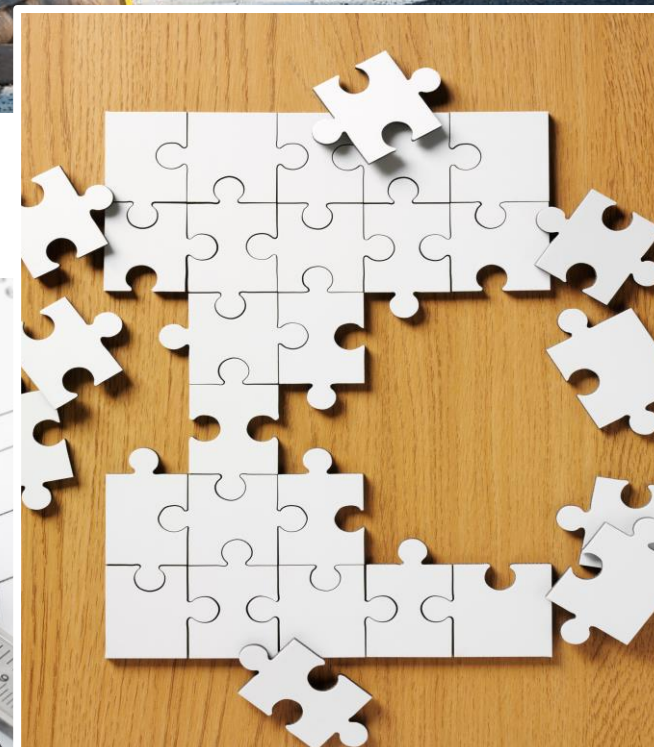
Adicionalmente, no cenário internacional, o agravamento de tensões nas cadeias de suprimento de baixo carbono (inclusive CCS) e seu alto custo associado, fizeram com que **o óleo e o gás ganhassem mais protagonismo no atendimento das necessidades energéticas nacional e global**. Isso levou ao crescimento da oferta e demanda internacional de O&G (sem CCS), trazendo dificuldades para a descarbonização do sistema energético brasileiro.

No campo doméstico, **a reatividade da regulação para tecnologias de baixo carbono, a lentidão da inserção de tecnologias digitais e a baixa coordenação de políticas para a transição** resultaram no padrão de “puxadinhos” que **impediram avanços nos 3Ds – descentralização, digitalização e descarbonização – e uma melhoria do acesso à energia no País**.

Apesar do aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos, **o sistema energético nacional não ampliou a utilização de tecnologias mais modernas para provimento de flexibilidade e resiliência na operação** mantendo a predominância de tecnologias convencionais. Essa característica levou a um aumento dos custos de operação, não permitindo um aproveitamento mais eficiente do sistema.

Ainda assim, houve alguns **aprimoramentos pontuais no desenvolvimento de infraestrutura para o sistema elétrico**.

Mesmo com a aceleração de exploração de novas fronteiras de óleo e gás, o País não conseguiu direcionar efetivamente a renda do petróleo para criação de capacidade produtiva e inovativa local, nem potencializar seus impactos no desenvolvimento sustentável para toda a sociedade.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA GOV (2024). **Plano unifica ações de Estado para política energética mais verde e inclusiva**. 26 ago. 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202408/plano-unifica-acoes-de-estado-para-politica-energetica-mais-verde-e-inclusiva>. Acesso em: dezembro 2024.

ANBIMA - Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiro e de Capitais (2024). **Boletim de debêntures incentivadas e de infraestrutura**. 17 jul. 2024. Disponível em: <https://data.anbima.com.br/publicacoes/boletim-de-debentures-incentivadas-e-de-infraestrutura/captacoes-no-mercado-de-debentures-incentivadas-atingem-64-bi-no-primeiro-semester>. Acesso em: novembro 2024.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2021). **Por um Futuro Sustentável: BNDES + Energias Renováveis**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/export/sites/default/.galleries/downloadgallery/POR-UM-FUTURO-SUSTENTAVEL-BNDES-ENERGIAS-RENOVAVEIS-03-11.pdf>. Acesso em: novembro 2024.

____ (2023). **BNDES, Finep e MCTI lançam maior programa de inovação do país com apoio de R\$ 60 bi e novas taxas**. 31 ago. 2023. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-finep-e-mcti-lancam-maior-programa-de-inovacao-do-pais-com-apoio-de-60-bi-e-novas-taxas>. Acesso em: dezembro 2024.

____ (2024). **Novo Fundo Clima cresce e tem R\$ 10,4 bilhões com novas condições para projetos verdes**. 2 abr. 2024. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/novo-fundo-clima-cresce-e-tem-10,4-bilhoes-de-reais-com-novas-condicoes-para-projetos-verdes>. Acesso em: dezembro 2024.

BLOOMBERGNEF (2024). **Energy Transition Investment Trends 2024: Tracking global investment in the low-carbon transition**. Disponível em: <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends-2024.pdf>. Acesso em: novembro 2024.

BP (2023). **BP Energy Outlook 2023 edition**. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>. Acesso em: novembro 2024.

BRASIL (2023a). **Governo Federal retoma Luz para Todos e irá levar energia para mais de 500 mil famílias brasileiras**. 4 ago. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-retoma-luz-para-todos-e-ira-levar-energia-para-mais-de-500-mil-familias-brasileiras>. Acesso em: dezembro 2024.

____ (2023b). **Transmissão de energia terá R\$ 89 bilhões em investimentos no novo PAC**. 23 ago. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/transmissao-de-energia-tera-r-89-bilhoes-em-investimentos-no-novo-pac>. Acesso em: dezembro 2024.



____ (2024a). **Presidente Lula sanciona Lei do Combustível do Futuro para promover a mobilidade sustentável.** 8 out. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2024/10/presidente-lula-sanciona-lei-do-combustivel-do-futuro-para-promover-a-mobilidade-sustentavel>. Acesso em: dezembro 2024.

____ (2024b). **Brasil entrega à ONU nova NDC alinhada ao Acordo de Paris.** 13 nov. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entrega-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris>. Acesso em: dezembro 2024.

____ (2024c). **Presidente Lula sanciona lei que cria mercado regulado de carbono no Brasil.** 12 dez. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2024/12/presidente-lula-sanciona-lei-que-cria-mercado-regulado-de-carbono-no-brasil>. Acesso em: dezembro 2024.

CEBDS e PSR (2023). **Roadmap: Os Caminhos do Setor Empresarial Brasileiro na Transição Energética Nacional.** Disponível em: https://cebds.org/wp-content/uploads/2023/06/CTClima_TransicaoEnergetica-2023_CEBDS.pdf. Acesso em: novembro 2024.

CEBRI, BID, EPE e CENERGIA (2023). **Neutralidade de carbono até 2050: Cenários para uma transição eficiente no Brasil.** Disponível em: https://www.cebri.org/media/documentos/arquivos/PTE_RelatorioFinal_PT_Digital_.pdf. Acesso em: novembro 2024.

CLIMATE ACTION TRACKER (2023). **CAT net zero target evaluations.** Disponível em: <https://climateactiontracker.org/global/cat-net-zero-target-evaluations/>. Acesso em: novembro 2024.

DELOITTE (2020). **The future of energy: A novel approach to creating advantage in the face of systemic uncertainty, via scenario planning.** Disponível em: <https://www.deloitte.com/content/dam/assets-shared/legacy/docs/perspectives/2022/gx-eri-future-of-energy.pdf>. Acesso em: novembro 2024.

EIA – U.S. Energy Information Administration (2023). **Anual Energy Outlook 2023.** Disponível em: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO2023_Narrative.pdf. Acesso em: novembro 2024.

ENERGY INSTITUTE (2024). **Statistical Review of World Energy.** Disponível em: <https://www.energyinst.org/statistical-review/>. Acesso em: novembro 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2007). **Plano Nacional de Energia 2030.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/Relat%c3%b3rio%20final%20PNE%202030.pdf>. Acesso em: novembro 2024.

____ (2020). **Plano Nacional de Energia 2050.** Relatório Final. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: novembro 2024.



_____ (2023). **Atlas de Eficiência Energética Brasil 2023**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-788/Atlas_Brasil_2023. Acesso em: novembro 2024.

_____ (2024a). **Balanço Energético Nacional – BEN 2024: Relatório Síntese Ano base 2023**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: novembro 2024.

_____ (2024b). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2034: Versão para Consulta Pública**. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-737/Relat_rio_PDE_2034_e_Anexo_II_Proposi_o_de_Diretrizes_para_elabora_o_do_PDE_2035.pdf. Acesso em: novembro 2024.

_____ (2024c). **Inova-e: Painel de indicadores de investimentos em inovação em energia no Brasil**. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/inova-e/index.html>. Acesso em: dezembro 2024.

EPRI e GTI ENERGY (2023). **LCRI Net-Zero 2050: U.S. Economy-Wide Deep Decarbonization Scenario Analysis**. Disponível em: <https://lcri-netzero.epri.com/>. Acesso em: novembro 2024.

FGV – Fundação Getúlio Vargas (2024). **Indicadores anuais de produtividade**. Observatório da Produtividade Regis Bonelli. Disponível em: <https://ibre.fgv.br/observatorio-produtividade/temas/categorias/ptf-anual>. Acesso em: novembro 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2024). **Contas Nacionais Trimestrais – 4º trimestre de 2023**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html>. Acesso em: dezembro 2024.

IEA – International Energy Agency (2021). **Empowering Cities for a Net Zero Future: Unlocking resilient, smart, sustainable urban energy systems**. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d5c939d-9c37-490b-bb53-2c0d23f2cf3d/G20EmpoweringCitiesforaNetZeroFuture.pdf>. Acesso em: novembro 2024.

_____ (2022). **World Energy Outlook 2022**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em: novembro 2024.

_____ (2023). **Net Zero Roadmap A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach**. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf. Acesso em: novembro 2024.

_____ (2024a). **Energy Technology Perspectives 2024**. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffbd8bf6-32d1-4099-ae38-eae1123e2072/EnergyTechnologyPerspectives2024.pdf>. Acesso em: novembro 2024.



_____ (2024b). **Brazil's opportunity to lead the global dialogue on energy and climate**. 18 jul. 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/commentaries/brazil-s-opportunity-to-lead-the-global-dialogue-on-energy-and-climate>. Acesso em: dezembro 2024.

_____ (2024c). **World Energy Investment 2024**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2024/>. Acesso em: dezembro 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf. Acesso em: novembro 2024.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2024). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS**. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/ods/ods7_card.html. Acesso em: novembro 2024.

IRENA – International Renewable Energy Agency (2022). **Scenarios for the Energy Transition: Experience and good practices in Latin America and the Caribbean**. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Long_term_scenarios_LAC_EN_2022.pdf?rev=03e2f1c0b9fe443585d0b917713ee5fc. Acesso em: novembro 2024.

_____ (2023a). **World Energy Transitions Outlook 2023**. Disponível em: https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_2023.pdf. Acesso em: novembro 2024.

_____ (2023b). **Long-Term Energy Scenarios and Low-Emission Development Strategies: Stocktaking and alignment**. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jan/IRENA_LTES_LE-LTDS_stocktake_2023.pdf. Acesso em: novembro 2024.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2024). **Serviço de Registro Nacional de Emissões (SIRENE)**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>. Acesso em: novembro 2024.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (2024). **Nova Indústria Brasil: Plano de Ação para a Neointustrialização 2024-2026**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/composicao/se/cndi/plano-de-acao/nova-industria-brasil-plano-de-acao.pdf>. Acesso em: dezembro 2024.

MINISTÉRIO DA FAZENDA (2023). **Taxonomia Sustentável Brasileira: Plano de Ação**. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/orgaos/spe/taxonomia-sustentavel-brasileira/arquivos-taxonomia/taxonomia-sustentavel-brasileira-dezembro-v2.pdf>. Acesso em: dezembro 2024.

_____ (2024). **Novo Brasil: Plano de Transformação Ecológica**. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/transformacao-ecologica>. Acesso em: dezembro 2024.



NREL – National Renewable Energy Laboratory (2022). **Examining Supply-Side Options to Achieve 100% Clean Electricity by 2035**. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/81644.pdf>. Acesso em: novembro 2024.

ONU – Organização das Nações Unidas (2024). **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: novembro 2024.

OUR WORLD IN DATA (2024). **Primary energy consumption per capita**. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-energy-use>. Acesso em: dezembro 2024.

SGB – Serviço Geológico do Brasil (2024). **Brasil tem potencial para ter uma das cinco maiores reservas de urânio do mundo**. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/w/brasil-tem-potencial-para-ter-uma-das-cinco-maiores-reservas-de-uranio-do-mundo>. Acesso em: novembro 2024.

SHELL (2023). **The Energy Security Scenarios – Full report**. Disponível em: https://www.shell.com/news-and-insights/scenarios/the-energy-security-scenarios/_jcr_content/root/main/section_926760145/promo/links/item0.stream/1679344984968/5bc8327925d66e1402040d0e79fed7291bf9b7e9/energy-security-scenarios-full-report.pdf. Acesso em: novembro 2024.

SMIL, Vaclav (2017). **Energy Transitions: Global and National Perspectives**, 2ª edição. Santa Barbara, California: Praeger, 2017

STATKRAFT (2022). **Low Emissions Scenario 2022**. Disponível em: <https://www.statkraft.com.br/sustentabilidade/low-emissions-scenario/>. Acesso em: novembro 2024.

TALEB, Nassim N. (2018). **A lógica do cisne negro: o impacto do altamente improvável**. Tradução de Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: BestSeller, 2018.

UK MET OFFICE (2024). **How is climate linked to extreme weather?**. Disponível em: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate/climate-and-extreme-weather>. Acesso em: dezembro 2024.

USGS – U.S. Geological Survey (2024). **Mineral Commodity Summaries 2024**. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2024>. Acesso em: novembro 2024.

VALOR ECONÔMICO (2023). **BNDES busca projetos para financiar transição**. 11 out. 2023. Disponível em: <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2023/10/11/bndes-busca-projetos-para-financiar-transicao-energetica.ghtml>. Acesso em: novembro 2024.

AGRADECIMENTOS

O GT Cenários expressa seu profundo agradecimento:

- Às lideranças da EPE, cuja participação nas entrevistas sobre incertezas do sistema energético, bem como orientação e validação dos desenvolvimentos do GT, foram fundamentais: **Angela Livino, Giovani Machado, Gustavo Ataíde, Heloísa Borges, Reinaldo Garcia, Thiago Ivanoski e Thiago Prado.**
- Aos especialistas externos que enriqueceram as oficinas temáticas com suas valiosas contribuições e debates produtivos: **Alexandre Szklo** (UFRJ), **André Osório** (Eletronuclear), **Bernardo Sicsú** (Abraceel), **Christiano Vieira** (ONS), **Darlan Santos** (ANAC), **Décio Oddone** (Brava Energia), **Fernando Costa** (Marinha do Brasil), **Fernando Salina** (CSN), **Gonzalo Visedo** (SNIC), **Jerson Kelman** (UFRJ), **Joísa Dutra** (FGV), **Paulo Pedrosa** (Abrace), **Sinval Gama** (Eletronuclear), **Túlio Andrade** (Itamaraty) e **Viviana Coelho** (Petrobras).
- Aos membros do **Conselho Consultivo da EPE (Concepe)**, cuja participação ativa na dinâmica sobre incertezas do sistema energético foi essencial para o sucesso das atividades do GT Cenários.
- Aos integrantes do **GT Modelos**, pelas interações e contribuições valiosas ao longo do processo.
- Às dezenas de **colaboradores da EPE e do MME** que contribuíram por meio de formulários e questionários individuais, agregando diversidade às análises.
- À **Assessoria de Comunicação (Ascom)** da EPE, pelo apoio na elaboração de materiais e na divulgação das atividades e eventos internos do GT.
- À **Cíntia Senra, Gustavo Magalhães e Maria das Graças Gomes** pelo suporte dedicado e eficaz na organização das reuniões e oficinas do GT.

As imagens utilizadas neste relatório foram obtidas nas plataformas Canva, Flaticon e Freepik. Os ícones foram obtidos em Flaticon/Freepik e Flaticon/Becris.



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Cenários Energéticos

Plano Nacional de Energia 2055

Siga a EPE nas redes sociais e mídias digitais:

