

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Ministério de Minas e Energia



Plano Setorial de Energia



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Vice-Presidente

GERALDO ALCKMIN

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA

Ministra de Estado

MARINA SILVA

SECRETARIA-EXECUTIVA

Secretário-Executivo

JOÃO PAULO RIBEIRO CAPOBIANCO

SECRETARIA NACIONAL DE MUDANÇA DO CLIMA

Secretário

ALOISIO LOPES PEREIRA DE MELO

DEPARTAMENTO DE POLÍTICAS PARA ADAPTAÇÃO E RESILIÊNCIA À MUDANÇA DO CLIMA

Diretora

INAMARA SANTOS MÉLO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Ministra de Estado

LUCIANA SANTOS

SECRETARIA-EXECUTIVA

Secretário-Executivo

LUIS MANUEL REBELO FERNANDES

SECRETARIA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

Secretária

ANDREA BRITO LATGÉ

DEPARTAMENTO PARA O CLIMA E SUSTENTABILIDADE

Diretor

OSVALDO LUIZ LEAL DE MORAES

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

ALEXANDRE SILVEIRA DE OLIVEIRA

SECRETARIA-EXECUTIVA

Secretário-Executivo

ARTHUR CERQUEIRA VALÉRIO

SECRETARIA NACIONAL DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E PLANEJAMENTO

Secretário

GUSTAVO CERQUEIRA ATAÍDE

DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÕES, ESTUDOS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Diretor

LEANDRO PEREIRA DE ANDRADE

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Ministério de Minas e Energia

Plano Clima Adaptação Plano Setorial de Energia

Brasília/DF
MMA, MCTI, MME
2025



© 2025 Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citados a fonte do MMA, MCTI, MME ou sítio da Internet no qual pode ser encontrado o original em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/mudanca-do-clima/planosetorial-energia.pdf>

Equipe Técnica

MME

Aldo Barroso Cores Junior, Alexandra Albuquerque Maciel, André Luiz Barros de Brito, Cláudia Elisabeth Bezerra Marques, Cláudir Afonso Costa, Esdras Godinho Ramos, Guilherme Zanetti Rosa, Gustavo Santos Masili, João Alencar Oliveira Júnior, Karina Araujo Sousa, Leandro de Oliveira Albuquerque, Leandro Pereira de Andrade, Liliane Ferreira da Silva, Marco Antônio Julianotto, Mariana Ferreira Carriconde de Azevedo, Patrícia Naccache Martins da Costa, Poliana Marcolino Corrêa, Rafaela C. Guerrante G. S. Moreira, Samira Sana Fernandes de Sousa Carmo, Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares, Thiago Varella Faria, Thiago Vasconcellos Barral Ferreira, William de Oliveira Medeiros, Wilson Rodrigues de Melo Junior

MMA

Adriana Brito da Silva, Daniela Dantas de Menezes Ribeiro, Inamara Santos Mélo, Isabela Mirna Marques Lourenço, João Filipe Iura Schafaschek, Karine Lopes, Lincoln Muniz Alves, Pedro Alexandre Rodrigues Christ

MCTI

Diogo Victor Santos, Márcio Rojas da Cruz, Ricardo Vieira Araujo, Sávio Túlio Oselieri Raeder

Apoio Técnico

EPE

Aline Maria dos Santos, Ana Dantas Mendez de Mattos, Arnaldo dos Santos Junior, Cristiane Moutinho Coelho, Glaysson Muller, Hermani de Moraes Vieira, Juliana Rangel do Nascimento, Renato Haddad Simões Machado

ANEEL

Djane Maria Soares Fontan Melo, Paulo Luciano de Carvalho, Henrique Paiva de Paula

ANP

Alexandre Maciel Kosmalski Costa, Daniela Godoy Martins Correa, Luis Eduardo Esteves, Marina Abelha Ferreira, Melissa Cristina Pinto Pires Mathias, Renata Bona Mallemont Rebello, Raphael Neves Moura, Rosangela Moreira de Araujo

ONS

Hélio Camargo Junior, Luana Pinheiro Geraldo, Paulo Diniz de Oliveira, Renata Valladão Velasco

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Ana Carolina Câmara, Armin Deitenbach, Fernanda Leite, Francisco Veiga Lima, Luciana Mara Alves, Pablo Borges de Amorim

Projeto Ciência&Clima (GEF/PNUD/MCTI)

Mariana Gutierrez Arteiro da Paz, Natalia Torres D'Alessandro, Renata Patricia Soares Grisolí

Revisão Técnica

Caroline Medeiros Rocha Frasson (LACLIMA), Gustavo Felipe Balué Arcoverde (INPE/AdaptaBrasil), Gustavo Cretton (COPPE UFRJ), Talita Borges (COPPE UFRJ), Thales Vaz Penha (INPE/AdaptaBrasil)

Revisão de Texto

Laura Nicoli Pereira e Silva, Wagner Luiz Ribeiro dos Santos

Projeto Gráfico

Ana Krebs

Diagramação e Arte

Estúdio Dupla Ideia Design

Coordenado pelo MME, este Plano Setorial de Energia integra o Plano Clima Adaptação, que conta com coordenação-geral do MMA, coordenação técnico-científica do MCTI e apoio do ProAdapta — projeto implementado pela GIZ no âmbito da parceria entre o MMA e o Ministério Federal do Meio Ambiente, Ação Climática, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear da Alemanha (BMUKN), como parte da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI) — e do Ciência&Clima — projeto de cooperação técnica internacional (BRA/23/G31) executado pelo MCTI com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD Brasil) e recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

B823p Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

Plano Clima Adaptação [recurso eletrônico] : plano setorial de energia.

– Brasília, DF : MMA : MCTI : MME, 2025.

83 p. : il. color.

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7738-529-4 (online)

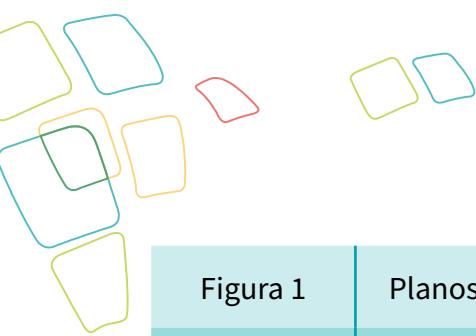
1. Mudança climática. 2. Política Pública. 3. Renovabilidade energética. 4. Ameaças climáticas. 5. Fontes energéticas. I. Título.

CDU 504.7

IBAMA

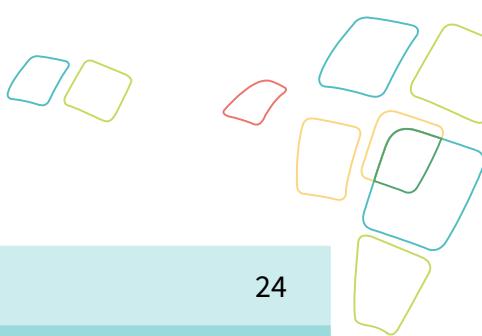
Biblioteca Nacional do Meio Ambiente

Thaís da Silva Rodrigues – CRB1/3688



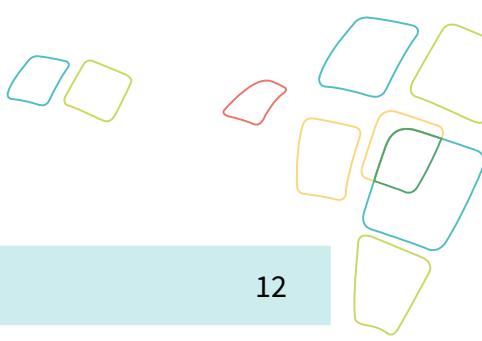
Lista de Figuras

Figura 1	Planos Setoriais e Temáticos do Plano Clima Adaptação	10
Figura 2	Participação das renováveis na OIEE	14
Figura 3	Principais riscos climáticos do setor Energia	23
Figura 4	Anomalia de precipitação nas bacias dos rios Parnaíba e Grande e Incremental à Calha Principal do Paraná no período de setembro/2011 a setembro/2021	34
Figura 5	EAR diário do SIN	35
Figura 6	Estrutura de governança do PRR	69
Figura 7	Organização da PNTE	70



Listas de Quadros

Quadro 1	Síntese dos riscos prioritários para o setor Energia	24
Quadro 2	Objetivos setoriais, metas e ações do Plano Setorial de Energia	51
Quadro 3	Quadro-síntese de atribuição de responsabilidades na gestão do Plano	71
Quadro 4	Metas e indicadores para monitoramento e avaliação do Plano Setorial de Energia	73

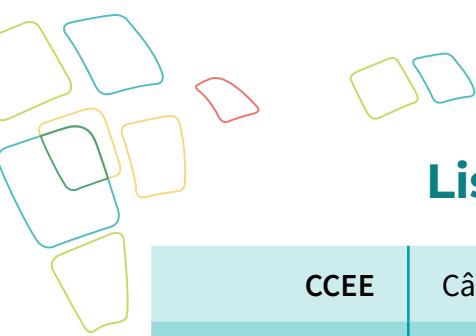


Lista de Tabelas

Tabela 1

Oferta Interna de Energia (OIE) - 2023 e 2024

12



Lista de Abreviaturas e Siglas

CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
EAR	Energia Armazenada
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
IEA	International Energy Agency
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
MME	Ministério de Minas e Energia
OIE	Oferta Interna de Energia
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PR	Presidência da República
RED	Recursos Energéticos Distribuídos
SIN	Sistema Interligado Nacional
UHE	Usina Hidrelétrica

Apresentação

Este Plano Setorial de Energia, juntamente com outros quinze Planos Setoriais e Temáticos, e a Estratégia Nacional de Adaptação compõem o Plano Clima Adaptação.

O Plano Clima Adaptação é a materialização de uma ampla estratégia do governo federal no enfrentamento à mudança do clima, orientado pela justiça climática, para a construção de um futuro mais resiliente. Ele integra o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Plano Clima), ao lado da Estratégia Nacional de Mitigação e seus Planos Setoriais e das Estratégias Transversais, que abordam: a transição justa e a justiça climática; mulheres e clima; os meios de implementação; educação, capacitação, pesquisa, desenvolvimento e inovação; e o monitoramento, a gestão, a avaliação e a transparência.

No âmbito do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), sob a liderança do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) e coordenação técnica-científica do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o Plano Clima Adaptação envolveu em sua elaboração 25 Ministérios, além de contribuições da sociedade civil e do setor empresarial. A construção dos Planos Setoriais e Temáticos foi liderada pelos ministérios diretamente envolvidos nos temas, os quais serão responsáveis pelo desenvolvimento e pela execução de seus respectivos planos.

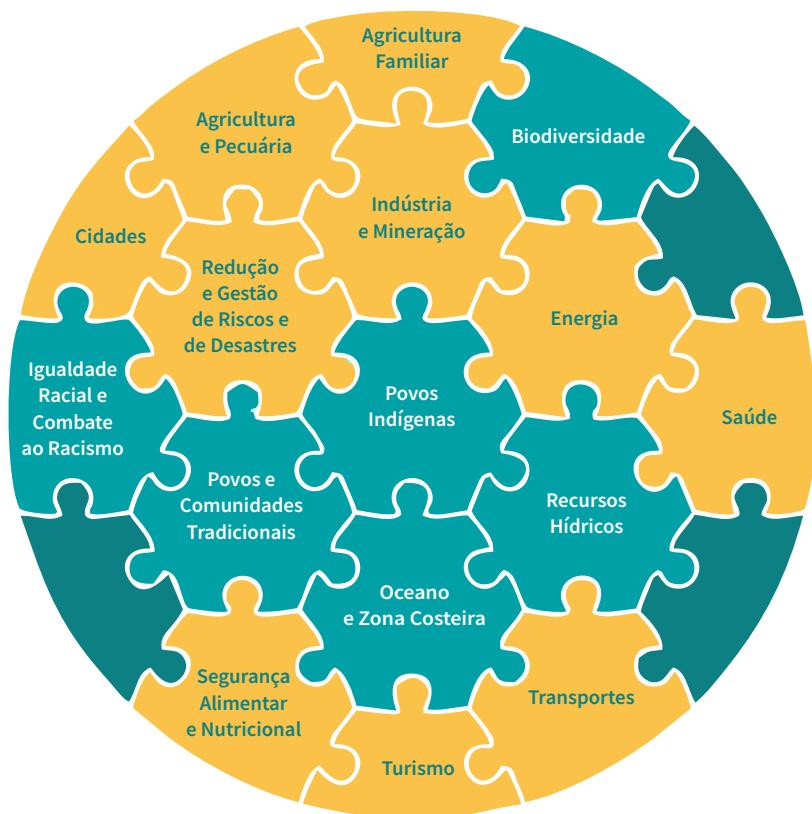
A Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) traz uma contextualização abrangente da agenda climática no Brasil e no mundo, indicando os normativos, compromissos internacionais e marcos legais relevantes. Apresenta os conceitos técnicos e a base metodológica que orientaram sua construção e a dos Planos Setoriais e Temáticos, com ênfase na abordagem de risco climático e no ciclo iterativo da adaptação. Define ainda os princípios gerais, diretrizes, objetivos e metas nacionais, que orientaram a elaboração dos Planos Setoriais e Temáticos, bem como orienta estados e municípios para a elaboração de seus planos de adaptação, conforme estabelecido no artigo 6º da Lei nº 14.904, de 27 de junho de 2024, fortalecendo a articulação entre os diferentes níveis de governo.

O desenvolvimento dos Planos Setoriais e Temáticos contou com uma série de oficinas de trabalho, seminários e reuniões, com o objetivo de realizar capacitações técnicas, promover a transparência do processo e a participação de diferentes segmentos da sociedade. A construção dos conteúdos dos planos teve como fundamento as bases científicas consolidadas no Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC, a literatura científica recente e de alto impacto, acrescidos de contribuições de institutos de pesquisa, como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima).

Os planos tiveram um modelo orientativo, a fim de garantir a harmonização do conteúdo entre diferentes setores e temas, facilitar o diálogo e o monitoramento de ações, bem como servir de base para a realização de capacitações e elaboração das ferramentas utilizadas. Uma das principais bases metodológicas empregada para alinhar o conteúdo das oficinas técnicas e dos modelos orientativos (*templates*) dos Planos Setoriais e Temáticos de adaptação foi a do Ciclo Iterativo da Adaptação. Assim, o processo de criação dos planos considerou quatro dimensões: avaliação de riscos, impactos e vulnerabilidades; planejamento para a adaptação; implementação das ações de adaptação, e monitoramento e avaliação.

A Figura 1 representa o caráter complementar dos dezesseis Planos Setoriais (peças em amarelo) e Temáticos (peças em azul) do Plano Clima Adaptação. Os planos foram definidos com base na Resolução CIM nº 3, de 14 de setembro de 2023, com vistas a considerar as prioridades e urgências em relação às vulnerabilidades atuais do país.

Figura 1 – Planos Setoriais e Temáticos do Plano Clima Adaptação



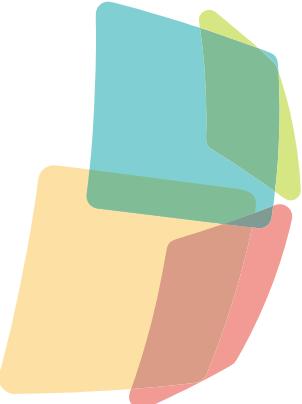
Fonte: Elaboração própria.

Espera-se que a publicação deste Plano Setorial de Energia constitua um marco na agenda de adaptação do setor, direcionando mudanças estruturais e necessárias para a redução das vulnerabilidades climáticas e a garantia da resiliência de pessoas, sistemas e atividades que estão em seu escopo de atuação. Em conjunto com os outros Planos Setoriais e Temáticos, o Brasil avança passos significativos no sentido de se preparar para um novo cenário climático que impõe desafios complexos e multisectoriais.



Sumário

1. Contexto	12
1.1. A importância da adaptação para o setor de Energia	15
1.2. Arranjo institucional	17
1.3. Instrumentos existentes	19
2. Principais riscos e vulnerabilidades	22
2.1. Síntese dos riscos prioritários	22
2.2. Descrição dos riscos prioritários	34
3. Adaptação	46
3.1. Objetivos	46
3.2. Metas e ações	47
4. Gestão, monitoramento e avaliação	68
4.1. Elaboração do Plano	68
4.1.1. Processo de elaboração	68
4.1.2. Mecanismos de participação	68
4.2. Gestão e implementação do Plano Setorial de Energia	68
4.2.1. Responsabilidades na implementação	68
4.2.2. Monitoramento, avaliação e transparência	72
5. Considerações finais	76
Referências	78
Apêndices	82
APÊNDICE A	83



Plano Setorial de Adaptação à Mudança do Clima

Energia

1. Contexto

A matriz energética brasileira – ou oferta interna de energia (OIE) –, abundante em seus recursos de geração de energia, destaca-se pelo elevado uso de fontes renováveis e alta diversificação das fontes, conforme apresentado na Tabela 1 em relação à parcela não renovável, os derivados de petróleo são a fonte com maior preponderância no Brasil, representando 34% em 2024, utilizados principalmente no setor de transportes.

Tabela 1 – Oferta Interna de Energia (OIE) – 2023 e 2024

FONTE DE ENERGIA	mil tep ^(c)		24/23%	Estrutura %	
	2023	2024		2023	2024
NÃO RENOVÁVEL	160.143	160.979	0,5	50,9%	50,0%
PETRÓLEO E DERIVADOS	110.476	109.586	-0,8	35,1%	34,0%
GÁS NATURAL	30.223	30.970	2,5	9,6%	9,6%
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	13.720	14.431	5,2	4,4%	4,5%
URÂNIO (U3O8) E DERIVADOS	3.850	4.156	8,0	1,2%	1,3%
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS ^(a)	1.874	1.836	-2,0	0,6%	0,6%
RENOVÁVEL	154.330	161.012	4,3	49,1%	50,0%
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	37.935	37.271	-1,7	12,1%	11,6%
LENHA E CARVÃO VEGETAL	27.265	27.372	0,4	8,7%	8,5%
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR e ETANOL	52.851	53.715	1,6	16,8%	16,7%
LICOR PRETO E OUTRAS RENOVÁVEIS ^(b)	8.239	9.258	12,4	2,6%	2,9%
EÓLICA E SOLAR	5.428	7.229	33,2	1,7%	2,2%
TOTAL	22.612	26.167	2,4	100,0%	100,0%

(a) Gás de alto-forno, de aciaria e de enxofre; (b) Inclui biodiesel, casca de arroz, biogás, resíduos de madeira, gás de carvão vegetal e capim-elefante; (c) tep – tonelada equivalente de petróleo.

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN 2025) – EPE (2025). Elaboração: MME.

Nesse contexto, é importante destacar que o elevado índice de renovabilidade é derivado de políticas públicas e investimentos em vetores energéticos renováveis, realizados desde a década de 1940, em relação ao aproveitamento do potencial hidrelétrico, e, desde a década de 1970, em relação aos biocombustíveis, com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). No histórico de renovabilidade da matriz elétrica, é fundamental ainda reconhecer o papel estratégico das hidrelétricas de menor porte – incluindo Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Usinas Hidrelétricas (UHE) até 50 MW – na manutenção e na ampliação dessa renovabilidade. Diante disso, elas contribuem com energia limpa¹, renovável e de baixo custo para o sistema elétrico nacional, como também apresentam forte capilaridade, sendo implantados em diversos locais do Brasil, reforçando

¹ Ver o ODS 7 – Energia Limpa e Acessível (<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>)

a segurança energética em diversas regiões e promovendo o desenvolvimento regional sustentável. Dessa forma, como resultado de toda essa integração, o Brasil tem uma das matrizes energéticas mais limpas do planeta, principalmente se comparado às principais economias mundiais.

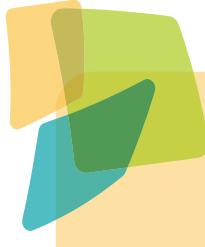
Outrossim, o investimento e as políticas públicas em vetores energéticos renováveis só foram possíveis devido à riqueza de recursos naturais abundantes que o Brasil detém, o que permitiu ao país conquistar um lugar de vanguarda na composição de uma matriz energética sustentável desde a segunda metade do século passado.

Nesse contexto, é muito importante perceber que, nos últimos 50 anos, a matriz energética brasileira passou por grandes transformações em sua composição. Assim, saindo de um perfil com ampla participação de derivados do petróleo, da lenha e do carvão vegetal, na década de 1970, o país passou inicialmente por um processo de expansão do aproveitamento hídrico, do gás natural e dos biocombustíveis líquidos, como o etanol e o biodiesel, diminuindo sua dependência em relação aos derivados de petróleo. Ademais, em um fenômeno mais recente, notando a importância da diversificação das fontes renováveis, por meio de incentivos regulatórios e investimentos, tem sido observada a expansão das fontes renováveis intermitentes, como a eólica e a solar.

Além disso, no contexto da matriz elétrica brasileira, também se observa um elevado índice de renovabilidade, fruto das escolhas pontuadas anteriormente. Contudo, em que pese a expansão de fontes renováveis, especialmente eólica e solar fotovoltaica, tenha contribuído para diversificação da matriz, a hidrelétricidade continua a exercer papel central não apenas em termos de volume, mas também de flexibilidade operacional e estabilidade sistêmica. Nesse cenário, é importante destacar que as hidrelétricas de menor porte (CGH, PCH e UHE até 50 MW) têm sido essenciais para viabilizar o crescimento das demais fontes renováveis intermitentes, pois sua geração é estável e flexível. Considerando que quase a totalidade das importações são oriundas da usina de Itaipu, a fonte hídrica participou com 56,8% da oferta interna de energia elétrica em 2024, enquanto as fontes renováveis como um todo representaram 88% do total (EPE, 2025).

Adicionalmente, para a utilização da energia gerada, o sistema apresenta uma rede de transmissão robusta, que conecta a geração até os centros de carga, o chamado Sistema Interligado Nacional (SIN), constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte, além de alguns sistemas isolados e de autoprodução. De acordo com o Operador Nacional do Sistema (ONS, 2024), em 2023, a extensão da rede de transmissão estava na ordem de 170 mil km, interligando todas as regiões brasileiras e integrando as diferentes fontes de energia elétrica. Dessa forma, a configuração otimiza o aproveitamento dos recursos do País, tirando proveito da complementaridade das fontes, e contribui para a universalização do acesso à energia elétrica de qualidade (EPE, 2022a).

Ainda nesse contexto, cabe destacar que o modelo de interligação elétrica brasileiro se diferencia de muitos outros países devido à sua alta capilaridade e abrangência territorial. Enquanto diversas nações operam com redes regionalizadas ou com interligações limitadas, o SIN permite uma operação integrada em escala continental, viabilizando o intercâmbio de energia entre regiões com perfis distintos de consumo e geração. Ademais, essa característica, com relevante



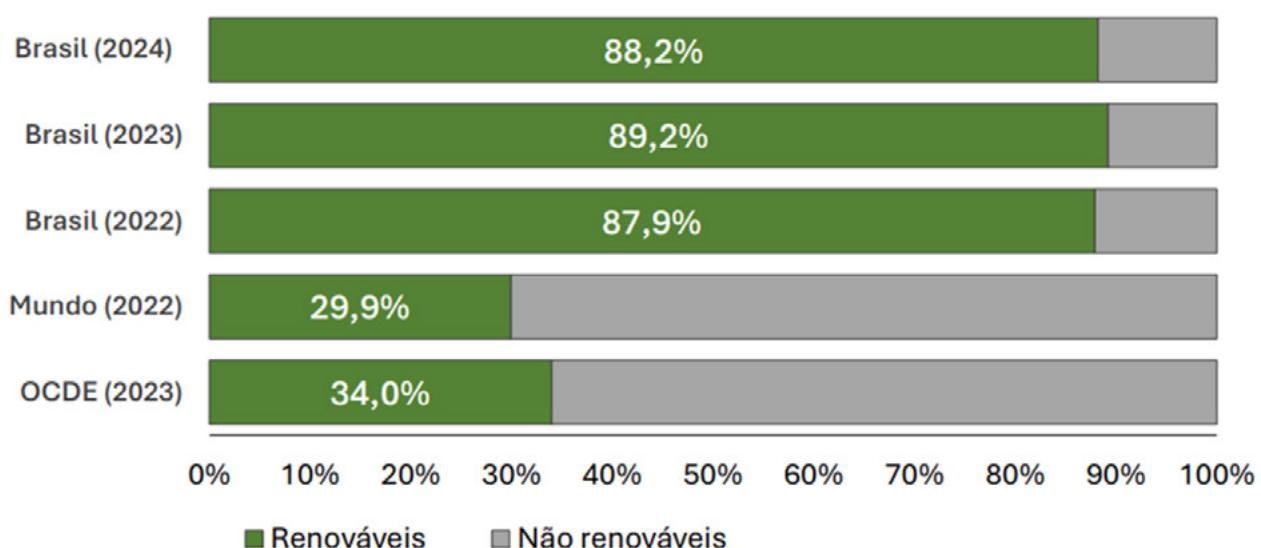
No contexto da matriz elétrica brasileira, também se observa um elevado índice de renovabilidade.

apoio das hidrelétricas, confere ao Brasil uma flexibilidade operacional relevante, contribuindo para a segurança energética e para a otimização do despacho das diferentes fontes disponíveis. Comparativamente, países com dimensões territoriais semelhantes, como os Estados Unidos ou a China, também apresentam sistemas extensos, mas frequentemente segmentados em redes menores ou interconexões parciais, o que reforça a singularidade e a robustez do modelo brasileiro.

Diante disso, é muito importante destacar que, no cenário internacional, nos últimos 50 anos, as matrizes elétricas do Brasil, dos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e de outros países do mundo apresentam as mesmas tendências, na medida em que se reduziram as participações de fontes derivadas de petróleo e hidráulica, enquanto as participações das demais fontes, à exceção do carvão mineral, aumentaram. É importante destacar, contudo, que o cenário de redução da participação hidráulica não se deu de forma homogênea em todas as regiões, visto que, em muitos países, especialmente nos da OCDE, a diminuição não foi resultado de políticas ativas para restringir investimentos em geração hidráulica, como ocorreu com os combustíveis fósseis, mas como consequência do esgotamento dos potenciais hidroelétricos técnica e economicamente viáveis. Diante dessa limitação, essas nações direcionaram seus esforços para a diversificação da matriz, promovendo o desenvolvimento e a inserção de outras fontes renováveis, por exemplo, a solar, a eólica e a biomassa. Tal contexto ajuda a explicar as diferenças significativas nos níveis de renovabilidade entre o Brasil e os outros países, uma vez que, no território brasileiro, ainda há disponibilidade de recursos hídricos que permitem a manutenção de uma participação expressiva da geração hidráulica na matriz elétrica.

Na Figura 2, a qual apresenta a comparação da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE), observa-se que as fontes renováveis, no Brasil, no ano de 2024, representaram 88,2%, em comparação aos indicadores de 29,9% da média mundial e de 34,0% do bloco da OCDE. Quando observado apenas o SIN, o setor elétrico chega a atingir 91,2% de renovabilidade, podendo ser ampliado para quase 94,0% ao se considerar o conceito de energia limpa, com a participação da geração nuclear, que tem tido sua importância ressignificada no contexto da transição energética.

Figura 2 – Participação das renováveis na OIEE



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

Ademais, é importante destacar que, nos últimos anos, vem ocorrendo um rearranjo dentro da parcela de energia elétrica renovável. A matriz, que se caracterizava pela predominância de fontes hidrelétricas, passou por uma transformação com a introdução e a expansão de recursos renováveis variáveis, como usinas eólicas e solares, incluindo micro e minigeração distribuída (MMGD), além da biomassa. Verifica-se, também, a redução da capacidade de regularização dos reservatórios, na medida em que as últimas usinas hidrelétricas construídas no país são a fio d'água, mais expostas a eventos climáticos, como secas e cheias.

Diante disso, a participação cada vez maior de outras fontes de energia renováveis impacta de forma positiva a composição da matriz elétrica nacional, considerando possíveis restrições à geração hidrelétrica, decorrentes de uma demanda hídrica de usos consuntivos cada vez maior e a complementaridade sazonal entre as diversas fontes, entre outros aspectos. Por outro lado, tal composição promove a entrega de uma energia elétrica mais variável e de difícil previsibilidade no tempo e no espaço territorial do Brasil, tornando mais complexa a operação do Sistema Interligado Nacional. Por fim, destaca-se que o Brasil ainda não esgotou seu potencial de ampliação de UHEs com reservatórios de acumulação, fio d'água e hidrelétricas de menor porte (CGH, PCH e UHE até 50 MW), que poderiam contribuir para a segurança energética e aumentar a capacidade de armazenamento e regularização do sistema, oferecendo maior flexibilidade para complementar as fontes variáveis e reduzir os riscos associados à variabilidade climática. Assim, com a expansão de fontes variáveis, é igualmente imprescindível avaliar as possibilidades de ampliação de reservatórios e a potencialização das usinas existentes, de modo a fortalecer a segurança energética, a mitigar impactos climáticos e a assegurar maior estabilidade ao sistema.

Além disso, sobre a geração nuclear, é importante destacar o fato de que ela é considerada uma fonte de energia limpa e firme para a transição energética com segurança, uma vez que apresenta densidade energética muito alta, comparada a fontes renováveis. Isso significa que usinas nucleares ocupam menos espaço enquanto produzem quantidades significativas de eletricidade, podendo fornecer energia estável e confiável para atender à demanda contínua, sem depender das condições climáticas.

1.1 A Importância da adaptação para o setor de Energia

Como um país de dimensões continentais e economia robusta, o Brasil tem, no setor energético, um de seus pilares fundamentais de desenvolvimento. Assim, a disponibilidade de energia de forma segura e acessível é vital para o desenvolvimento socioeconômico do país, contribuindo para todos os setores da economia, permeando desde aspectos básicos da vida do cidadão, como acender uma simples lâmpada, até complexos processos em indústrias. Em uma posição tão fundamental na economia e na sociedade brasileiras, a adaptação à mudança do clima é essencial à sociedade e a demais setores.

Nesse contexto, a mudança do clima vem trazendo transformações significativas na produção da energia e nos hábitos de consumo, modificando a forma de planejar e operar o sistema energético. Diante do elevado índice de renovabilidade das matrizes energética e elétrica brasileiras, o país está diretamente exposto ao processo de alteração climática, que impacta a produção de diversas fontes energéticas dependentes de recursos naturais. Dessa forma, a internalização de estratégias de adaptação a impactos climáticos e ambientais segue, com ainda mais vigor, como parte da dinâmica setorial e do planejamento energético.

De forma simplificada, de acordo com a EPE (2023c), os principais impactos ao setor de Energia podem ser divididos em quatro grupos:

- i) Alterações na disponibilidade e nos regimes climatológicos de recursos, particularmente o recurso hídrico, o que interfere, por exemplo, na geração hidrelétrica e na produção de biocombustíveis;
- ii) Redução na eficiência de equipamentos e sistemas energéticos, em função de altas temperaturas;
- iii) Aumento na demanda por energia elétrica, sobretudo para refrigeração; e
- iv) Riscos e danos às infraestruturas energéticas, especialmente associados a eventos climáticos extremos.

Quanto à relação com outros setores e temas, dada a abrangência do setor energético, pode-se dizer que há relação com todos aqueles previstos na elaboração do Plano Clima. No entanto, no que tange à adaptação, indicam-se a seguir aqueles que, em princípio, apresentam relação mais direta com ela:

- **Recursos Hídricos:** a gestão dos recursos hídricos é crítica para o setor energético, dada a grande participação da geração hidrelétrica no sistema elétrico. Longe de ser uma fragilidade, representa uma oportunidade estratégica para promover uma gestão mais eficiente e integrada dos usos múltiplos da água. Nesse sentido, as usinas hidrelétricas, inclusive as de menor porte (CGH, PCH e UHE até 50 MW), exercem papel estruturante na regulação hidrológica de diversas bacias. Ainda que muitas operem com reservatórios de acumulação reduzida ou em regime de fio d'água, esses empreendimentos contribuem significativamente para a estabilização dos regimes de vazão, sobretudo quando inseridos em cadeias hidrelétricas articuladas com outros usos. Assim, a função de regularização é fundamental não apenas para o setor elétrico, mas também para o abastecimento público, a irrigação, a navegação e o controle de cheias, ampliando o benefício coletivo do uso da água.
- **Agricultura e Pecuária:** os setores energético e de agricultura têm seu elo nos cultivos energéticos. Assim, os efeitos das alterações climáticas podem interferir na dinâmica territorial e comercial de produtos agrícolas e, consequentemente, na produção de culturas bioenergéticas, afetando a oferta de biocombustíveis.
- **Indústria e Mineração:** o setor energético e o setor industrial são profundamente interligados, uma vez que a indústria consome uma parcela significativa da energia disponível no mercado, sendo que muitos setores, como manufatura, mineração e processamento de alimentos, dependem intensamente de eletricidade e combustíveis fósseis para suas operações. Nesse contexto, é certo que, a partir do setor industrial, medidas importantes de eficiência serão fundamentais para a promoção da transição energética. Assim, comprehende-se que essa interação é crucial para a produção de bens e serviços e para o desenvolvimento econômico, e, mediante cenários climáticos extremos, indústrias que dependem fortemente da energia podem enfrentar custos operacionais mais altos.
- **Transportes:** a relação entre o setor energético e o setor de transportes é complexa e afeta a eficiência econômica e ambiental de ambos, na medida em que esse setor é também um dos maiores consumidores de energia. Ademais, a matriz de transportes brasileira conta com grande participação de biocombustíveis: gasolina (E30), diesel (B15), e etanol hidratado, ainda que recentemente tenha crescido a eletrificação da frota. Outrossim, o desenvolvimento de tecnologias, como veículos elétricos (VE), novos biocombustíveis e combustíveis de baixa emissão, está transformando a dinâmica entre esses setores; por isso, o aumento do uso de energia renovável no transporte é uma tendência crescente, o que pode reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Além disso, os impactos climáticos nos modais de transporte, a exemplo das vazantes recorde dos rios da Região Norte, afetam a logística de combustíveis em comunidades isoladas.

- **Cidades:** as cidades são responsáveis por uma parcela significativa do consumo global de energia, utilizando-a em diversas formas, como eletricidade para iluminação pública, aquecimento e refrigeração em edifícios, além de energia para o transporte urbano. Ademais, a infraestrutura urbana, incluindo transporte, água, esgoto e construção, depende de um fornecimento confiável de energia. Além disso, com o aumento das ocorrências de ondas de calor, a demanda por eletricidade para resfriamento pode aumentar drasticamente. Assim, o avanço da tecnologia permitirá o desenvolvimento de cidades inteligentes, que utilizam dados e soluções tecnológicas para melhorar a eficiência energética e a gestão de recursos por meio da integração dos setores energético e urbano.
- **Redução e Gestão de Riscos e de Desastres:** o setor energético se relaciona à gestão de riscos e desastres, particularmente em eventos climáticos extremos. Dessa forma, a articulação entre esses setores é primordial em situações críticas, tais como: em casos de tempestades ou secas extremas, para garantir o fornecimento de energia elétrica e combustíveis; ou, em caso de inundações, para controlar cheias de rios, considerando a capacidade de amortecimento de reservatórios hidrelétricos de acumulação.

1.2 Arranjo institucional

O setor energético é formado por um arranjo institucional bastante robusto e consolidado, com o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), órgão de assessoramento do Presidente da República, atuando como responsável por propor políticas nacionais e medidas específicas no tocante ao setor para a Presidência da República (PR).

Conjuntamente, há a figura do Ministério de Minas e Energia (MME), atuando como órgão competente para a construção: (i) das políticas nacionais de aproveitamento dos recursos energéticos (inclusos hídricos, eólicos, solares e de demais fontes); (ii) das políticas setoriais para a geologia e exploração mineral, do petróleo e seus combustíveis derivados, biocombustíveis, do gás natural e seus derivados e de energia elétrica; e (iii) demais políticas atinentes à oferta e ao uso da energia, inclusive aquelas relacionadas à sustentabilidade e ao desenvolvimento econômico do setor, à universalização do acesso, à integração energética, e ao fomento ao desenvolvimento e à adoção de novas tecnologias.

Internamente, o Ministério é setorialmente integrado por diversas áreas e composto por quatro secretarias nacionais temáticas e finalísticas: **Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento (SNEP)**; **Secretaria Nacional de Energia Elétrica (SNEE)**; **Secretaria Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (SNPGB)**; e **Secretaria Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SNGM)**. No âmbito da **Secretaria Executiva**, a Subsecretaria de Sustentabilidade tem papel ativo em atividades relacionadas ao meio ambiente e à mudança do clima.

Adicionalmente, o Ministério possui empresas vinculadas, entre autarquias, empresas de sociedade mista e empresas públicas, que atuam no setor energético, a saber:

- a **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)** tem por finalidade regular e fiscalizar a produção, a transmissão, a distribuição e a comercialização de energia elétrica;
- a **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)** tem a finalidade de promover a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo, do gás natural, dos combustíveis sintéticos e dos biocombustíveis;

- a **Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN)** objetiva monitorar, regular e fiscalizar a segurança nuclear e a proteção radiológica das atividades e das instalações nucleares, materiais nucleares e fontes de radiação no país;
- a **Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS)**, que foi criada originalmente para explorar pesquisa, lavra, refino, comércio e transporte do petróleo e do gás natural nacionais;
- a **Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (NUCLEP)** objetiva desenvolver, fabricar e comercializar componentes pesados relativos a usinas nucleares, à construção naval e offshore e outros projetos;
- a **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)** tem por finalidade realizar estudos e pesquisas para subsidiar formulação, implementação e avaliação da política e do planejamento energético brasileiro. Sua atuação abrange as áreas do setor energético, incluindo energia elétrica, petróleo, gás natural e seus derivados, além de biocombustíveis;
- a **Empresa Brasileira de Administração de Petróleo e Gás Natural S.A. (PPSA)**, que foi criada para gerenciar as negociações, a exploração e a produção de petróleo e gás natural na camada do Pré-Sal e em áreas consideradas estratégicas; e
- a **Empresa Brasileira de Participação em Energia Nuclear e Binacional (ENBPar)**, constituída em 2022, objetiva manter sob o controle da União a operação de usinas nucleares. A ENBPar é constituída pela Eletronuclear, responsável pela operação das usinas de Angra 1 e Angra 2; pela Indústrias Nucleares do Brasil (INB), que atua no ciclo do combustível, e divide o controle de Itaipu Binacional, com outra autarquia paraguaia; e pela Administração Nacional de Eletricidade (ANDE).

Outras entidades relevantes, principalmente em relação ao setor elétrico, são o Operador Nacional do Sistema (ONS), responsável pela coordenação e pelo controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN); e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), responsável por gerenciar as operações de compra e venda de energia elétrica entre os diversos agentes e empresas do mercado.

No âmbito do acompanhamento da supervisão do setor, está o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), com a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional. Por outro lado, a regulação e a fiscalização ficam a cargo da ANEEL e ANP. Ademais, essa estrutura básica é complementada por uma rede de relações com diversas outras entidades, incluindo órgãos ambientais nacionais, estaduais e municipais, além de agentes do setor privado, associações e outros parceiros estratégicos.

Além disso, registra-se a recente criação do Comitê de Monitoramento do Setor de Gás Natural (CMSGN), no âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME), por meio da Portaria MME nº 805, de 23 de setembro de 2024, como um colegiado com a participação de representantes do MME, da EPE e da ANP, tendo como finalidade o assessoramento, a articulação, o monitoramento de políticas públicas, a formulação de propostas e deliberações para o setor de gás natural. Ademais, ressalta-se que o CMSGN terá atuação de caráter permanente com atribuições que possibilitam o devido acompanhamento desse setor (art. 2º, I a XI, §§ 1º a 4º, da Portaria MME nº 805/2024), designação importante para garantir a resiliência do atendimento energético do país em momentos de variabilidade e escassez de recursos renováveis, com menor fator de emissão do que outros combustíveis fósseis, como carvão e derivados de petróleo.

1.3 Instrumentos existentes

As metas e ações definidas para o Plano Setorial de Energia, do Plano Clima Adaptação, foram consolidadas a partir de diversos instrumentos existentes dentro da política energética. Como um setor extremamente transversal à atividade econômica e social do país, esses instrumentos dialogam com agendas voltadas para o uso racional e sustentável dos recursos energéticos abundantes do país, com diversos deles internalizando questões referentes aos compromissos climáticos do país. Dessa forma, citam-se, não exaustivamente, os seguintes instrumentos:

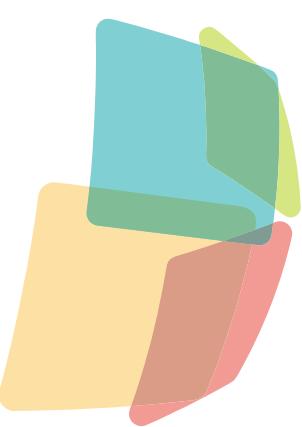
- a **Política Energética Nacional (PEN)**, criada pela Lei nº 9.478/1997, é a referência legal que define os princípios e os objetivos das políticas para o aproveitamento das fontes energéticas e institui o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE);
- a **Política Nacional de Transição Energética (PNTE)**, estabelecida pela Resolução CNPE nº 05/2024, tem como objetivo orientar a transformação da matriz energética brasileira para uma estrutura com baixa emissão de carbono;
- o **Plano Nacional de Energia (PNE)**, que representa a visão indicativa do planejamento de longo prazo do setor, elaborado pelo MME e pela EPE, objetiva orientar as tendências e balizar as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas. Além disso, a mudança do clima está entre as nove questões transversais abordadas no PNE 2050 (MME/EPE, 2020), sendo que os esforços de adaptação sobressaem-se como uma linha de ação do setor energético, que envolve desafios relevantes relacionados aos efeitos da mudança do clima para a oferta de energia e para a segurança do abastecimento. Adicionalmente, foram feitas simulações considerando a redução na oferta de energia hidrelétrica em função de alterações na disponibilidade hídrica. Por fim, merece destaque o fato de que o PNE 2055 está em fase de elaboração, com previsão para o segundo semestre de 2025, e a adaptação à mudança do clima está sendo tratada como uma incerteza crítica, além de ter sido tema de discussão para a elaboração de cenários de longo prazo para o PNE 2055;
- o **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE)** representa a visão indicativa de curto e médio prazo do planejamento setorial. No que se refere à adaptação, o Plano busca discutir desafios e oportunidades relacionadas à energia e à mudança do clima, a partir de análise de medidas de adaptação. Além disso, no PDE 2031 foi feita uma análise de sensibilidade (*what if*), a fim de avaliar a robustez, ou resiliência, do sistema planejado frente a possíveis alterações do regime hidrológico, considerando o histórico recente de vazões (EPE, 2022b). Ademais, no PDE 2034, realizou-se uma análise de sensibilidade com relação ao cenário de referência de oferta de energia elétrica a fim de verificar a resiliência do sistema na ocorrência de eventos críticos de escassez hídrica, tendo como base o ano de 2021;
- o **Plano de Recuperação dos Reservatórios de Regularização de UHE do País (PRR)** é um instrumento instituído pela Lei nº 14.182, de 2021, com o objetivo de harmonizar iniciativas em prol da recuperação gradual dos armazenamentos dos reservatórios das usinas hidrelétricas, ao longo de 10 anos (2023-2032), atendendo às diretrizes voltadas à segurança dos usos múltiplos da água, segurança energética e hídrica do país. Tal instrumento, apresenta soluções estruturantes de planejamento, traduzidas em 31 ações e 7 indicadores globais de monitoramento da recuperação dos reservatórios, que foram consolidadas por meio de esforços conjuntos de órgãos governamentais, entidades reguladoras, agentes do setor elétrico e sociedade. Destaca-se ainda a existência de iniciativas com o objetivo de estudar os impactos e adaptar modelos à mudança do clima observada. Além disso, a implementação

do PRR poderá aplicar recursos dos Programas de Revitalização dos Recursos Hídricos das Bacias do Rio São Francisco e do Rio Parnaíba e Revitalização dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas na Área de Influência dos Reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Furnas, da ordem de aproximadamente R\$ 5,8 bilhões, ao longo de sua implementação, consignados pela Lei nº 14.182, de 2021;

- o **Programa de Energia Renovável Social (PERS)** destina-se a investimentos na instalação de sistemas fotovoltaicos e de outras fontes renováveis, na modalidade local ou remota compartilhada, aos consumidores de baixa renda;
- a **Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE)** concede descontos sobre a tarifa aplicável à classe residencial para os consumidores enquadrados na Subclasse Residencial Baixa Renda;
- o **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)** está voltado à implementação, de forma sustentável, da produção e do uso do biodiesel, com enfoque na inclusão produtiva e no desenvolvimento rural sustentável, via geração de emprego e renda;
- o **Programa Nacional de Biocombustíveis (RENOVABIO)** foi construído para promover a expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do abastecimento e previsibilidade para o mercado, contribuindo para o cumprimento dos compromissos ambientais brasileiros;
- o **Programa Gás para Empregar (GE)** é uma estratégia em construção, voltada à expansão da oferta de gás natural da União no mercado doméstico, a fim de melhorar o aproveitamento e o retorno social e econômico da produção nacional de gás natural, diminuir a dependência externa de insumos estratégicos derivados do combustível e integrar o gás à estratégia nacional de transição energética;
- o **Programa Energias da Amazônia** foi constituído com o objetivo de reduzir o uso de óleo diesel na produção de energia na região amazônica, substituindo-o por um processo de geração por fontes renováveis;
- o **Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica (Luz para Todos)** é destinado a fornecer o atendimento de energia elétrica à população do meio rural e à população residente em regiões remotas;
- o **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)**, um dos mais antigos programas de conservação de energia elétrica do mundo, tem por objetivo a promoção de ações de eficiência energética na geração, transmissão e distribuição de eletricidade, bem como no uso final do usuário;
- o **Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL)**, também voltado à promoção do uso eficiente da energia elétrica, instituiu a compulsoriedade de investimentos em eficiência por parte de concessionárias e permissionárias de serviços de distribuição de energia elétrica, com projetos avaliados pela ANEEL;
- o **Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)** é uma política que atesta que o produto atende aos requisitos de desempenho estabelecidos, sendo a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) o Selo de Conformidade que fornece informações ao consumidor sobre as características do equipamento;

- o **Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (PNCUE)** determina o estabelecimento de níveis máximos de consumo específico de energia — ou mínimos de eficiência energética — que os aparelhos devem observar para que possam ser comercializados no país;
- o **Comitê de Gerenciamento de Crise (CGC/MME)** foi instituído pela Portaria Normativa nº 61/GM/MME, de 2023, para o gerenciamento de crises decorrentes de incidentes que comprometam a integridade ou disponibilidade dos serviços;
- a **Política de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural**, estabelecida pela Resolução CNPE nº 17/2017, que define diretrizes, orienta o planejamento e a realização de licitações por meio da Oferta Permanente, com vistas à recomposição das reservas de forma eficiente e sustentável; e
- o **Combustível do Futuro**, instituído pela Lei nº 14.993/2024, dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.





2. Principais riscos e vulnerabilidades

2.1 Síntese dos riscos prioritários

As discussões acerca de riscos e vulnerabilidades associados ao aumento na intensidade e na frequência de eventos extremos, além de mudanças nos padrões climáticos, sinalizam uma grande diversidade de impactos no setor Energia, considerando as diferentes fontes energéticas e a variedade de ameaças climáticas. Nesse contexto, foram levantados desde impactos na geração de energia, a partir das diversas fontes renováveis, incluindo-se a produção de biocombustíveis, até os de energias não renováveis, como produção de petróleo e gás *offshore*, transporte de gás natural, produção em refinarias de derivados para abastecimento do país e geração de energia elétrica com gás natural, além das interrupções na transmissão e na distribuição de energia elétrica e danos a equipamentos e infraestruturas.

Ademais, a verificação de tendências identifica um decréscimo estatisticamente significativo da precipitação em parte do Brasil, a exemplo das bacias de drenagem de usinas hidrelétricas localizadas nas regiões Nordeste e Sudeste do país, que apresentam uma diminuição de suas vazões (Luiz-Silva *et al.*, 2022). Em contrapartida, projeta-se um aumento das chuvas na região Sul do país, que também experimenta um crescimento de suas afluências naturais nos últimos anos. Uma vez que a integração dos recursos de geração e de transmissão de energia elétrica requer um serviço seguro e econômico para o mercado, tais tendências detectadas são extremamente importantes em nível nacional e podem subsidiar possíveis medidas de adaptação e/ou mitigação.

Entre as principais ameaças climáticas associadas ao Setor Energia, aquelas que se destacam, em termos de potencial de danos, são:

- a. Aumento da frequência e duração das secas;
- b. Aumento de chuva extrema e persistente;
- c. Ventos ou vazões hidrológicas com características catastróficas;
- d. Aumento e frequência de ondas de calor;
- e. Aumento na incidência de descargas atmosféricas;
- f. Aumento do nível médio do mar; e
- g. Aumento da temperatura da superfície do mar e da frequência de ondas de calor marinhas.

A Figura 3 apresenta os principais riscos climáticos levantados para o setor de energia. A síntese dos riscos listados na Figura 3, bem como os principais atributos a eles relacionados (impactos, ameaças climáticas, exposição, vulnerabilidades, regiões geográficas críticas e relação com a justiça climática) são apresentados no Quadro 1, sendo posteriormente detalhados.

Figura 3 – Principais riscos climáticos do setor Energia

- 1 Diminuição da oferta de hidroeletricidade** 
- 2 Efeitos das cheias em reservatórios de UHE e bacias hidrográficas** 
- 3 Redução na oferta de biocombustíveis** 
- 4 Diminuição da oferta de energia elétrica e combustíveis em comunidades/sistemas isolados** 
- 5 Alterações repentinas e/ou significantes na demanda de energia elétrica** 
- 6 Aumento na frequência e duração de interrupções de fornecimento - transmissão** 
- 7 Aumento na frequência e duração de interrupções de fornecimento - distribuição** 
- 8 Danos severos em infraestrutura e equipamentos de energia elétrica** 
- 9 Danos severos em equipamentos de produção de combustíveis** 
- 10 Diminuição da oferta de energia elétrica das fontes eólica, solar e térmica** 

Ameaças Climáticas:



Fonte: Elaboração própria.

Em termos de impactos associados, as consequências predominantes dos riscos identificados são:

- Aumento da tarifa de energia, devido à redução da oferta a partir de fontes renováveis;
- Necessidade de acionamento de fontes não renováveis e de maior custo, com possível aumento das emissões de gases de efeito estufa;
- Danos às infraestruturas de geração, transmissão e distribuição de energia; e
- Possível desabastecimento e falta de combustíveis, afetando, assim, toda a sociedade brasileira e, sobretudo, as populações em condições de maior vulnerabilidade socioeconômica.

Quadro 1 – Síntese dos riscos prioritários para o setor Energia

Principais riscos climáticos: **Risco 1. Diminuição da oferta de hidroeletricidade.**

Impactos climáticos observados:

Diminuição da Energia Natural Afluente (ENA) nos reservatórios das usinas hidrelétricas; aumento dos custos de operação do SIN; perda de estoque dos recursos hídricos armazenados nas usinas a montante e da governança das cataratas; perda de capacidade de exportação de energia pelos subsistemas; recorrência de manobras para a flexibilização operativa de reservatórios; acionamento de geração térmica; necessidade de flexibilização do critério de segurança de interligações de modo a permitir maiores intercâmbios energéticos entre os subsistemas; aumento da frequência de manutenções de unidades geradoras e equipamentos elétricos; importação de energia; adoção de medidas voltadas à diminuição da demanda de energia elétrica, como campanhas para uso consciente e bandeiras tarifárias mais altas; comprometimento dos mecanismos de aversão ao risco empregados nos processos de planejamento e programação da operação; comprometimento da reserva operativa do sistema para atendimento da demanda máxima e para a mitigação dos impactos da variabilidade e/ou intermitência da geração eólica e/ou solar; danos socioeconômicos e bióticos; perda de valor do reservatório como ativo financeiro e social; redução da garantia física de usinas em operação; aumento do custo da energia.

Regiões geográficas críticas:

Todos os subsistemas, em especial a região de clima semiárido e bacias dos rios São Francisco, Grande, Paraná, Paranaíba, Madeira e Xingu; regiões Norte e Nordeste (clima equatorial e tropical); áreas no entorno de reservatórios estratégicos, principalmente nas bacias dos rios São Francisco, Grande, Paraná e Paranaíba.

Dimensões do risco

Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Aumento da frequência e da duração das secas; Aumento das temperaturas média, máxima e mínima; Diminuição das chuvas anuais; Aumento na frequência de ondas de calor.	Contratos de energia firmados; Sistema elétrico interligado.	Redução da capacidade de regularização de vazões para usos múltiplos; Maior demanda de Energia (em função do calor extremo); Não previsão de ampliação da construção de reservatórios de acumulação; Restrições operativas e socioambientais; Modelos matemáticos baseados em séries históricas não preparados ainda para situações climáticas extremas; Perda de vegetações: reflorestada, remanescente e recuperada; Perda da recuperação e revitalização de bacias em áreas de influência de reservatórios de UHE.

Relações com a justiça climática



Agravamento da disparidade social; a ocorrência de prejuízos materiais impacta principalmente as populações mais vulneráveis; impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados.

Principais riscos climáticos: Risco 2. Efeitos das cheias em reservatórios de UHE e bacias hidrográficas.

Impactos climáticos observados:

Vertimento emergencial; ocorrência de inundações nas margens dos cursos d'água; mortandade de peixes (tanto para aquicultura de peixes quanto para espécies endêmicas), devido a mudanças nos padrões de qualidade da água dos reservatórios; necessidade de ampliação de volumes de espera; diminuição do volume útil dos reservatórios devido ao maior aporte de sedimentos; prejuízos materiais e risco de vida às populações; aumento de custos operacionais; carreamento de sedimentos; desmoronamento de margens e encostas; perda de estruturas de contenção; conflito pelo uso da água; aumento no custo da energia.

Regiões geográficas críticas:

Todas as regiões que têm reservatórios de UHE; áreas no entorno de reservatórios estratégicos.

Dimensões do risco		
Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Aumento das chuvas extremas e das chuvas extremas persistentes; Aumento das chuvas anuais na região Sul.	Reservatórios a fio d'água; UHE.	Mecanismos estruturais não completamente adaptados a eventos extremos; Reservatórios a fio d'água sem capacidade de amortecimento de cheias; Capacidade de vertimento insuficiente para cenários climáticos extremos; Comunicação não eficiente entre concessionários e população, mediante a necessidade de mudanças operacionais ou acidentes; Ampliação das restrições operativas e socioambientais; Altos custos para a recuperação estrutural e estruturante dos reservatórios; Reservatórios atualmente comprometidos do ponto de vista estrutural.



Relações com a justiça climática

O aumento na tarifa de energia e a ocorrência de prejuízos materiais impactam principalmente as populações mais vulneráveis; agravamento da vulnerabilidade das populações mais pobres mediante a ocorrência de enchentes a jusante e montante de reservatórios; deslocamentos forçados: comunidades afetadas por eventos extremos de clima podem enfrentar migração forçada; impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados.

Principais riscos climáticos: Risco 3. Redução na oferta de biocombustíveis.

Impactos climáticos observados:

Importantes quebras de safra de cana-de-açúcar nos últimos 15 anos (12,2% em 2011/2012, e 11,6% em 2021/2022), reduzindo a disponibilidade de matéria-prima para a produção de açúcar e etanol; quebra de safra de soja, levando à elevação dos preços desses produtos, encarecendo a produção de biocombustíveis; quebra de produção de milho de segunda safra, levando à elevação do seu preço e encarecendo a produção de etanol.

Regiões geográficas críticas:

Todo o território onde há cultivo dessas matérias-primas, em especial o centro-sul do país, responsável por aproximadamente 90% da produção nacional de etanol de cana-de-açúcar; região de clima semiárido/bacias dos rios São Francisco e Paraná; a *La Niña* acentua a redução da produção de milho e soja no “Matopiba”, podendo atingir também a região Centro-Oeste; o *El Niño* acentua a redução da produção de soja na região Sul do país.

Dimensões do risco		
Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Aumento da frequência e da duração da seca; Redução das chuvas anuais; Aumento das chuvas extremas e das chuvas extremas persistentes.	Setor sucroalcooleiro; Indústria de etanol de milho; Indústria de biodiesel.	Elevada concentração da produção de cana-de-açúcar em uma única variedade não protegida (i. e., vulnerabilidade maior a pragas, que podem gerar uma quebra de safra importante); A produção de biomassa para biocombustíveis é feita em grandes extensões de terra, expostas ao clima e às ações de vandalismo (eventualmente ações criminosas que têm potencial de comprometer parcela da produção de matérias-primas); Flutuação de preços das commodities, que pode comprometer a competitividade (econômica) dos biocombustíveis, reduzindo a atratividade de sua produção; Baixa diversificação de matérias-primas utilizadas para a produção de biocombustíveis; Necessário um aumento de oferta para atender à demanda crescente (RenovaBio, Programa MOVER, Lei do Combustível do Futuro).



Relações com a justiça climática

Preços mais elevados do etanol hidratado e da gasolina impactam mais o orçamento das famílias de renda mais baixa; quebra de safra de soja, especialmente no Rio Grande do Sul, onde a participação da agricultura familiar é expressiva; falta de combustíveis e desabastecimento de combustíveis; impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados.

Principais riscos climáticos: Risco 4. Diminuição da oferta de energia elétrica e combustíveis em comunidades/sistemas isolados.

Impactos climáticos observados:

Falta de combustíveis e desabastecimento; a redução da navegabilidade dos rios afeta a distribuição e acesso à energia. Por exemplo, das dez piores mínimas históricas do nível do Rio Madeira em Porto Velho, oito aconteceram a partir de 2016. A mínima registrada em 2024 foi de apenas 19 cm, superando significativamente a marca histórica anterior que era de 110 cm, registrada em 2023.

Regiões geográficas críticas:

Região Norte.

Dimensões do risco		
Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Aumento da frequência e da duração da seca; Redução das chuvas anuais.	Comunidades isoladas.	Ausência de alternativas ao transporte fluvial, como rodovias; Dependência de combustíveis para geração de energia termelétrica; Dependência de combustíveis para transporte (rodoviário, fluvial e aeroviário) e cocção (GLP), por exemplo; Insuficiência de estoques nos agentes atuantes na logística de combustíveis e na produção termelétrica, haja vista a intensificação recente das secas; Tendência de aumento do consumo de combustíveis para transporte e cocção, devido ao crescimento da população e ao aumento da demanda energética; Dependência de escolas, postos de abastecimento de água e unidades básicas de saúde de geração proveniente de combustíveis fósseis.



Relações com a justiça climática

Comunidades isoladas costumam concentrar pessoas com maior vulnerabilidade social; a região Norte concentra baixas taxas de IDH, que podem ser impactadas negativamente pelo isolamento das comunidades; preços mais elevados da energia (elétrica e combustíveis) têm maior impacto em populações mais vulnerabilizadas; eventos extremos: as secas prolongadas impedem o acesso a combustíveis para a produção de energia, afetando desproporcionalmente mulheres em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados; deslocamentos forçados: comunidades afetadas por eventos extremos podem enfrentar migração forçada e perda de acesso à energia; preços mais elevados do etanol hidratado e da gasolina impactam mais o orçamento das famílias de renda mais baixa; impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados.

Principais riscos climáticos: Risco 5. Alterações repentinas e/ou significantes na demanda de energia elétrica.

Impactos climáticos observados:

Ocorrências climáticas severas que incentivam o aumento no consumo de energia; maior uso de energia, a qual pode ser proveniente de fontes não renováveis e emissoras de gases de efeito estufa (GEE). Esse fato pode contribuir para o agravamento dos efeitos da mudança do clima.

Regiões geográficas críticas:

Todos os subsistemas.

Dimensões do risco		
Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Aumento das temperaturas média, máxima e mínima; Aumento na frequência de ondas de calor.	Subsistemas de geração e transmissão.	Ausência de dados de consumo dos eletrodomésticos residenciais e o impacto na previsão de demanda; Expansão do consumo de eletricidade, diante da maior eletrificação e digitalização da economia; O Sistema Interligado Nacional (SIN) é um fator positivo de capacidade adaptativa; O crescimento de MMGD e a expansão dos RED impactam na imprevisibilidade de produção; Picos de demanda de energia elétrica, podendo trazer riscos à infraestrutura de geração e transmissão.



Relações com a justiça climática

A demanda excessiva de energia elétrica durante ondas de calor pode resultar em interrupções no fornecimento de energia e em um maior custo para os consumidores, o que pode ser desproporcional em comunidades de baixa renda; impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados.

Principais riscos climáticos: Risco 6. Aumento na frequência e na duração de interrupções na transmissão de energia elétrica.

Impactos climáticos observados:

Danos à estrutura de transmissão (torres, cabos etc.); interrupção de serviços básicos locais; aumento dos custos de operação do SIN; ampliação da manutenção de torres e linhas de transmissão; aumento da aplicação de recursos para modernização e resiliência das redes de transmissão a eventos climáticos, assim como das estruturas de monitoramento, com impactos sobre a tarifa de energia elétrica.

Regiões geográficas críticas:

Sistema de transmissão de todo o Brasil; para chuvas torrenciais, descargas atmosféricas e ciclones, enfoque nas regiões Sul e Sudeste.

Dimensões do risco		
Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Aumento das chuvas extremas e das chuvas extremas persistentes; Aumento de ventos severos; Aumento na incidência de deslizamentos; Aumento das temperaturas média, máxima e da frequência de ondas de calor; Aumento na incidência de descargas atmosféricas; Ciclones, inundações e enchentes.	Sistema elétrico interligado; Redes de transmissão de energia elétrica.	Linhas e torres de transmissão em locais de difícil acesso; Infraestrutura de transmissão inadequada a eventos extremos; Ausência de incentivo regulatório para desligamentos temporários; Projetos de engenharia deficientes; Falha de manutenção preventiva.



Relações com a justiça climática

Perda de acesso a serviços básicos aos mais vulneráveis (especialmente na área da saúde); aumento da tarifa de transmissão diante da necessidade de adição de novos circuitos para manutenção dos padrões de confiabilidade, com maior impacto em populações vulnerabilizadas; deslocamentos forçados: comunidades afetadas por eventos extremos podem enfrentar migração forçada e perda de acesso à energia; impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados.

Principais riscos climáticos: Risco 7. Aumento na frequência e na duração de interrupções na distribuição de energia elétrica.

Impactos climáticos observados:

Indisponibilidade forçada de sistemas de distribuição de energia elétrica por rompimentos de cabos de linhas aéreas, falhas em equipamentos etc.; prejuízos ambientais, materiais e socioeconômicos; interrupção de serviços básicos locais; aumento da aplicação de recursos para resiliência das redes de distribuição a eventos climáticos, com impactos sobre a tarifa de energia elétrica.

Regiões geográficas críticas:

Sistemas de distribuição de todo Brasil; para chuvas torrenciais, descargas atmosféricas e ciclones, enfoque nas regiões Sul e Sudeste.

Dimensões do risco		
Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Aumento das chuvas extremas e das chuvas extremas persistentes;	Serviço de distribuição de energia;	Projetos de redes com características construtivas desatualizadas com relação ao aumento da severidade de eventos climáticos;
Aumento de ventos severos;	Sistema Interligado Nacional (SIN).	Rede de distribuição em local de difícil acesso ou com acesso interrompido temporariamente pela Defesa Civil;
Aumento na incidência de deslizamentos;		Redes antigas, com predominância de postes de madeira;
Aumento das temperaturas média, máxima e da frequência de ondas de calor;		Recursos insuficientes para modernização de sistemas de distribuição.
Aumento na incidência de descargas atmosféricas.		



Relações com a justiça climática

Preços mais elevados do valor da energia elétrica, para cobrir os investimentos em modernização das redes (digitalização e automação), impactam mais o orçamento de famílias de renda mais baixa; populações mais pobres não possuem acesso a geradores de emergência para situações de interrupção de fornecimento; perda de acesso a serviços básicos aos mais vulneráveis (especialmente na área da saúde); impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados.

Principais riscos climáticos: Risco 8. Danos severos em equipamentos de geração de energia elétrica.

Impactos climáticos observados:

Quedas de energia decorrentes de eventos climáticos imprevistos; prejuízo material decorrente de danos estruturais no parque gerador; revogação de outorga ou reconstrução de usinas comprometidas.

Regiões geográficas críticas:

Subsistema Sul e Nordeste para parques eólicos; todo o Brasil para as demais fontes de geração elétrica.

Dimensões do risco

Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Ventos ou vazões extremos; Aumento de ventos severos; Aumento das ondas de calor; Aumento das chuvas extremas e das chuvas extremas persistentes.	Barragens e aerogeradores.	Os projetos de segurança de barragens ou de aerogeradores não contemplarem vazões ou ventos imprevisíveis ou previsíveis, mas de consequências severas.



Relações com a justiça climática

Diminuição na oferta de energia, que pode ocasionar no aumento do preço da energia, impactando o segmento de baixa renda; eventos extremos: tempestades, ondas de calor e inundações podem comprometer infraestruturas críticas de energia, como redes elétricas e usinas, afetando desproporcionalmente mulheres em comunidades rurais remotas ou urbanas, que dependem de serviços já precarizados; deslocamentos forçados: comunidades afetadas por mudanças climáticas podem enfrentar migração forçada e perda de acesso à energia. Esse risco é mais severo para mulheres e meninas, que enfrentam maior exposição à violência e à discriminação em contextos de deslocamento; acesso a recursos renováveis: mulheres em comunidades rurais que dependem tanto de energia renovável descentralizada quanto de painéis solares ou pequenos sistemas hidráulicos, ou do próprio sistema integrado, podem sofrer mais intensamente com a interrupção ou a falta de manutenção desses sistemas; impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados.

Principais riscos climáticos: Risco 9. Danos severos em equipamentos de produção de combustíveis.

Impactos climáticos observados:

Desabastecimento de energia decorrente de eventos climáticos imprevistos; prejuízo material decorrente de danos estruturais no parque gerador; revogação de outorga de empreendimentos comprometidos ou necessidade de reconstrução.

Regiões geográficas críticas:

Todo o território, incluindo Zona Costeira e Marinha.

Dimensões do risco		
Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Ventos ou vazões extremos; Aumento de ventos severos; Aumento das chuvas extremas e das chuvas extremas persistentes.	Plataformas e outras estruturas e equipamentos de exploração e produção de petróleo e gás natural; Estruturas e equipamentos de refino e transporte de petróleo e gás natural, incluindo gasodutos e oleodutos; Biorrefinarias e destilarias.	Os projetos de segurança atuais das estruturas não contemplarem vazões ou ventos imprevisíveis ou previsíveis, mas de consequências severas; Necessidade de ampliação da produção de combustíveis, diante da maior demanda referente ao desenvolvimento econômico do país.



Relações com a justiça climática

Diminuição na oferta de energia, que pode ocasionar no aumento do preço da energia, impactando de forma desigual segmentos de menor renda; eventos extremos: tempestades, ondas de calor e inundações podem comprometer infraestruturas críticas de energia, como refinarias e usinas de biocombustíveis, afetando desproporcionalmente mulheres em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados; deslocamentos forçados: comunidades afetadas por eventos extremos podem enfrentar migração forçada e perda de acesso à energia; impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados; acesso a recursos: mulheres em comunidades rurais que dependem de energia a partir de combustíveis e biocombustíveis, ou do próprio sistema integrado, podem sofrer mais intensamente com a interrupção ou a falta de manutenção desses sistemas.

Principais riscos climáticos: Risco 10. Redução na oferta de energia elétrica das fontes eólica, solar e térmica.

Impactos climáticos observados:

Aproveitamento inadequado do parque eólico instalado, causando redução na oferta de geração eólica; aproveitamento inadequado do parque gerador fotovoltaico, causando redução na oferta de geração solar fotovoltaica; aproveitamento inadequado do parque gerador termoelétrico, causando redução na oferta de térmicas (biomassa, biogás, carvão, gás natural, derivados de petróleo e nuclear etc.); redução da oferta energética, em meio a um cenário contínuo de aumento da demanda.

Regiões geográficas críticas:

Diretamente nas regiões Nordeste e Sul para geração eólica; todo o país.

Dimensões do risco		
Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade
Redução ou mudança no padrão dos ventos; Aumento da frequência das chuvas extremas e das chuvas extremas persistentes; Aumento da temperatura da superfície do mar e da frequência de ondas de calor marinhas.	Sistema elétrico interligado; Empreendimentos e estruturas de geração elétrica; Sistemas isolados.	Aumento da geração eólica e solar; Redução da energia firme na matriz energética brasileira; Requisitos e complementariedade das fontes; Intermitência das fontes eólica e solar; Demora inerente ao acionamento térmico de urgência; Maior demanda de energia elétrica diante da tendência de maior eletrificação da economia, bem como para o atendimento de outros usos, como a produção de hidrogênio e <i>data centers</i> .



Relações com a justiça climática

O aumento na tarifa de energia e, em última instância, o racionamento de energia impactam principalmente as populações mais vulneráveis;

Eventos extremos: tempestades, ondas de calor e inundações podem comprometer infraestruturas críticas de energia, como redes elétricas e usinas, afetando desproporcionalmente mulheres em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados;

Deslocamentos forçados: comunidades afetadas por eventos extremos podem enfrentar migração forçada e perda de acesso à energia;

Impacto desproporcional sobre meninas, mulheres, pessoas LGBTQIAPN+, populações negras em comunidades remotas, que dependem de serviços já precarizados;

Acesso a recursos renováveis: mulheres em comunidades rurais que dependem de energia renovável descentralizada, como painéis solares ou pequenos sistemas hidráulicos, podem sofrer mais intensamente com a interrupção ou a falta de manutenção desses sistemas.

Fonte: Elaboração própria.

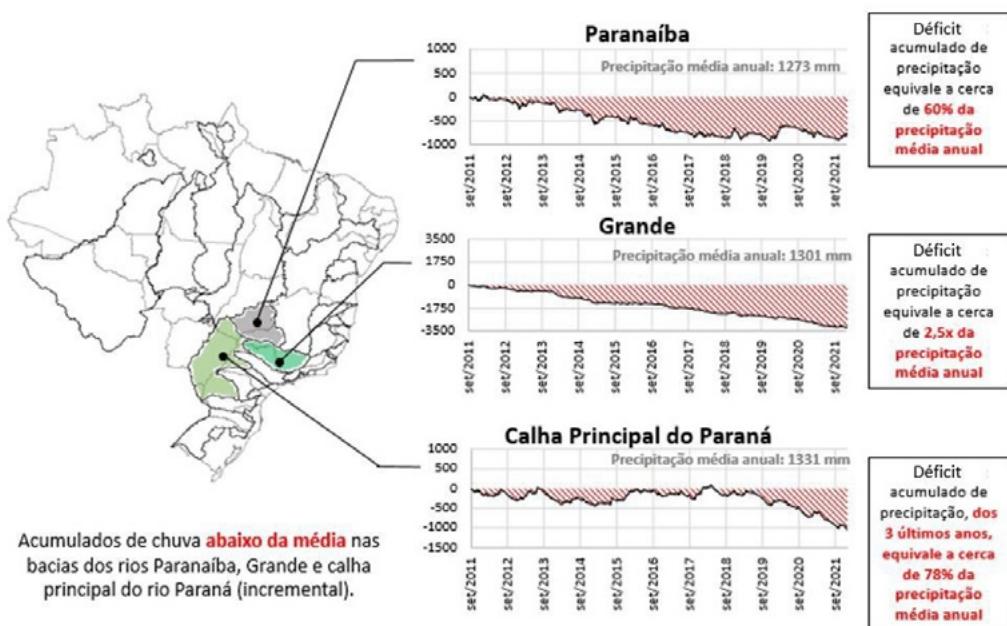
2.2 Descrição dos riscos prioritários

Risco 1. Diminuição da oferta de hidroeletricidade

Em 2021, o Brasil enfrentou uma situação de escassez hídrica severa e os reservatórios do Sudeste e do Centro-Oeste, responsáveis por aproximadamente 70% do armazenamento do país, atingiram o patamar mínimo histórico de 26%. Esse quadro reforça que a mudança do clima tem influência direta na redução da disponibilidade hídrica e destaca a importância de considerar tais fatores no planejamento da expansão do setor energético, especialmente as fontes limpas e independentes da variabilidade climática.

Nos últimos dez anos (2011-2021), o déficit acumulado de precipitação nas bacias dos rios Paranaíba e Grande, assim como no trecho da calha principal do rio Paraná, atingiu valores superiores à média anual de chuvas. Na bacia do Rio Grande, por exemplo, que é uma das principais formadoras da bacia do Paraná e abriga importantes usinas hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional (SIN), o déficit acumulado entre setembro de 2011 e dezembro de 2021 foi mais de duas vezes superior à média anual de chuvas, conforme Figura 4. Os dados, apresentados no Plano da Operação Energética (PEN) de 2021, indicam que a combinação entre mudança do clima e a redução da precipitação tem impactado profundamente a oferta de recursos hídricos para geração de energia (MME, 2022).

Figura 4 – Anomalia de precipitação nas bacias dos rios Paranaíba e Grande e Incremental à Calha Principal do Paraná no período de setembro/2011 a setembro/2021



Fonte: PEN 2021, ONS.

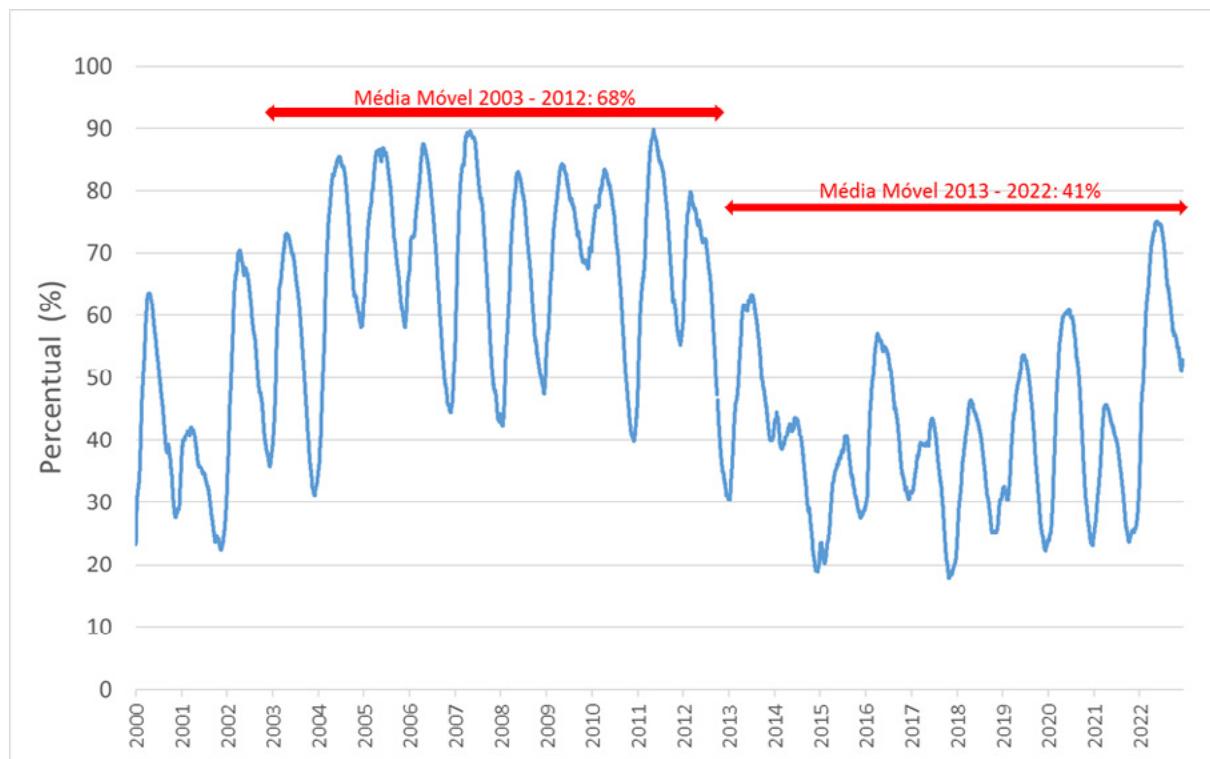
Nesses cenários de escassez hídrica prolongada, as hidrelétricas, inclusive as de menor porte, reafirmam seu papel estratégico, visto que, com capacidade de operar de forma flexível e de atuar em complementaridade com outras fontes renováveis, contribuem diretamente para a estabilidade do sistema elétrico. Considerando-se a sua distribuição regional, favorecem o

uso racional e descentralizado da água, reduzindo a sobrecarga em grandes reservatórios e fortalecendo a resiliência do sistema frente à variabilidade hidrológica.

Porém, a diminuição da oferta de hidroeletricidade é agravada por diversos fatores, como o aumento da frequência e duração de secas, a elevação das temperaturas médias, a redução do regime anual de chuvas e a intensificação de ondas de calor. Tais eventos climáticos extremos impactam diretamente a operação do SIN, aumentam os custos e demandam maior dependência de fontes complementares, que podem ser mais onerosas e, eventualmente, mais poluentes. Caso não sejam realizadas ações de resiliência, medidas extremas, por exemplo, racionamentos, alívios de carga e cortes pontuais de energia, podem se tornar necessárias. Essas soluções, além de indesejáveis, afetam de maneira desproporcional as populações vulnerabilizadas e de menor renda, podendo agravar as desigualdades sociais.

Dados recentes do Relatório de Estruturação de Ações e Definição de Indicadores Globais do Plano de Recuperação dos Reservatórios, publicado pelo MME, em 2023, ilustram a queda significativa no armazenamento equivalente do SIN ao longo das últimas décadas (Figura 5). Comparando-se as médias móveis de energia armazenada (EAR), entre 2003-2012 e 2013-2022, nota-se que houve uma redução de aproximadamente 27 pontos percentuais, de 68% para 41%, da capacidade máxima. Essa diminuição evidencia não apenas a gravidade do cenário atual, mas também a necessidade urgente de adoção de políticas de longo prazo para enfrentar os desafios impostos pela mudança do clima (MME, 2023).

Figura 5 – EAR diário do SIN



Fonte: MME, 2023. (Elaboração: ONS/MME).

A posterior recuperação dos níveis de armazenamento, superando 70% da capacidade total, em 2023, comprova a resiliência do sistema, sendo fundamental reconhecer a importância estratégica dos reservatórios para a segurança hídrica e elétrica, destacando seu papel na redução dos efeitos da variabilidade climática. Diante disso, políticas públicas devem valorizar os múltiplos benefícios proporcionados pelos reservatórios das hidrelétricas, sobretudo no contexto de transição energética e de eventos extremos.

Outrossim, o crescimento populacional, o desenvolvimento socioeconômico, a intensificação do uso de equipamentos de climatização e a eletrificação da economia contribuem para uma tendência de aumento da demanda por energia elétrica, assim como o cenário de expansão de setores energointensivos, por exemplo, a mineração, que será possivelmente intensificada para extração de minerais utilizados para armazenamento de energia e fabricação de equipamentos para geração renovável. Esse aumento pode acentuar a variabilidade do sistema, o que reflete a importância do planejamento da expansão do sistema tanto para identificação tempestiva das instalações de transmissão quanto de soluções de geração, especialmente com a maior integração de fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica, que requerem fontes complementares para suprir a ausência de produção em determinados momentos.

Soma-se a esse cenário a expansão acelerada dos *data centers*, impulsionada pelo avanço da inteligência artificial, que eleva significativamente o consumo energético para suprir operações de processamento intensivo de dados. Adicionalmente, a potencial expansão da demanda por hidrogênio pode também requerer uma maior carga sobre o sistema, visto que uma das rotas de produção do combustível, a eletrólise, é caracterizado pelo alto consumo de energia elétrica. Nesses cenários, diante da redução da oferta de energia hidrelétrica, a atual alternativa mais econômica para a garantia da segurança energética nacional é o acionamento de despacho térmico, o que não contribui com os objetivos brasileiros de *net zero* para emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Assim, além dos desafios afetos a efeitos climáticos ou da redução da oferta hidroelétrica, ressalta-se que a alteração na matriz energética amplia a necessidade de melhoria no planejamento e investimentos contínuos, na modernização e no reforço da infraestrutura para garantir a segurança e a confiabilidade do fornecimento.

Diante disso, o Brasil ainda detém grande potencial para a expansão da geração hidrelétrica, tanto com usinas a fio d'água quanto com reservatórios de acumulação. Em janeiro de 2025, a EPE divulgou o estudo *Um olhar para as UHEs – Desafios e oportunidades para o aproveitamento hidrelétrico brasileiro*, que estima um potencial adicional de 66 GW e destaca os benefícios estratégicos das hidrelétricas para a segurança energética. Assim, o fortalecimento do licenciamento socioambiental é essencial para viabilizar tais projetos, respeitando diretrizes ambientais, contemplando critérios de justiça climática e considerando os desafios climáticos futuros. Nesse sentido, o processo é fundamental para avaliar a implantação de reservatórios e Sistemas de Armazenamento Hidráulico, como as Usinas Hidrelétricas Reversíveis, fundamentais para garantir flexibilidade e estabilidade ao sistema elétrico nacional.

Em resumo, as seguintes tendências futuras afetam esse risco climático: redução da quantidade de água afluente para reservatórios de UHE; maior demanda de energia elétrica diante da tendência de maior eletrificação da economia, bem como para o atendimento de outros usos, como a produção de hidrogênio; necessidade de revisão da garantia física em decorrência da diminuição das vazões e aumento no uso de usinas termelétricas; aumento da aplicação de recursos financeiros para recuperação; e revitalização de bacias em áreas de influência de reservatórios de UHE.

Risco 2. Efeitos das cheias em reservatórios de UHEs e respectivas bacias hidrográficas

Relativo ao tema, registra-se que o armazenamento de água em reservatórios de usinas hidrelétricas (UHE) promove oportunidades de uso para a água a montante, no lago formado, e a jusante, a partir da regularização da vazão, além de contribuir para mitigar riscos, por meio do controle de cheias, por exemplo. Dessa maneira, desde a sua concepção, o estabelecimento das condições de operação dos reservatórios busca atender aos usos múltiplos da água, por meio da conciliação dos usos a montante e a jusante, e respectivos rebatimentos em termos de projeto e concessão de usinas.

Reforçando essa relevância, dados do Informe Anual da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) de 2024 apontam que o Brasil tem 240 mil massas d'água mapeadas, das quais 3.661 são reservatórios artificiais com informações sobre a capacidade total de armazenamento, totalizando 630,2 bilhões de metros cúbicos. Desse volume, 92,7% correspondem a reservatórios destinados à geração de energia hidrelétrica. Assim, esses números evidenciam o papel central da infraestrutura hidrelétrica não apenas na oferta de energia, mas também na gestão dos recursos hídricos do país, destacando sua importância para os usos múltiplos da água e para a segurança hídrica nacional.

Ademais as hidrelétricas são concebidas com base em modelagens que consideram cheias de grande magnitude, todavia, observa-se que o aumento de chuvas mais severas em determinadas regiões tem potencial de danos severos e aumento considerável dos riscos hidrológicos e operativos às referidas estruturas, bem como a exposição extrema de populações situadas às margens dos corpos d'água.

Além disso, nos empreendimentos mais recentes, observa-se uma limitação na concepção de reservatórios com capacidade de acumulação, que, ao privilegiar projetos a fio d'água ou com reservatórios de pequeno porte, acaba por reduzir a capacidade de regularização das vazões e o potencial de controle de eventos extremos, reforçando a necessidade de reavaliar os critérios de planejamento frente ao aumento da frequência e intensidade desses eventos no contexto da mudança do clima.

Logo, a tendência de redução da implementação de projetos hidrelétricos com reservatórios, principalmente em cascata, tem se mostrado como fator preponderante na redução da capacidade de amortecimento de cheias e consequente aumento dos riscos associados a eventos extremos relacionado ao aumento brusco das chuvas.

A ocorrência de cheias extremas, associada à redução da capacidade de contenção, ocasiona uma série de efeitos estruturais e ecossistêmicos devido ao desmoronamento de margens, encostas, aumento expressivo do carreamento de sedimentos, com consequente redução do volume útil dos reservatórios e até mesmo, a modificação da qualidade da água, mortandade de peixes e perdas de habitats aquáticos e terrestres. Além disso, os efeitos relacionados às cheias severas ocasionam perdas socioeconômicas que impactam sobremaneira as populações mais vulneráveis, uma vez que, inevitavelmente, a tarifa de energia será cada vez mais alta, à medida que se façam necessários inúmeros investimentos para a recomposição da infraestrutura danificada, sem considerar os demais danos materiais e imateriais associados a tal risco climático.

Risco 3. Redução na oferta de biocombustíveis

Para entender os riscos relacionados à redução de oferta de biocombustíveis, faz-se necessária uma breve explanação sobre a localização da produção de cana-de-açúcar, milho e soja no país, principais matérias-primas utilizadas para produção de biocombustíveis (principalmente etanol e biodiesel).

A região centro-sul do país (São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais e Paraná) é responsável por, aproximadamente, 90% da produção nacional de cana-de-açúcar e, consequentemente, etanol de cana-de-açúcar. Nesse sentido, um estudo do CNPEM projeta que a mudança do clima pode provocar uma queda de 20% na produção de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil nos próximos 10 anos (Petrielli, 2024).

Porsua vez, a região Sul do país é grande produtora de soja e, por consequência, de biodiesel, com destaque para o Rio Grande do Sul, onde a participação da agricultura familiar é expressiva. Já as regiões Centro-Oeste e Matopiba (região formada por áreas majoritariamente de cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) são grandes produtoras de grãos, especialmente soja e milho, matérias-primas para a produção de etanol de milho e biodiesel.

Os preços mais elevados dos biocombustíveis podem provocar a redução de sua oferta no mercado e impactam mais o orçamento das famílias de renda mais baixa.

A produção agrícola é fortemente impactada pelas condições climáticas, o que a torna extremamente sensível a fenômenos climáticos atípicos e extremos, por exemplo, o *El Niño*, a *La Niña*, as chuvas abaixo/acima da média histórica, as secas ou as estiagens prolongadas. Portanto, devido ao aumento dos eventos climáticos atípicos, existe o risco de redução da oferta de biocombustíveis no país, com destaque para o fato de que os produtores do Brasil sentiram os efeitos do *La Niña* por três anos consecutivos. Na sequência, afetando as condições atuais (2024), o agronegócio sente a incidência do *El Niño*, chamando a atenção o curto período de neutralidade entre um fenômeno e outro (Udop, 2024).

Ademais, é importante considerar que o setor sucroenergético, além da produção de etanol, também é responsável pela geração de energia

elétrica proveniente do bagaço, sendo que o risco descrito é mais amplo do que a oferta de biocombustível, afetando também a geração de energia para a rede, na medida em que, segundo dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a energia elétrica proveniente do bagaço corresponde cerca de 75% de toda a eletricidade gerada a partir de biomassas, sendo a maior fonte de bioeletricidade do país. Além disso, devido à dinâmica de colheita da cana-de-açúcar, a oferta é concentrada nos meses de inverno, quando há maior intermitência da fonte hidráulica. Por fim, vale destacar que importantes quebras de safra de cana-de-açúcar ocorreram nos últimos 15 anos (12,2% na safra 2011/2012; e 11,6% na safra 2021/2022), ocasionadas por secas prolongadas, reduzindo a disponibilidade de matéria-prima para a produção de açúcar e etanol.

Portanto, o que se observa é que a quebra de safra causada por eventos climáticos atípicos e extremos leva ao aumento dos preços de matérias-primas e, consequentemente, encarece a produção de biocombustíveis e, diante disso, mostra-se lógico que os preços mais elevados

dos biocombustíveis podem provocar a redução de sua oferta no mercado e impactam mais o orçamento das famílias de renda mais baixa. Além disso, a redução da produção de matéria-prima também afeta o desenvolvimento de novos cultivares e novos biocombustíveis, bem como as quebras de safra trazem diminuição na produção não apenas de biocombustíveis, impactando também a produção de bioeletricidade.

Quanto às tendências futuras, é importante considerar a crescente demanda do uso de biocombustíveis, na medida em que a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) conta com o aumento gradativo da oferta de etanol e biodiesel para cumprimento das suas metas de descarbonização, o qual implica aumentar a participação de mercado de etanol em 5,3% a.a., e de biodiesel em 5% a.a., no horizonte decenal. Outrossim, o Programa MOVER (Novo Regime Automotivo) bem como a Lei do Combustível do Futuro, pressupõe um crescente uso dos biocombustíveis como rota tecnológica de descarbonização da mobilidade. Já o SAF (combustível sustentável de aviação – setor aéreo) e diesel verde (uso em veículos pesados) tendem a crescer sua participação e passam a competir por matérias-primas. Por fim, há também o risco de elevação dos preços do óleo de soja (*commodity*), e preferência pela venda (exportação) da soja em grão ou exportação do óleo, tornando inviável o seu uso como matéria-prima para outros biocombustíveis, por exemplo, o SAF (Rota HEFA/FT).

Risco 4. Diminuição da oferta de energia elétrica e de combustíveis em comunidades/sistemas isolados

A região Norte do Brasil detém vasta área territorial, com presença de áreas remotas e de difícil acesso, tendo nas hidrovias o seu principal meio de transporte logístico. Para muitas comunidades, os rios são a única forma de deslocamento para outras localidades ou de recebimento de produtos e insumos, por exemplo, alimentos, medicamentos e combustíveis.

Ademais, a despeito de a população dessa região já estar habituada ao comportamento sazonal dos rios, com níveis maiores no período úmido e menores no período seco, as mínimas anuais têm batido recordes sucessivos nos últimos anos, impondo desafios crescentes. Em 2023 e 2024, a região enfrentou as maiores crises hídricas de sua história, segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2024a):

Na Região Norte a seca afetou o transporte de pessoas e cargas, incluindo bens essenciais como alimentos, combustíveis e remédios. Além disso, o abastecimento de diversas comunidades ficou comprometido. Houve também impactos sobre as atividades econômicas e industriais na Zona Franca de Manaus. Com a navegação comprometida, a chegada de insumos e o escoamento de mercadorias foram afetados. Em Porto Velho, o rio Madeira alcançou níveis mínimos históricos. Com as baixas vazões afluentes à UHE Santo Antônio, a operação desse aproveitamento hidrelétrico foi paralisada por duas semanas por motivo de segurança.

Os níveis dos rios Negro em Manaus, e do rio Solimões em Manacapuru também atingiram o mínimo histórico, no caso de Manaus, o mínimo da série de dados de 122 anos. Estes dois formadores somados ao rio Madeira, também em recorde mínima, geraram as menores cotas do histórico também no rio Amazonas, nas estações de Itacoatiara e Óbidos (ANA, 2024a).

[...] o Norte possui tendência de redução nas vazões e volumes médios de chuvas e a perspectiva de secas mais frequentes e intensas nessa região que abriga grande parte da Amazônia. Esse quadro requer medidas de gestão da demanda hídrica no Norte, incluindo o aprimoramento da infraestrutura da região para possibilitar a mobilidade para comunidades mais isoladas que dependem da navegação em rios para se locomoverem e serem abastecidas, além de preparação para a proteção dos ecossistemas em um cenário de maior escassez de água (ANA, 2024b).

Nesse sentido, a baixa profundidade limita o fluxo de embarcações maiores, sendo demandada uma quantidade crescente de balsas e de tripulantes para operá-las, com consequente aumento de custos e prazos de entrega. Em situações mais graves, por exemplo, as observadas em 2023 e 2024, há trechos onde ocorre o comprometimento total da navegabilidade, ficando as comunidades completamente isoladas. Ademais, os combustíveis, a despeito da existência de estoques locais e fluxos logísticos preestabelecido, têm prazo limitado de duração, sendo essencial salientar que a falta de combustíveis traz diversos transtornos e coloca em risco a saúde, a segurança e o bem-estar da população afetada. Citam-se, a título de exemplo, as restrições na venda de gás de cozinha para cocção de alimentos e de combustíveis para transporte.

Cabe salientar que o suprimento de energia elétrica da região Norte também apresenta peculiaridades em relação ao suprimento no restante do país, na medida em que há cerca de 263 comunidades isoladas, para as quais o fornecimento de energia elétrica depende, majoritariamente, da geração a partir de usinas termelétricas a óleo diesel e a gás natural. Em que pese o fato de o gás natural que alimenta as termelétricas do Amazonas ser transportado por gasoduto a partir do campo de Urucu, onde é produzido, até Manaus, seu fornecimento também pode ser afetado por restrições de navegabilidade. Isso porque a interrupção do fluxo hidroviário no rio Solimões entre Coari e Manaus impacta o escoamento do petróleo e dos derivados produzidos no campo de Urucu, podendo levar à parada da produção e, consequentemente, ao corte do suprimento de gás natural.

Assim, interrupções no suprimento de combustíveis, causadas por estresse logístico por eventos climáticos extremos na região Norte, podem levar a cortes no fornecimento de energia elétrica em toda a região, o que, por sua vez, afeta a comunicação e a prestação de serviços básicos para a população, como o funcionamento de escolas e hospitais.

Risco 5. Alterações repentinas e/ou significantes na demanda de energia elétrica

Nesse contexto, estudos indicam que a temperatura média e as temperaturas máximas e mínimas aumentaram na América do Sul nos últimos 40 anos (Inpe, 2023), havendo, para o futuro, alta confiança sobre a tendência de aumento da temperatura para todas as regiões do Brasil, com maior ocorrência de extremos de calor (IPCC, 2021; 2022b).

Ademais, tanto as variações graduais na temperatura quanto os eventos abruptos, como ondas de calor extremo, impactam a geração, a transmissão, a distribuição e a demanda elétrica (IEA, 2023). De acordo com o IPCC (2022a), as infraestruturas e os equipamentos de geração, distribuição e transmissão de energia têm sua eficiência reduzida em função da exposição a altas temperaturas. Por sua vez, a demanda por energia elétrica tende a variar com o aumento no consumo para refrigeração, situação agravada em regiões já notavelmente quentes. Outrossim, as ondas de calor podem causar picos de demanda provocados por um aumento repentino e significante no consumo de energia, exigindo ações rápidas na operação do sistema elétrico, por exemplo, o acionamento de térmicas fósseis (a diesel e a gás natural), sendo o gás natural um combustível da transição energética pela sua menor intensidade em carbono.

Além disso, as projeções indicam aumento do consumo de energia elétrica, impulsionado pelo crescimento populacional, o desenvolvimento socioeconômico e a crescente eletrificação da economia (EPE 2023b; IEA 2023), incluindo a previsão de atendimento a consumidores eletrointensivos, como *data centers* e produção de H₂, especialmente na rota por eletrólise (H₂ verde), que tem alto consumo de energia elétrica.

Ademais, a mudança do clima e o aumento na frequência de eventos climáticos extremos colocam o gás natural em destaque na garantia da estabilidade do sistema elétrico, visto que sua capacidade de responder rapidamente a picos de demanda o torna recurso indispensável para a adaptação climática do setor energético (IEA, 2023), e porque, ao contrário de soluções emergenciais tradicionais, o gás natural oferece resposta eficiente sem os mesmos impactos ambientais. Nesse sentido, a experiência brasileira recente, especialmente no ano de 2021, demonstrou como a integração estratégica do gás natural pode prevenir colapsos no fornecimento durante períodos críticos, protegendo tanto a economia quanto a população dos efeitos mais severos da instabilidade climática. Nesse contexto, o gás transcende seu papel de fonte energética para se tornar componente essencial da resiliência climática nacional, garantindo que o sistema energético possa enfrentar os desafios de um clima em transformação.

Adicionalmente, vale destacar que, em fevereiro de 2025, o Brasil enfrentou um evento extremo de calor, com temperaturas elevadas em todas as regiões do país. Na ocasião, a alta demanda por energia elétrica levou o Sistema Interligado Nacional (SIN) a registrar, em fevereiro de 2025, o recorde de demanda instantânea de carga até então, alcançando 106.532 megawatts (MW), segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Esse novo marco reforça a tendência de elevação da demanda elétrica em situações de calor extremo, destacando a crescente pressão sobre o sistema e a necessidade de ações estruturais para garantir a segurança energética frente a eventos climáticos cada vez mais intensos e frequentes (ONS, 2025).

Diante disso, a população em geral, equipamentos e infraestruturas são impactados por altas temperaturas. Outrossim, em relação aos equipamentos e às infraestruturas, estudos recentes relatam impactos significativos, com os setores comercial e industrial e a penetração substancial de ar-condicionado impulsionando esse aumento na demanda de energia. Além disso, espera-se um aumento na demanda para compensar as perdas de energia causadas pela redução da eficiência em função da exposição a altas temperaturas (IPCC, 2022a). No caso das populações, geralmente as vulneráveis são as que sofrem mais com o desconforto térmico, por não terem acesso ao aparelho de ar-condicionado ou não terem condições de arcar com os custos associados ao seu uso. Segundo a EPE (2023a), o ar-condicionado é um dos equipamentos que reflete a desigualdade no padrão de consumo de energia elétrica, evidenciando a discrepância de posses e hábitos de consumo entre famílias de diferentes classes de renda.

Em relação à criticidade de regiões, prevê-se um maior nível de aquecimento nas regiões Norte e Centro-Oeste do país (IPCC, 2021b), situação agravada pelo fato de que já são regiões que enfrentam temperaturas elevadas. Ao mesmo tempo, os centros de carga de energia estão localizados em regiões mais urbanizadas, que tendem a sofrer mais, devido ao efeito da formação de ilhas de calor.

Riscos 6 e 7. Aumento na frequência e na duração de interrupções na transmissão e distribuição de energia elétrica

O sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil, que suporta cerca de 96% da capacidade total de produção de energia do país, conectando várias regiões, é um sistema que permite a conexão de vários submercados de energia, possibilitando o despacho de energia por quase toda a extensão territorial por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Nesse contexto atual, o SIN é fortemente afetado pelas condições climáticas, podendo ocorrer indisponibilidades forçadas no sistema de transmissão devido à ocorrência de queda de torres, rompimentos de cabos de linhas aéreas, falhas/defeitos em equipamentos provocados pelos efeitos climáticos adversos. A transmissão e a distribuição de energia são, portanto, muito vulneráveis a eventos climáticos extremos, como a precipitação intensa, os ventos fortes e os deslizamentos (Vasquezarroyo *et al.*, 2021). Ademais, as descargas atmosféricas e os incêndios florestais também são eventos climáticos que impactam consideravelmente os subsetores de transmissão e distribuição.

Esses eventos podem levar a interrupções no fornecimento de energia, afetando comunidades inteiras e setores essenciais da economia e da sociedade, por exemplo a indústria, o comércio, os serviços de comunicação, a saúde, o saneamento e a educação.

Nesse contexto, no ano de 2024, foram observadas diversas ocorrências climáticas adversas, tais como chuvas fortes acima dos níveis esperados no Sudeste, maior incidência de descargas atmosféricas e a ocorrência de ciclones que atingiram principalmente a região Sul e provocaram interrupções no fornecimento de energia elétrica nas regiões citadas.

Diante disso, os resultados de um estudo sobre as variações na frequência de ventos extremos e seu impacto no setor de energia mostraram que são esperadas alterações significativas nos regimes de vento extremo na região Sul do Brasil, (Lima *et al.*, 2020). Além disso, análises da incidência de descargas de raios revelaram uma tendência significativa de aumento da atividade de descargas no verão e na primavera na região Sul do Brasil (Naccarato; Dos Santos; De Lima, 2022).

Ademais, as interrupções levam ao aumento da necessidade de investimentos nas redes elétricas e esses gastos incidem na majoração da tarifa de energia, o que impacta diretamente o orçamento dos consumidores finais, principalmente aqueles com menor renda.

Outras situações de extremos climáticos têm sido observadas no sistema de transmissão de energia ao longo dos últimos anos, ainda que em menor escala, a saber: redução da capacidade de transmissão; aumento das perdas elétricas devido a temperaturas elevadas; e aumento da deposição de partículas nas cadeias de isoladores das linhas de transmissão, ocasionando o desgaste de materiais e, consequentemente, aumentando o risco de curto-círcito em períodos de estiagem prolongada (Brito *et al.*, 2022).

Por fim, ressalta-se que os incêndios florestais são um fator importante de degradação da qualidade da prestação do serviço público de transmissão. Estudos indicam que o aumento médio da temperatura em 1°C tem potencial para elevar o número de desligamentos de linhas de transmissão por incêndios florestais em 10% (Costa *et al.*, 2023).

Risco 8. Danos severos em infraestrutura e equipamentos de energia elétrica

Paralelamente à preocupação com a escassez hídrica, a resiliência das barragens frente aos impactos da mudança do clima é uma preocupação crescente, especialmente devido à ocorrência de cheias. Existem no Brasil mais de 10 mil barragens de pequeno a grande porte, sendo que grande parte dessas foram dimensionadas para vazões de referência inferiores às que podem ocorrer em função da mudança do clima.

Como exemplo prático, pode-se citar o evento recente ocorrido na Usina Hidrelétrica 14 de julho, pertencente ao Complexo Energético do Rio das Antas (CERAN), localizada no município Cotiporã, estado do Rio Grande do Sul, a qual foi afetada por chuvas intensas no período entre 30/04/2024 e 03/05/2024. Nesse contexto, o alto volume de precipitação deu causa a impactos diversos: rompimento parcial da estrutura a partir da ombreira direita; perda de acessos; desmoronamento de taludes e encostas; danos às estruturas viárias e erosões; sendo interrompidas as fontes de energia e de comunicação.

Em rios onde se pretende construir ou já existam usinas hidrelétricas, por questões de segurança das barragens, é comum a adoção da cheia decamilenar como vazão de projeto para o dimensionamento de vertedores. Entretanto, vazões acima desse parâmetro têm sido registradas cada vez mais frequentemente, sendo necessária a devida incorporação à série de dados utilizados para os cálculos dos projetos. Vale explicar que a vazão decamilenar é um critério de projeto adotado para dimensionamento do barramento e o sistema extravasor, sendo o projeto submetido e aprovado junto à ANEEL.

Outrossim, o excesso de chuvas e cheias pode ainda comprometer os volumes úteis de reservatórios por meio do carreamento excessivo e da deposição de sedimentos e materiais orgânicos, além de causar danos diretos às estruturas operativas das usinas, por exemplo, nas unidades geradoras.

No que tange ao setor eólico, a estimativa dos possíveis impactos da mudança do clima no futuro é importante para um adequado planejamento energético, uma vez que há perspectiva de aumento da ocorrência de ventos severos em todas as regiões brasileiras (com alguma ressalva para a região Centro-Oeste), conforme informações contidas na Estratégia Nacional de Adaptação.

Portanto, o aumento da intensidade e o da frequência de danos severos a equipamentos de infraestrutura de geração de energia elétrica impactam diretamente os critérios de segurança e consequente precificação de projetos, o que pode afetar diretamente os custos das tarifas de energia, atingindo de forma mais crítica a população mais vulnerável.

Risco 9. Danos severos em equipamentos de produção de combustíveis

Reconhecendo a importância da avaliação climática em relação à resiliência da infraestrutura e dos equipamentos voltados à geração de energia elétrica, também cabe o destaque para os equipamentos e centros de produção e logística de combustíveis, igualmente expostos a eventos climáticos extremos, notadamente ao se considerar que muitas das construções e estratégias atualmente utilizadas são baseadas em um contexto pré-mudança do clima.

Nesse contexto, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (Department of Energy – DOE) publicou, em 2013, relatório elencando vulnerabilidades do setor energético americano à mudança do clima e a eventos climáticos extremos, incluindo os setores de produção e de

exploração de petróleo e gás natural, com o crescimento da temperatura, a diminuição da disponibilidade de água e o aumento da incidência de tempestades, enxurradas e do nível do mar como principais pontos de atenção.

Diante do atual cenário, o relatório pode se aplicar, eventualmente, às ocorrências atualmente observadas no Brasil e destaca que, em relação à disponibilidade da água, os impactos ao setor de petróleo e gás podem estar associados a uma combinação de efeitos diretos e indiretos, visto que a água é necessária para a perfuração e a recuperação aprimorada de petróleo e gás natural, especialmente em atividades continentais. Já em relação à maior incidência de eventos climáticos, o aumento de tempestades e do nível do mar pode colocar em risco a integridade das instalações de produção e causar interrupções das atividades. Em que pese a maior parte da produção de petróleo e de gás natural estar localizada em território *offshore*, e o setor possuir dinâmicas de resposta a emergências climáticas bastante avançadas, tais ameaças climáticas devem ser mantidas sob ponto de atenção.

Da mesma forma, centros de produção de outros combustíveis, como destilarias ou biorrefinarias, bem como as Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN), que também, podem estar expostos a impactos semelhantes. Também podem estar expostos a impactos semelhantes. Como exemplo, recentemente, em decorrência das inundações recordes ocorridas no Rio Grande do Sul, entre o final de abril e o início de maio desse ano, houve impactos nas usinas produtoras de biodiesel do estado, com relatos de inundação de armazéns (Forbes, 2024), entre outros efeitos, fazendo com que a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) permitisse a flexibilização da mistura de biocombustível nos biocombustíveis fósseis no RS, por um período de 30 dias (Aprabio, 2024).

Assim, o comprometimento de infraestruturas e equipamentos de produção de combustíveis pode ocasionar a diminuição da oferta de energia e, até mesmo, o desabastecimento do mercado, tendo como consequência imediata, ou de curto prazo, o aumento do preço dos combustíveis e o impacto de forma desigual nos segmentos sociais e econômicos de menor renda.

Risco 10. Diminuição da oferta de energia elétrica das fontes eólicas, solar e térmica

Como apresentado no capítulo 1, a fonte hidráulica é uma das grandes protagonistas da matriz elétrica brasileira, fruto da construção de políticas que privilegiaram o aproveitamento da grande disponibilidade hídrica existente e consolidaram o Brasil como um dos países com maior índice de renovabilidade em sua geração de eletricidade. Tal disponibilidade oferece flexibilidade necessária para a operação segura e serviços anciliares importantes, como o controle de frequência, regulação de tensão e fornecimento de potência reativa, funções fundamentais para a estabilidade e confiabilidade da rede, sendo uma peça estratégica para o equilíbrio da matriz elétrica brasileira, imprescindível à integração das demais fontes.

Nesse contexto, estando a energia hidráulica mais diretamente exposta à mudança do clima e às crescentes necessidades de ajustes a critérios legais de análises socioambientais, nas últimas décadas, o planejamento energético tem buscado modificar seu portfólio de opções, ampliando e racionalizando o uso das diversas fontes energéticas de que o país dispõe. Assim, surgiram políticas voltadas ao incentivo do uso de biomassa, à expansão da geração eólica e solar e nuclear, e ao uso de combustíveis fósseis com menores emissões, como o gás natural.

Diante da maior diversidade de fontes na matriz, também surge a necessidade de se tratar alterações climáticas que possam afetar negativamente a oferta desses vetores energéticos,

principalmente diante dos seus perfis distintos de operação. Enquanto o protagonismo recente tem sido relacionado à geração eólica e solar, sua característica intermitente demanda a complementação por fontes que detenham caráter mais firme e despachável, como é o caso das termelétricas, em especial, aquelas a gás natural.

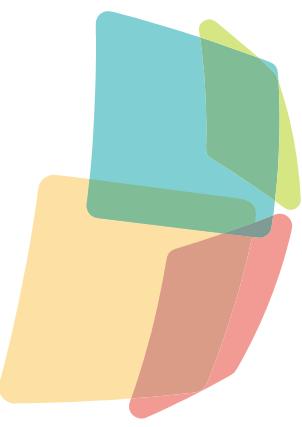
Ademais, a diversificação da matriz energética brasileira encontra, no gás natural, um componente estratégico para a segurança energética, na medida em que sua versatilidade operacional permite complementar de forma eficiente as fontes renováveis, suprindo as limitações inerentes à intermitência eólica e solar (*Breaking Down Barriers to Clean Energy Transition*, WB, 2023), sem olvidar a intermitência da fonte hidráulica. Ao contrário de visões simplistas que promovem a substituição abrupta de tecnologias, a integração inteligente do gás natural representa uma abordagem madura da transição energética, como ocorre nos países que lideram a descarbonização global, os quais demonstram que o gás natural não é um obstáculo, mas um facilitador essencial para a expansão segura das renováveis (MIT Energy Initiative, 2021). No contexto brasileiro, essa complementaridade se mostra especialmente valiosa, permitindo que o país aprofunde sua transição energética sem comprometer a confiabilidade do sistema.

De forma geral, observa-se a redução do aproveitamento dos parques de geração, eólico, solar fotovoltaico ou termelétrico, como o principal risco a ser destacado devido à ocorrência de eventos climáticos extremos. Em relação à geração eólica, mapeou-se a alteração no padrão dos ventos e o aumento da frequência de chuvas extremas e chuvas extremas persistentes como as principais ameaças climáticas, ainda que o aumento das temperaturas médias, máximas e mínimas também possa afetar ou intensificar outras ameaças (DOE, 2013). Ademais, a geração fotovoltaica apresenta interface semelhante relacionada às chuvas e ao aumento da temperatura, visto que o clima chuvoso tem potencial de diminuição da irradiação local, diminuindo a energia disponível para conversão em eletricidade, enquanto maiores temperaturas podem diminuir a eficiência dos módulos fotovoltaicos e outros equipamentos.

Em relação à geração termoelétrica, relatórios indicam que aumentos na temperatura do ar e da água podem diminuir a eficiência da geração, diante do uso do líquido para diversos processos, como refrigeração, produção de vapor de alta pressão etc. Além disso, estima-se que a produção em usinas termoelétricas observe uma perda de 0,3% a 0,7% para um aumento de 1°C na temperatura do ar, podendo representar perdas mais sensíveis para usinas a gás natural e a ciclo combinado, com resfriamento seco, e menos sensíveis para usinas de ciclo combinado comuns e usinas nucleares (DOE, 2013).

Outrossim, observa-se que, no ano de 2021, em razão do ciclo hidrológico com menos disponibilidade de água, houve maior participação de gás natural. Com mais chuvas, ocorreu um aumento de 15,6% na geração de origem hidráulica em 2022, que por consequência teve uma redução de 52,3% na geração termoelétrica a gás natural, reduzindo, ainda, em 42,9% o uso de carvão, de 47,1% de derivados de petróleo e da importação de eletricidade em 44,1% (EPE, 2023a).

Portanto, diante do risco de redução na oferta de energia proveniente de fontes eólica, solar e térmica – em um contexto de demanda crescente –, é essencial acompanhar continuamente esse cenário. Tal monitoramento deve priorizar a análise integrada entre variáveis climáticas e seus impactos na distribuição da geração por tipo de fonte, especialmente considerando os possíveis efeitos sobre as populações mais vulneráveis, que podem ser diretamente afetadas pelo aumento das tarifas de energia.



3. Adaptação

3.1. Objetivos

Partindo-se dos pressupostos adotados pela Estratégia Nacional de Adaptação, a qual estabelece como um de seus objetivos nacionais garantir a segurança energética, de forma sustentável e acessível, foram definidos os seguintes objetivos do setor Energia:

- 1. Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética²;**
- 2. Assegurar a oferta de combustíveis, em especial os biocombustíveis e os combustíveis de baixa intensidade de carbono, frente às ameaças climáticas; e**
- 3. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor Energia.**

A definição dos objetivos setoriais de adaptação para o setor Energia considera a identificação de riscos, vulnerabilidades e impactos, observados tanto no passado e no presente quanto em projeções futuras. Essa abordagem reconhece que a resiliência do setor deve ser tratada de forma integrada, abrangendo todas as etapas – produção, geração, transmissão, distribuição e consumo de energia. Além disso, leva em conta a transversalidade do tema na sociedade, orientando as ações necessárias para garantir o fornecimento de energia de forma segura, confiável, acessível, a baixo custo e adaptada aos desafios climáticos, de forma a reduzir a pobreza energética.

Assim, os objetivos para o setor Energia seguem as diretrizes da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA), que incluem a promoção do desenvolvimento sustentável, da justiça climática e da governança integrada e participativa. Ademais, a ENA orienta esse processo à transparência, à articulação entre diferentes níveis de governo, à integração entre planos, programas e ações do setor, além da busca por cobenefícios entre adaptação e mitigação das emissões de GEE. Outro pressuposto fundamental adotado é o de que essas estratégias, além de sustentáveis e inovadoras, também assegurem tarifas e preços de energia módicos e acessíveis para toda a população. Para tanto, estimular a competitividade e garantir o equilíbrio da matriz elétrica se tornam aspectos centrais, buscando-se alinhar os objetivos de adaptação e a segurança energética, com a promoção de um mercado mais eficiente, competitivo e justo, favorecendo o acesso equitativo à energia e contribuindo para a sustentabilidade econômica do setor.

Em resumo, o setor Energia busca, com os objetivos setoriais estabelecidos, ampliar a capacidade de se adaptar à mudança do clima por meio de uma combinação de estratégias que priorizam a sustentabilidade, a resiliência e a

² Pobreza Energética – Situação em que domicílios ou comunidades não têm acesso a uma cesta básica de serviços energéticos, ou não têm plenamente satisfeitas suas necessidades energéticas (Conforme Resolução CNPE nº 5, de 06 de agosto de 2024).

inovação, com a finalidade de não apenas melhorar a infraestrutura energética, mas também fomentar benefícios sociais significativos, promovendo justiça, inclusão e resiliência, e assegurando o equilíbrio entre sustentabilidade, estabilidade operacional e acessibilidade no processo de transição energética.

3.2 Metas e ações

A adaptação à mudança do clima e os impactos nos diferentes setores têm sido um dos temas mais relevantes na agenda da transição e segurança energética. Considerando o elevado índice de renovabilidade das matrizes energética e elétrica brasileiras, o país está diretamente exposto à mudança do clima, que influencia regimes hidrológicos, índices de irradiação solar, regimes dos ventos, produtividade agrícola e de biocombustíveis, bem como o perfil da demanda, especialmente em momentos de ondas de calor intensas. Assim, inicialmente, destaca-se que o MME já vem implementando ações voltadas à maior adaptação e à resiliência climática no setor energético, tais como:

- **Consulta Pública nº 175/2024, sobre revisão dos parâmetros utilizados para garantia de suprimento de potência no sistema elétrico brasileiro:** o MME abriu, no dia 27 de agosto de 2024, a Consulta Pública nº 175, que recebeu contribuições da sociedade na minuta da Portaria com revisão dos parâmetros utilizados para a garantia de suprimento de potência no sistema elétrico brasileiro. Tendo em vista as mudanças significativas que o sistema elétrico vem atravessando, sobretudo na composição de sua matriz de geração, além dos efeitos de eventos climáticos severos, o MME identificou a pertinência de revisar os parâmetros de riscos no planejamento do suprimento de potência no Sistema Interligado Nacional, isto é, a capacidade. A proposta é de reduzir de 5% para 3% o nível de risco referente à insuficiência de oferta de potência³;
- **Revisão de traçados e cotas do Lote 2 (Rio Grande do Sul) do Leilão de Transmissão 02/2024:** diante de dados e informações sobre as áreas de inundação e pontos de deslizamentos de encostas decorrentes da catástrofe climática que atingiu o Rio Grande do Sul em 2024, a EPE está reavaliando os traçados e níveis das infraestruturas de transmissão a serem construídas no estado. As obras do referido lote serão colocadas em disputa ainda este ano (2025), já contando com infraestruturas muito menos vulneráveis a eventos extremos;
- **Edição do Decreto nº 12.068/2024, que regulamenta a licitação e a prorrogação das concessões de distribuição de energia elétrica, contendo regra de desempenho na recomposição do serviço após eventos climáticos extremos:** o decreto trouxe maior clareza à necessidade de aprimorar o desempenho do serviço de distribuição frente a eventos climáticos extremos, conforme Art. 4º: “a Aneel definirá a minuta do termo aditivo ao contrato de concessão que contemplará as condições previstas neste Decreto, que deverá conter cláusulas que assegurem, no mínimo: (...) VII – definição de metas de eficiência na recomposição do serviço, após eventos climáticos extremos”; e Art. 6º: “como compromisso pela prorrogação das concessões, as concessionárias: (...) II - desenvolverão ações para a redução da vulnerabilidade e para o aumento da resiliência das redes de distribuição frente a eventos climáticos, conforme regulação da Aneel”; e

³ Mais informações: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-comeca-a-receber-contribuicoes-da-sociedade-para-necessidade-de-recursos-de-potencia-no-sistema-elettrico>.

- **Deliberação do CMSE (283ª Reunião – outubro de 2023) sobre estudos para avaliação da resiliência do sistema elétrico nos estados de Acre, Amapá e Rondônia:** de acordo com ata do CMSE, coube à Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento (SNTEP/MME), com apoio técnico da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do Operador Nacional do Sistema (ONS), coordenar estudos para avaliação da resiliência do sistema elétrico nos estados de Acre, Amapá e Rondônia, visando à sua capacidade de manter o atendimento eletroenergético em futuros cenários de escassez hídrica e cheias extraordinárias nas bacias do Rio Madeira, em Rondônia, e do Rio Araguari, no Amapá, e propor medidas de aprimoramento do planejamento, inclusive a eventual contratação de expansão de geração na região. A partir disso, a EPE publicou estudo de reforços para resiliência no sistema de transmissão do Acre e Rondônia (EPE, 2024a). Outrossim, o estudo avaliou e propôs as obras de transmissão necessárias para possibilitar o aumento da capacidade de transmissão do sistema Acre e Rondônia, buscando o plano de obras com o melhor desempenho técnico-econômico e socioambiental. Assim, as soluções subsidiarão decisão do CMSE quanto às ações que serão tomadas para incrementar o nível de segurança energética da região.

Portanto, as metas e ações do Plano Setorial de Energia, do Plano Clima Adaptação, foram definidas de modo a estabelecer uma integração entre diversas iniciativas já em andamento por meio de outros planos, programas, projetos e instrumentos específicos, aproveitando-se as sinergias entre eles, com o foco na exposição atual e futura à mudança do clima. Com a clara compreensão de que a combinação de ações pode contribuir para a maior efetividade da adaptação, o planejamento da adaptação climática do setor Energia inclui uma ampla variedade de ações, com as seguintes abordagens, não de maneira exaustiva: institucionais e políticas, físicas e tecnológicas, de conhecimento e comunicação, econômicas e financeiras.

Observa-se, também, que, entre as metas e ações estabelecidas, foram contempladas as diferentes naturezas requeridas para a eficiência e efetividade da adaptação e resiliência climática necessárias ao setor, sendo elas ações de caráter antecipatório, reativo, incremental, transformacional, e com espectros de execução de curto, médio e longo prazo bem estabelecidos. Destaca-se, ainda, a participação da sociedade civil e das instituições provadas e o consequente diálogo com elas, como uma das abordagens de maior peso na adaptação do setor, especialmente no que diz respeito às metas e ações relacionadas à transição e à eficiência energética.

Nesse sentido, foi definido um conjunto de **38 ações distribuídas em 16 metas**, nas quais todos os 10 riscos definidos pelo Setor Energia encontram-se contemplados. Em que pese a diversidade de ações não ser exaustiva para os riscos, ameaças, vulnerabilidades e exposições mapeados pelo setor frente às incertezas associadas à ocorrência de eventos extremos, as propostas de medidas a serem adotadas seguem uma lógica de priorização de ações de maior possibilidade de não arrependimento, menor custo para a sociedade, flexibilidade e adaptabilidade das estratégias ao longo da execução do Plano Clima.

A descrição das metas e ações estabelecidas encontra-se no Quadro 2. Contudo, para maior clareza delas, apresenta-se uma síntese a seguir:

- **Meta 1 – Reavaliar a dinâmica de operação dos reservatórios de UHE**, considerando a atualização histórica de dados de vazão, usos consuntivos e restrições hidráulicas, com o objetivo de identificar impactos na geração de energia e estabelecer medidas de flexibilização da operação em situações de eventos climáticos extremos: associa-se a essa meta um conjunto de ações relacionadas a aspectos operativos dos reservatórios de usinas hidrelétricas, levando-se em consideração as restrições hidráulicas da principal fonte de geração elétrica e a evolução da matriz energética brasileira [riscos 1 e 2].

- **Meta 2** – Atualizar a metodologia de levantamentos das curvas cota-área-volume de reservatórios de usinas hidrelétricas, com o objetivo de recompor e de melhorar as condições físicas de armazenamento: associa-se a essa meta ação relacionada à avaliação de aspectos físicos e estruturais para a manutenção e ampliação da capacidade de reserva já instalada [riscos 1 e 2].
- **Meta 3** – Elaborar estudos para a identificação de potenciais reservatórios de regularização com o objetivo de viabilizar aqueles que apresentem benefícios para a segurança hídrica, atenuação de efeitos climáticos e para o atendimento aos múltiplos usos da água, inclusive para o setor elétrico: associam-se a essa meta ações de caráter transversal a outros setores, para a realização de levantamentos, identificação de oportunidades, alternativas e projetos de áreas para reservação de água. Essa meta específica será detalhada no âmbito do Plano Temático de Recursos Hídricos [riscos 1 e 2].
- **Meta 4** – Produzir, sistematizar, integrar e disponibilizar informações sobre alterações climáticas e medidas de adaptação: associam-se a essa meta ações de análises de bases de dados, modelagens, indicadores e estatísticas para a identificação de melhorias nos processos de planejamento do setor de energia [riscos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10].
- **Meta 5** – Promover discussão com a sociedade civil e instituições privadas sobre aspectos relacionados à mudança do clima e impactos no setor de energia, com o objetivo de identificar a percepção de risco e a disposição à adoção de medidas de adaptação e mitigação relacionadas ao setor de energia: associam-se a essa meta o diálogo e a interlocução com a sociedade sobre aspectos relacionados aos riscos e custos do planejamento do setor de energia, bem como a discussão acerca do papel das usinas hidrelétricas no país e os usos múltiplos associados aos reservatórios [riscos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 e 10].
- **Meta 6** – Avaliar, monitorar e sugerir aprimoramento do licenciamento socioambiental de empreendimentos de energia e processos adjacentes, com o objetivo de aumentar a resiliência do setor frente à mudança do clima: associa-se a essa meta a busca pela identificação de questões ambientais a serem sanadas para a execução apropriada de projetos que tragam segurança energética ao país, garantindo-se a legalidade, a sustentabilidade e a temporalidade [riscos 1, 2, 6 e 10].
- **Meta 7** – Elaborar estudos para fortalecer resiliência do sistema elétrico: associam-se a essa meta ações relacionadas a estudos, modelagens, estratégias e iniciativas em andamento e novas perspectivas para o aumento da resiliência do setor de energia frente a eventos climáticos extremos [riscos 1, 5, 6 e 10].
- **Meta 8** – Avaliar a evolução do Custo Variável Unitário (CVU) mediante a ocorrência de eventos climáticos extremos com o objetivo de prever o aumento das tarifas: associam-se a essa meta a avaliação dos impactos financeiros na operação e a formação de preço, considerando a aversão ao risco de volatilidade de preços [riscos 1, 2 e 8].
- **Meta 9** – Monitorar o consumo de energia em condições de eventos climáticos extremos, com o objetivo de consolidar dados, analisar a resposta à demanda e avaliar lições aprendidas para o aprimoramento e operacionalização do Programa de Resposta à Demanda: associa-se a essa meta a busca pela avaliação da operacionalização de mecanismos de gerenciamento do consumo de energia elétrica [risco 5].

- **Meta 10** – Gerenciar crises de abastecimento de combustíveis, decorrentes de eventos climáticos extremos, e integrar ações de P&D visando aumentar a resiliência da oferta de biomassa, a eficiência energética e o desenvolvimento de novas tecnologias de produção [riscos 3 e 4].
- **Meta 11** – Garantir a produção anual de gás natural nacional: associa-se a essa meta a implementação do Programa Gás para Empregar, sendo essa uma alternativa para a transição energética frente à redução da oferta de fontes renováveis em meio aos cenários climáticos extremos [riscos 1, 4 e 10].
- **Meta 12** – Ampliar a interligação e a hibridização de sistemas isolados: associa-se a essa meta a implementação do Programa Energias da Amazônia, promovendo a diversificação de alternativas de oferta de energia elétrica a comunidades isoladas, prioritariamente nos locais mais atingidos por eventos climáticos extremos [risco 4].
- **Meta 13** – Viabilizar a expansão da rede básica de transmissão de energia, com ênfase em transição energética: associa-se a essa meta a atualização dos critérios e procedimentos de planejamento da transmissão, considerando a inserção de características de resiliência climática e avaliação dos critérios para flexibilização de limites de intercâmbio, em horizonte de curto prazo, afeto ao planejamento da operação, em ocasiões excepcionais de atendimento eletroenergético do SIN [risco 6].
- **Meta 14** – Atenuar os efeitos nos sistemas de distribuição das alterações repentinas e/ou significantes na demanda de energia elétrica: associa-se a essa meta a promoção das adequações regulatórias para inserção de sistemas de armazenamento, incluindo usinas reversíveis, no Sistema Interligado Nacional (SIN) [risco 5].
- **Meta 15** – Reduzir os desligamentos da rede básica e nas redes de distribuição: associam-se a essa meta ações de aprimoramentos regulatórios para aumento da resiliência do sistema de distribuição e de transmissão a eventos climáticos extremos [risco 7].
- **Meta 16** – Melhorar a eficiência energética, por meio do aumento do acesso à informação e à educação sobre consumo racional e da oferta de máquinas, equipamentos e edificações mais eficientes: associam-se a essa meta o aperfeiçoamento do Programa de Eficiência Energética para a Transição Energética, a realização da Olimpíada Nacional de Eficiência Energética e a implementação de projetos de formação e capacitação profissional em eficiência energética em diversos setores, por meio do Programa ENERGIF. Também fazem parte dessa agenda a ampliação e o aprimoramento contínuo dos programas de concessão de selos de endosso para equipamentos e edificações com melhor desempenho energético em suas respectivas categorias, além do estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética para máquinas, equipamentos e edificações consumidoras de energia [risco 5].

Quadro 2 – Objetivos setoriais, metas e ações do Plano Setorial de Energia

Objetivos Nacionais da ENA⁴: ON1, ON3 e ON6



Objetivos setoriais

03. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M1. Reavaliar a dinâmica de operação dos reservatórios de UHE, considerando a atualização histórica de dados de vazão, dos usos consuntivos e das restrições hidráulicas com o objetivo de identificar impactos na geração de energia e estabelecer medidas de flexibilização da operação em situações de eventos climáticos extremos, até 2035.	A1.M1. Reavaliar a dinâmica de operação dos reservatórios no horizonte do PRR, sob uma visão estrutural, considerando como referência a evolução da matriz elétrica indicada no PDE 2034 e observadas as condições de operação de reservatórios definidas pela ANA, em articulação com o ONS. A2.M1. Atualizar permanentemente os dados históricos e projeções de usos consuntivos da água, com atualização das séries de vazões naturais.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Objetivo Específico 0011 – Expandir a capacidade instalada de geração de energia elétrica; Entrega 2246 – Redução das restrições operativas em reservatórios de usinas hidrelétricas.
	A3.M1. Aprimorar a base de dados das restrições operativas hidráulicas para UHE.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Objetivo Específico 0011 – Expandir a capacidade instalada de geração de energia elétrica; Entrega 2246 – Redução das restrições operativas em reservatórios de usinas hidrelétricas.

⁴ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
<p>M1. Reavaliar a dinâmica de operação dos reservatórios de UHE, considerando a atualização histórica de dados de vazão, dos usos consuntivos e das restrições hidráulicas com o objetivo de identificar impactos na geração de energia e estabelecer medidas de flexibilização da operação em situações de eventos climáticos extremos, até 2035.</p>	<p>A4.M1. Avaliar e revisar as restrições hidráulicas operativas, tendo em vista a “nova” dinâmica de operação dos reservatórios.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Objetivo Específico 0011 – Expandir a capacidade instalada de geração de energia elétrica; Entrega 2246 – Redução das restrições operativas em reservatórios de usinas hidrelétricas.</p>
	<p>A5.M1. Avaliar e revisar as restrições hidráulicas operativas, e definir os níveis mínimos de defluências das UHE Jupiá e Porto Primavera.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Objetivo Específico 0011 – Expandir a capacidade instalada de geração de energia elétrica; Entrega 2246 – Redução das restrições operativas em reservatórios de usinas hidrelétricas.</p>
	<p>A6.M1. Desenvolver capacidade de análise sobre os impactos de propostas de restrições hidráulicas e/ou restrições eletroenergéticas nas usinas hidrelétricas em operação.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Objetivo Específico 0011 – Expandir a capacidade instalada de geração de energia elétrica; Entrega 2246 – Redução das restrições operativas em reservatórios de usinas hidrelétricas.</p>

Objetivos Nacionais da ENA⁵: ON1



Objetivos setoriais

03. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M2. Atualizar a metodologia de levantamentos das curvas cota-área-volume de reservatórios de usinas hidrelétricas, com o objetivo de recompor e de melhorar as condições físicas de armazenamento, até 2027.	A1.M2. Atualizar os dados referentes às curvas cota-área-volume e avaliar o assoreamento dos reservatórios.	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da ANA</i></p> <p>Programa 2321 – Recursos Hídricos; Objetivo Específico 0058 – Aprimorar os múltiplos usos da água e os serviços hídricos, observando a eficiência e a sustentabilidade, ampliando o conhecimento sobre recursos hídricos e minimizando os riscos e ocorrências de conflitos.</p>

⁵ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Objetivos Nacionais da ENA⁶: ON1, ON3 e ON6



Objetivos setoriais

01. Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética.
03. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M3. Elaborar estudos para a identificação de potenciais reservatórios de regularização com o objetivo de viabilizar aqueles que apresentem benefícios para a segurança hídrica, atenuação de efeitos climáticos e para o atendimento aos múltiplos usos da água, inclusive para o setor elétrico, até 2031.	<p>A1.M3. Elaborar estudos para identificação de potenciais reservatórios de regularização que apresentem benefícios para a segurança hídrica e para o atendimento aos usos múltiplos da água, inclusive para o setor elétrico, e priorização de novos reservatórios para estudos de viabilidade técnica, econômica e socioambiental.</p> <p>A2.M3. Elaborar estudos para a viabilização de novos reservatórios de regularização e projetos de reversão em hidrelétricas existentes.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do MME, MMA, MIDR, ONS, EPE e outras (tema transversal da ENA)</i></p> <p>Programa 2321 – Recursos Hídricos; Objetivo Específico 0056 – Ampliar a segurança hídrica e a resiliência à mudança do clima por meio da implantação, da recuperação e da manutenção da infraestrutura hídrica, em bases sustentáveis, especialmente nas regiões em situação crítica.</p> <p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do MME, MMA, MIDR e outras (tema transversal da ENA)</i></p> <p>Programa 2321 – Recursos Hídricos; Objetivo Específico 0056 – Ampliar a segurança hídrica e a resiliência à mudança do clima por meio da implantação, da recuperação e da manutenção da infraestrutura hídrica, em bases sustentáveis, especialmente nas regiões em situação crítica.</p>

⁶ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Objetivos Nacionais da ENA⁷: ON6



Objetivos setoriais

01. Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética.
03. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M4. Produzir, sistematizar, integrar e disponibilizar informações sobre alterações climáticas e medidas de adaptação, com o objetivo de subsidiar os modelos de planejamento à tomada de decisão do setor elétrico, até 2031.	<p>A1.M4. Estruturar e modelar a base de dados de indicadores e estatísticas socioambientais de riscos climáticos, mitigação e adaptação à mudança do clima no setor de energia.</p> <p>A2.M4. Aprimorar a metodologia de geração de cenários hidrológicos, considerando cenários climáticos, para a incorporação nos modelos e estudos de planejamento do setor elétrico.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da EPE</i></p> <p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i></p> <p>Programa 1158 – Enfrentamento da Emergência Climática;</p> <p>Objetivo Específico 0247 – Produzir, sistematizar e disponibilizar informações, previsões e modelos sobre mudança do clima, contemplando mitigação, adaptação e aumento da resiliência a eventos climáticos extremos.</p>
	<p>A3.M4. Identificar oportunidades de melhorias nos processos de planejamento da expansão, tendo em vista o monitoramento de indicadores e estatísticas socioambientais de riscos climáticos, mitigação e adaptação à mudança do clima.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da EPE</i></p>

⁷ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M4. Produzir, sistematizar, integrar e disponibilizar informações sobre alterações climáticas e medidas de adaptação, com o objetivo de subsidiar os modelos de planejamento à tomada de decisão do setor elétrico, até 2031.	A4.M4. Avaliar estudos sobre as mudanças no regime de vazões.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 1158 – Enfrentamento da Emergência Climática; Objetivo Específico 0247 – Produzir, sistematizar e disponibilizar informações, previsões e modelos sobre mudança do clima, contemplando mitigação, adaptação e aumento da resiliência a eventos climáticos extremos.
	A5.M4. Aprimorar a representação das restrições hidráulicas operativas individualizadas dos reservatórios das hidroelétricas nos modelos matemáticos de médio e longo prazos usados no Setor Elétrico Brasileiro.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Objetivo Específico 0011 – Expandir a capacidade instalada de geração de energia elétrica; Entrega 2246 – Redução das restrições operativas em reservatórios de usinas hidrelétricas.

Objetivos Nacionais da ENA⁸: ON6



Objetivos setoriais

01. Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M5. Promover discussão com a sociedade civil e instituições privadas sobre aspectos relacionados à mudança do clima e aos impactos no setor de energia, com o objetivo de identificar a percepção de risco e a disposição à adoção de medidas de adaptação e mitigação relacionadas ao setor de energia, até 2035.	<p>A1.M5. Promover discussão com a sociedade e com os órgãos do sistema ambiental, buscando seu entendimento (percepção de risco da sociedade) e avaliação da necessidade de rever a relação de risco/custo no planejamento, e, consequentemente, revisitar os limites estabelecidos nos critérios de garantia de suprimento.</p> <p>A2.M5. Promover discussão com a sociedade e com os órgãos do sistema ambiental, buscando seu entendimento sobre o papel das usinas hidrelétricas do país e a utilização de seus reservatórios.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da EPE</i></p> <p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da EPE e do MME</i></p>

⁸ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Objetivos Nacionais da ENA⁹: ON1 e ON6



Objetivo setoriais

01. Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética.
02. Assegurar a oferta de combustíveis, em especial os biocombustíveis e os combustíveis de baixa intensidade de carbono, frente às ameaças climáticas.
03. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M6. Avaliar, monitorar e sugerir aprimoramento do licenciamento socioambiental de empreendimentos de energia e processos adjacentes, com o objetivo de aumentar a resiliência do setor frente à mudança do clima, até 2035.	<p>A1.M6. Mapear procedimento de licenciamento ambiental e de processos adjacentes.</p> <p>A2.M6. Estabelecer tratativas com os órgãos ambientais, de recursos hídricos, territoriais, FUNAI e outros envolvidos para a efetivação de melhorias no procedimento de licença ambiental identificadas no mapeamento.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do MMA e do MME</i></p> <p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do MME</i></p>

⁹ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Objetivos Nacionais da ENA¹⁰: ON1 e ON6



Objetivo setoriais

01. Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética.
03. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M7. Elaborar estudos para fortalecer a resiliência do sistema elétrico, até 2027.	A1.M7. Elaborar estudos sobre a relação entre o consumo de energia elétrica e as mudanças de temperatura decorrentes da mudança do clima.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da EPE e ONS</i>
	A2.M7. Elaborar simulações com um modelo de operação, considerando aspectos do SIN para diferentes cenários econômicos e com ênfase em regiões onde as vulnerabilidades de fontes de energia elétrica são acentuadas.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da EPE</i>
	A3.M7. Realizar estudos sobre o aumento da resiliência do sistema elétrico, visando ao atendimento em futuros cenários de escassez hídrica e cheias extraordinárias.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da EPE</i>
	A4.M7. Elaborar <i>Roadmap</i> que aborde iniciativas e estratégias que permitam o fortalecimento da resiliência do setor elétrico em resposta à mudança do clima.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da EPE</i>
	A5.M7. Realizar estudos sobre o aumento da resiliência do sistema elétrico frente a eventos climáticos extremos.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i>

¹⁰ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Objetivos Nacionais da ENA¹¹: ON1 e ON6



Objetivo setoriais

O3. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M8. Avaliar a evolução do Custo Variável Unitário (CVU), mediante a ocorrência de eventos climáticos extremos com o objetivo de prever o aumento das tarifas, até 2027.	A1.M8. Considerar a evolução do Custo Variável Unitário (CVU) no planejamento da operação e formação de preço, considerando aversão ao risco de volatilidade de preços.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32101.25.752.3101.21BA – Coordenação das Ações de Gestão e Monitoramento do Setor.

Objetivos Nacionais da ENA¹²: ON6



Objetivo setoriais

O1. Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M9. Monitorar o consumo de energia em condições de eventos climáticos extremos, com o objetivo de consolidar dados, analisar a resposta à demanda e avaliar lições aprendidas para o aprimoramento e operacionalização do Programa de Resposta à Demanda, até 2031.	A1.M9. Avaliar a operacionalização de mecanismos de gerenciamento do consumo de energia elétrica (Programa de Resposta à Demanda).	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da ANEEL</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32101.25.752.3101.21BA – Coordenação das Ações de Gestão e Monitoramento do Setor.

¹¹ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

¹² Idem.

Objetivos Nacionais da ENA¹³: ON6



Objetivo setoriais

02. Assegurar a oferta de combustíveis, em especial os biocombustíveis e os combustíveis de baixa intensidade de carbono, frente às ameaças climáticas.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
<p>M10. Gerenciar crises de abastecimento de combustíveis, decorrentes de eventos climáticos extremos, e integrar ações de P&D, visando aumentar a resiliência da oferta de biomassa, a eficiência energética e o desenvolvimento de novas tecnologias de produção.</p>	<p>A1.M10. Atuar de forma tempestiva e preventiva (o Comitê de Gerenciamento de Crise do MME), conforme previsto na Portaria Normativa nº 61/GM/MME, de 2023.</p> <p>A2.M10. Promover e monitorar a integração das ações de PD&I para biocombustíveis com foco em:</p> <ul style="list-style-type: none">• Desenvolvimento e melhoramento de novos cultivares e culturas tradicionais, que sirvam como matéria-prima para biocombustíveis e combustíveis de baixa intensidade de carbono, adaptados às diferentes regiões e resilientes a ambientes hostis e à mudança do clima;• Desenvolvimento, consolidação e aplicação de novas tecnologias para a produção de biocombustíveis e combustíveis de baixa intensidade de carbono, incluindo o aprimoramento de rotas consolidadas;• Melhorias na gestão de processos, com foco no aumento da Eficiência Energético-Ambiental dos biocombustíveis e combustíveis de baixa intensidade de carbono;	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do MME</i></p> <p><i>A definir</i> <i>(Projeto Potencial)</i></p> <p>Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32266.25.665.3101.4703 – Regulamentação dos Serviços de Energia Elétrica.</p> <p>Programa 3107 – Transição Energética; Ação 10.32314.25.754.3107.21BD – Estudos da Indústria de Biocombustíveis.</p>

¹³ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
<p>M10. Gerenciar crises de abastecimento de combustíveis, decorrentes de eventos climáticos extremos, e integrar ações de P&D, visando aumentar a resiliência da oferta de biomassa, a eficiência energética e o desenvolvimento de novas tecnologias de produção.</p>	<p>A2.M10. Promover e monitorar a integração das ações de PD&I para biocombustíveis com foco em:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investimentos em infraestrutura para reserva de água em regiões produtoras de matérias-primas suscetíveis a fenômenos climáticos extremos, como enchentes e estiagens prolongadas; • Infraestrutura de irrigação em áreas atualmente aptas e produtoras de biocombustíveis afetadas por secas que comprometam a produção; • Gerenciamento e aproveitamento de resíduos orgânicos para a produção de biocombustíveis e combustíveis com baixa intensidade de carbono. 	<p><i>A definir</i> (Projeto Potencial)</p> <p>Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32266.25.665.3101.4703 – Regulamentação dos Serviços de Energia Elétrica.</p> <p>Programa 3107 – Transição Energética;</p> <p>Ação 10.32314.25.754.3107.21BD – Estudos da Indústria de Biocombustíveis.</p>
<p>M11. Garantir a produção do gás natural nacional, até 2035.</p>	<p>A1.M11. Implementar o Programa Gás para Empregar, visando garantir a produção de gás natural nacional, cujo monitoramento será realizado pelo Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural (DGN/SNPGB/MME) e por dados da EPE.</p>	<p><i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do MME</i> (Projeto Potencial)</p> <p>Programa 3103 – Petróleo, Gás, Derivados e Biocombustíveis;</p> <p>Objetivo Específico 0030 – Melhorar o aproveitamento da produção de gás natural nacional.</p>

Objetivos Nacionais da ENA¹⁴: ON1 e ON6



Objetivo setoriais

01. Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética.
03. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M12. Ampliar a interligação e a hibridização de sistemas isolados, até 2035.	A1.M12. Reduzir a participação da geração de energia a diesel nos sistemas isolados decorrente da aplicação de instrumentos do Programa Energias da Amazônia.	<p>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do MME</p> <p>Programa 3101 – Energia Elétrica;</p> <p>Objetivo Específico 0009 – Viabilizar acesso à geração distribuída pela população de baixa renda.</p> <p>Programa 3107 – Transição Energética;</p> <p>Objetivo Específico 0015 – Reduzir a participação da geração de energia a diesel nos sistemas isolados;</p> <p>Entrega 2612 – Sistemas isolados com participação de fontes renováveis de geração de energia.</p> <p>Programa 3107 – Transição Energética;</p> <p>Objetivo Específico 0122 – Interligar sistemas isolados.</p>

¹⁴ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Objetivos Nacionais da ENA¹⁵: ON1 e ON6



Objetivo setoriais

03. Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M13. Viabilizar a expansão da rede básica de transmissão de energia, com ênfase em Transição Energética, até 2027.	A1.M13. Atualizar o Documento de Critérios e Procedimentos de Planejamento da Transmissão (EPE), considerando a inserção de características de resiliência climática.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do MME</i> Programa 3107 – Transição Energética; Ação 10.32314.25.121.3107.20LI – Estudos para o Planejamento do Setor Energético. <i>Programa 3107 - Transição Energética;</i> <i>Ação 10.32101.25.121.3107.4897 – Transição Energética e Planejamento.</i>
	A2.M13. Avaliar os critérios para flexibilização de limites de intercâmbio, em horizonte de curto prazo, afeto ao planejamento da operação, em ocasiões excepcionais de atendimento eletroenergético do SIN.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do ONS</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32101.25.752.3101.21BA – Coordenação das Ações de Gestão e Monitoramento do Setor Elétrico.

¹⁵ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Objetivos Nacionais da ENA¹⁶: ON1 e ON6



Objetivo setoriais

- O1.** Garantir a oferta e o acesso de energia elétrica frente às ameaças climáticas, promovendo o combate à pobreza energética.
- O3.** Implementar e fortalecer a resiliência da infraestrutura no setor de energia.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M14. Atenuar os efeitos nos sistemas de distribuição das alterações repentinas e/ou significantes na demanda de energia elétrica, até 2030.	A1.M14. Promover as adequações regulatórias para a inserção de sistemas de armazenamento, incluindo usinas reversíveis, no Sistema Interligado Nacional (SIN).	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da ANEEL</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32266.25.665.3101.4703 – Regulamentação dos Serviços de Energia Elétrica.
M15. Reduzir os desligamentos da rede básica e nas redes de distribuição, até 2035.	A1.M15. Aprimorar os elementos regulatórios para o aumento da resiliência do sistema de distribuição e de transmissão a eventos climáticos extremos.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da ANEEL</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32266.25.665.3101.4703 – Regulamentação dos Serviços de Energia Elétrica.
M16. Melhorar a eficiência energética, até 2035, por meio do aumento de acesso à informação e à educação sobre consumo racional e da oferta de máquinas, equipamentos e edificações mais eficientes.	A1.M16. Aperfeiçoar o Programa Eficiência Energética para a Transição Energética.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da ANEEL</i> Programa 3107 – Transição Energética; Objetivo Específico 0089 – Promover a eficiência energética no uso final de energia; Entrega 2574 – Promoção da economia de energia elétrica no país, por meio da implementação de ações de eficiência energética do PROCEL.
	A2.M16. Realizar a Olimpíada Nacional de Eficiência Energética.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal da ANEEL</i>

¹⁶ Para conferir os Objetivos Nacionais da Estratégia Nacional de Adaptação (ENA) na íntegra, consultar o Apêndice A.

Metas	Ações	Plano Plurianual / Fonte do recurso
M16. Melhorar a eficiência energética, até 2035, por meio do aumento de acesso à informação e à educação sobre consumo racional e da oferta de máquinas, equipamentos e edificações mais eficientes.	A3.M16. Implementar projetos de formação e capacitação profissional em eficiência energética em diferentes setores por meio do Programa ENERGIF.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do PROCEL</i> Programa 5112 – Educação Profissional e Tecnológica que Transforma; Entrega 1151 – Apoio à melhoria da sustentabilidade e adaptabilidade ambiental com uso de tecnologias ambientais para eficiência energética, otimização de recursos naturais e outras técnicas que contribuam para a mitigação e a adaptação às mudanças do clima.
	A4.M16. Ampliar e aprimorar continuamente os programas de concessão de selos de endosso, para os equipamentos e as edificações com melhor desempenho energético em suas categorias.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do PROCEL</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32266.25.665.3101.4703 – Regulamentação dos Serviços de Energia Elétrica.
	A5.M16. Estabelecer índices mínimos de eficiência energética para máquinas, equipamentos e edificações consumidoras de energia.	<i>A ação será realizada com os recursos financeiros e de pessoal do CGIEE</i> Programa 3101 – Energia Elétrica; Ação 10.32266.25.665.3101.4703 – Regulamentação dos Serviços de Energia Elétrica.

Fonte: Elaboração própria.

Em relação às informações do Plano Plurianual (PPA) contidas no quadro anterior, cabe destacar que a Constituição Federal estabelece que os planos nacionais, regionais e setoriais sejam elaborados em consonância com o PPA, instrumento que também orienta a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e a Lei Orçamentária Anual (LOA).

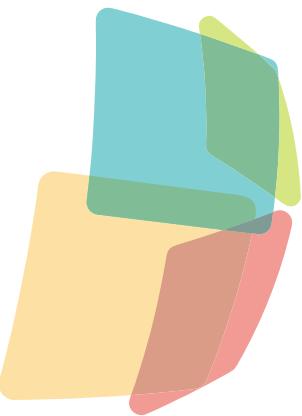
Diante disso, na finalização dos Planos Setoriais e Temáticos de Adaptação, a Secretaria Nacional de Planejamento do Ministério de Planejamento e Orçamento (SEPLAN/MPO) foi convidada a contribuir para alinhar as metas e ações apresentadas ao PPA 2024-2027, fortalecendo a integração entre os instrumentos de planejamento e assegurando maior coerência entre políticas públicas nacionais e setoriais.

Ademais, o trabalho buscou detalhar vínculos até o mais específico nível possível, acrescentando informações relevantes e, na ausência de correspondência com atributos mais específicos, manteve-se a vinculação somente com o Programa do PPA. Entretanto, sempre que havia objetivos, entregas ou medidas institucionais vinculadas à ação setorial, esses elementos foram devidamente destacados. Ainda é importante ressaltar que o objetivo dessa ação foi aperfeiçoar o alinhamento ao planejamento de médio prazo do governo federal.

Assim, ao refinar a relação entre as ações previstas nos planos setoriais e temáticos de adaptação e o PPA, conseguimos aumentar a robustez do plano de duas maneiras: (1) identificamos as ações já previstas no PPA, justamente aquelas priorizadas pelos respectivos órgãos; e (2) para as ações que não constam ainda do PPA, mas que contribuem para o alcance de seus objetivos, abre-se a possibilidade de eventual inclusão no Plano Plurianual em uma futura revisão.

Por fim, vale salientar que esse alinhamento poderá ser revisado e aproveitado no ciclo de monitoramento do Plano Clima, sobretudo nos casos de ações idênticas às do PPA, permitindo utilizar os dados de monitoramento do PPA também para o Plano Clima. Destaca-se, ainda, a possibilidade de incluir ações do Plano Clima no PPA em futuras revisões, desde que atendam aos requisitos metodológicos. Entre eles, destaca-se a exigência de metas quantitativas para as entregas, condição essencial para mensurar o progresso alcançado.





4. Gestão, monitoramento e avaliação

4.1 Elaboração do Plano

4.1.1 Processo de elaboração

O Plano Setorial de Energia, do Plano Clima Adaptação, foi desenvolvido de forma colaborativa, por meio de um Grupo de Trabalho (GT Energia) constituído para essa finalidade, sob a coordenação da Secretaria Nacional de Planejamento e Transição Energética (SNTEP/MME). Ademais, a constituição do GT Energia se deu a partir da designação de pontos focais das secretarias do MME, bem como dos parceiros institucionais: EPE, ANEEL, ONS e ANP.

Assim, a elaboração do Plano se deu a partir dos documentos orientadores das políticas do Setor Energia, em especial, o Plano Nacional de Energia (PNE), o Plano Decenal de Energia (PDE), o Plano de Recuperação dos Reservatórios de Regularização do País (PRR), Balanço Energético Nacional (BEN), bem como a partir de diversos estudos específicos elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), e demais literaturas listadas nas referências.

4.1.2 Mecanismos de participação

O processo colaborativo e interativo contou com a realização de mais de 30 oficinas organizadas em formato remoto, tendo em vista a lotação, da maior parte dos profissionais, em Brasília e no Rio de Janeiro, com uma presença média de 30 participantes em cada encontro. Além das discussões em formato virtual, o GT Energia participou de todas as atividades presenciais e webinários promovidos pela coordenação geral do Plano Clima Adaptação. Externamente, no período de elaboração do Plano Setorial, foram realizadas 6 reuniões com ampla participação das associações do setor, totalizando cerca de 100 participantes, além de várias reuniões bilaterais. Outrossim, como forma de assegurar uma construção participativa, todos os integrantes do GT Energia foram estimulados a contribuir nas áreas em que detém domínio e, respectivamente ao processo de construção, os contribuintes elaboraram seus documentos e os expuseram à avaliação do Grupo por meio de oficinas remotas, em um processo hierárquico horizontal.

Por fim, vale o destaque para o fato de que o trabalho do GT Energia foi complementado pelas contribuições dos agentes do setor, bem como da sociedade brasileira em geral, pelo processo formal de consulta pública, no qual o Plano Setorial de Energia recebeu um total de 573 contribuições por meio da plataforma governamental Brasil Participativo.

4.2 Gestão e implementação do Plano Setorial de Energia

4.2.1 Responsabilidades na implementação

As responsabilidades na implementação das ações do Plano são do MME e dos parceiros institucionais que compõem o GT Energia, sendo muito importante

destacar que várias ações já têm governança própria e instâncias de acompanhamento e monitoramento. À Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento caberá o acompanhamento periódico, a consolidação e a atualização das informações referentes ao Plano Setorial, de modo articulado e sinérgico com as demais intuições parceiras.

Conforme apresentado, as principais ações elencadas encontram-se preestabelecidas em planos e programas já em andamento no âmbito das políticas do setor Energia. Por exemplo, as ações relacionadas ao PRR, dada a relevância do tema e sua característica multisetorial – abrangendo não somente o setor elétrico brasileiro, mas também os demais usuários da água no país –, são coordenadas pela Secretaria Nacional de Energia Elétrica (SNEE), a partir de uma robusta estrutura de governança, que visa fortalecer o Plano e potencializar sua efetividade, considerando a participação de diversos órgãos, entidades e agentes setoriais. A Figura 6, a seguir, apresenta a estrutura de governança para a implementação e monitoramento do PRR.

Figura 6 – Estrutura de governança do PRR



Fonte: MME, 2024.

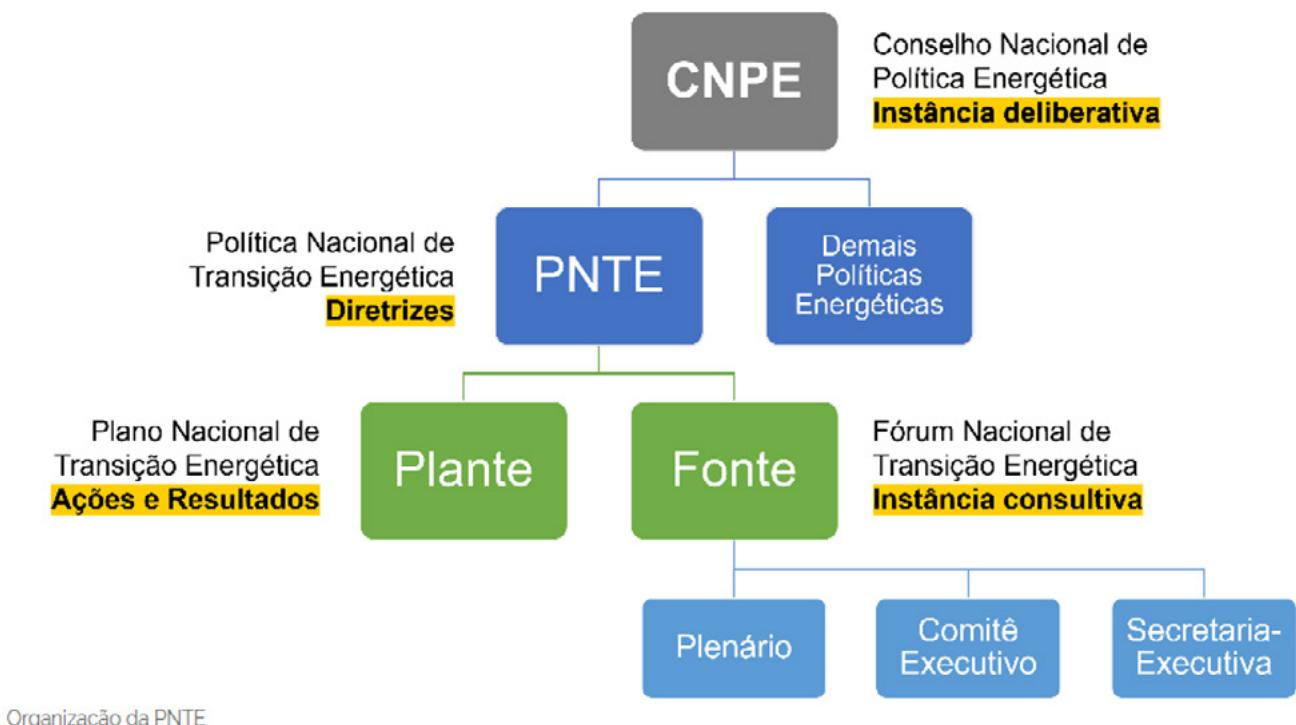
Adicionalmente, com o estabelecimento da PNTE, a divulgação relacionada à sua implementação e ao monitoramento e avaliação será levada ao Fórum Nacional de Transição Energética (FONTE), de forma a garantir maior transparência e debate com o público-alvo, bem como subsidiar a elaboração e revisões do Plano Nacional de Transição Energética (PLANTE).

Outrossim, o Fórum Nacional de Transição Energética (Fonte) atua como um espaço de diálogo entre governo, sociedade civil e setor produtivo, sendo responsável por elaborar recomendações e promover a transparência e a participação social na formulação de políticas energéticas. Assim, é importante destacar que esse fórum busca assegurar que a transição energética seja conduzida de maneira equitativa, respeitando a diversidade regional e promovendo a inclusão social.

Além disso, o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) estabelece um conjunto de ações de longo prazo, visando à neutralidade de emissões e ao desenvolvimento econômico sustentável. Ademais, o Plante é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, com apoio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e de outros ministérios envolvidos, sendo revisado periodicamente para se ajustar às mudanças e aos desafios do setor energético.

A organização da PNTE é apresentada na Figura 7 a seguir.

Figura 7 – Organização da PNTE



Fonte: MME, 2024.

A seguir, para apreciação mais objetiva do processo, é apresentada a lista completa de instituições responsáveis pela implementação das ações, bem como os principais parceiros do Plano Setorial de Energia (Quadro 3).

Quadro 3 – Quadro-síntese de atribuição de responsabilidades na gestão do Plano

Instituição	Responsabilidades
Ministério de Minas e Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Produção e tratamento de dados • Monitoramento e avaliação • Mobilização e participação social • Transparência
Agência Nacional de Energia Elétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Transparência
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Parceiros (conjunto de parceiros estratégicos) • Transparência
Empresa de Pesquisa Energética	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Produção e tratamento de dados • Monitoramento e avaliação • Transparência
Operador Nacional do Sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Implementação de ações – Parceiros (conjunto de parceiros estratégicos) • Produção e tratamento de dados • Monitoramento e avaliação • Transparência
Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Implementação de ações – Parceiros (conjunto de parceiros estratégicos) • Produção e tratamento de dados • Monitoramento e avaliação • Transparência
Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento e avaliação • Transparência

Instituição	Responsabilidades
Comitê de Monitoramento do Setor de Gás Natural (CMGN), no âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME)	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento e avaliação • Transparência
Conselho Nacional de Política Energética	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento e avaliação • Transparência
Ministério do Meio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Implementação de ações – Parceiros (conjunto de parceiros estratégicos) • Monitoramento e avaliação • Transparência
Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Implementação de ações – Parceiros (conjunto de parceiros estratégicos) • Produção e tratamento de dados • Monitoramento e avaliação • Transparência
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Implementação de ações – Parceiros (conjunto de parceiros estratégicos) • Produção e tratamento de dados • Monitoramento e avaliação • Transparência
Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (Coordenação: MME)	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de ações – Responsável • Monitoramento e avaliação • Transparência

Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Monitoramento, avaliação e transparência

Seguem, listados no Quadro 4, a seguir, os principais indicadores utilizados para monitorar o progresso no atendimento das metas, de modo que seja realizado o acompanhamento do avanço das ações e resultados obtidos.

Quadro 4 – Metas e indicadores para monitoramento e avaliação do Plano Setorial Energia

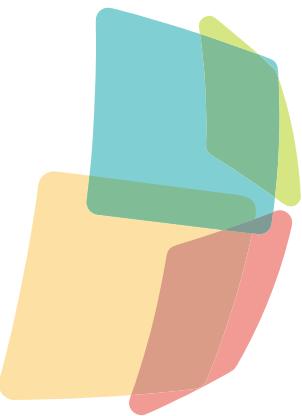
 Metas	Indicadores das metas	Periodicidade de coleta do indicador
M1. Reavaliar a dinâmica de operação dos reservatórios de UHE, considerando a atualização histórica de dados de vazão, dos usos consuntivos e das restrições hidráulicas, com o objetivo de identificar impactos na geração de energia e estabelecer medidas de flexibilização da operação em situações de eventos climáticos extremos, até 2035.	Relatório Técnico elaborado.	5 anos
M2. Atualizar a metodologia de levantamentos das curvas cota-área-volume de reservatórios de usinas hidrelétricas, com o objetivo de recompor e de melhorar as condições físicas de armazenamento, até 2027.	Evolução percentual do quantitativo de reservatórios de empreendimentos hidrelétricos cujas curvas CAV foram atualizadas nos termos da Resolução Conjunta ANA e ANEEL nº 3, de 2010, sucedida pela Resolução Conjunta ANA e ANEEL nº 127, de 2022.	Anual
M3. Elaborar estudos para a identificação de potenciais reservatórios de regularização, com o objetivo de viabilizar aqueles que apresentem benefícios para a segurança hídrica, atenuação de efeitos climáticos e para o atendimento aos múltiplos usos da água, inclusive para o setor elétrico, até 2031.	Estudos elaborados.	Anual
M4. Produzir, sistematizar, integrar e disponibilizar informações sobre alterações climáticas e medidas de adaptação, com o objetivo de subsidiar os modelos de planejamento à tomada de decisão do setor elétrico, até 2031.	Estudos e dados publicados.	Anual

 Metas	Indicadores das metas	Periodicidade de coleta do indicador
M5. Promover discussão com a sociedade civil e instituições privadas sobre aspectos relacionados à mudança do clima e aos impactos no setor de energia, com o objetivo de identificar a percepção de risco e a disposição à adoção de medidas de adaptação e mitigação relacionadas ao setor de energia, até 2035.	Consultas públicas e eventos realizados.	5 anos
M6. Avaliar, monitorar e sugerir aprimoramento do licenciamento socioambiental de empreendimentos de energia e processos adjacentes, com o objetivo de aumentar a resiliência do setor frente à mudança do clima, até 2035.	Plano de Ação com sugestões de revisão/edição de normas e procedimentos implementado.	5 anos
M7. Elaborar estudos para fortalecer a resiliência do sistema elétrico, até 2027.	Estudos publicados.	Anual
M8. Avaliar a evolução do Custo Variável Unitário (CVU), mediante a ocorrência de eventos climáticos extremos com o objetivo de prever o aumento das tarifas, até 2027.	Propostas de adequações Regulatórias e de Regras de Comercialização implementadas.	Anual
M9. Monitorar o consumo de energia em condições de eventos climáticos extremos, com o objetivo de consolidar dados, analisar a resposta à demanda e avaliar lições aprendidas para o aprimoramento e operacionalização do Programa de Resposta à Demanda, até 2031.	Avaliação de Resultado Regulatório do Programa e Resposta à Demanda (Resolução Normativa ANEEL nº 1.030/2022), realizada pela ANEEL.	Anual
M10. Gerenciar crises de abastecimento de combustíveis, decorrentes de eventos climáticos extremos, e integrar ações de P&D, visando aumentar a resiliência da oferta de biomassa, a eficiência energética e o desenvolvimento de novas tecnologias de produção.	Número de crises gerenciadas.	Anual

Metas	Indicadores das metas	Periodicidade de coleta do indicador
M11. Garantir a produção do gás natural nacional, até 2035.	Milhões de m ³ /ano.	Anual
M12. Ampliar a interligação e a hibridização de sistemas isolados, até 2035.	Evolução percentual de sistemas isolados integrados.	Anual
M13. Viabilizar a expansão da rede básica de transmissão de energia, com ênfase em Transição Energética, até 2027.	Documento de Critérios e Procedimentos de Planejamento da Transmissão atualizado.	Anual
M14. Atenuar os efeitos nos sistemas de distribuição das alterações repentinas e/ou significantes na demanda de energia elétrica, até 2035.	Aprimoramentos regulatórios associados à proposta de regulamentação de sistemas de armazenamento de energia, incluindo usinas reversíveis, no SIN, objeto da Consulta Pública ANEEL nº 39/2023 realizada.	Anual
M15. Reduzir os desligamentos da rede básica e nas redes de distribuição, até 2035.	Aprimoramentos regulatórios associados ao aumento da resiliência do sistema de distribuição e de transmissão a eventos climáticos extremos, objeto da Consulta Pública ANEEL nº 32/2024 realizada.	Anual
M16. Melhorar a eficiência energética, até 2035, por meio do aumento do acesso à informação e à educação sobre consumo racional e da oferta de máquinas, equipamentos e edificações mais eficientes.	ODEX Brasil – indicador que apura o progresso da eficiência energética, disponível anualmente por meio do Atlas de Eficiência Energética publicado pela EPE.	Anual

Fonte: Elaboração própria.





5. Considerações finais

O elevado índice de renovabilidade da matriz energética brasileira é derivado de políticas públicas e investimentos em vetores energéticos renováveis realizados ao longo das últimas décadas, alcançando 47% de renovabilidade em 2022. Em relação à matriz elétrica, a renovabilidade se destaca ainda mais, atingindo 90%, percentual bem expressivo em comparação aos indicadores em torno de 30% da média mundial e do bloco da OCDE. Assim, é muito importante destacar que esse avanço foi viabilizado, em grande parte, pela abundância e pela diversidade dos recursos renováveis do país, como o hidrelétrico, o solar, o eólico e a biomassa, que proporcionaram condições naturais favoráveis à formulação de estratégias sustentáveis de longo prazo.

Ademais, enquanto economias avançadas apresentam crescimento do uso de energia próximo a zero, as economias emergentes apresentam demandas crescentes de energia, por conta do seu processo de desenvolvimento, do crescimento populacional, da melhoria nos padrões de vida, entre outros, o que pressiona a necessidade de expansão da infraestrutura energética. No caso do Brasil, o consumo de energia per capita corresponde a, aproximadamente, metade do registrado na União Europeia, e necessita ainda ampliar consideravelmente a oferta de energia, atendendo ao desafio interno de reduzir as desigualdades energéticas e aumentar a qualidade de vida da população.

Paralelamente, a mudança do clima vem trazendo transformações significativas na produção da energia e nos hábitos de consumo, modificando a forma de planejar e operar o sistema energético. Ainda que diante de um elevado índice de renovabilidade das matrizes energética e elétrica brasileiras, o país está diretamente exposto ao processo de mudança do clima, que impacta na produção das suas diversas fontes energéticas dependentes de recursos naturais. Dessa forma, a internalização de estratégias de adaptação a impactos climáticos e socioambientais segue, com ainda mais vigor, como parte da dinâmica setorial e do planejamento energético. Outrossim, o setor, que historicamente evoluiu no sentido de trabalhar com as incertezas de recursos naturais, com desenvolvimento de tecnologia e modelagem de operação e planejamento capazes de apoiar a decisão sob incerteza, terá que se modernizar e se tornar ainda mais resiliente diante dos desafios de adaptação à mudança do clima.

Além disso, o setor detém importantes interfaces relacionadas aos setores de recursos hídricos, agricultura e pecuária, indústria, transportes, cidades, redução e gestão de riscos e desastres, e áreas como saúde, educação, saneamento e meio ambiente, que se tornam ainda mais vulneráveis quando eventos climáticos extremos afetam o setor de energia.

Fazendo-se um apanhado geral, é possível reafirmar que as características da matriz energética brasileira, como sua renovabilidade, a tornam mais vulnerável, principalmente às ameaças climáticas relacionadas ao aumento da frequência e duração das secas, à ocorrência de chuvas intensas e persistentes,

às mudanças nos padrões dos ventos e incidência solar, além do aumento e da frequência de ondas de calor e descargas atmosféricas. Mesmo nesse contexto, por apresentar uma diversificação elevada e relevante distribuição geográfica de fontes energéticas no território nacional, o efeito portfólio traz boas alternativas de adaptação para o setor de energia.

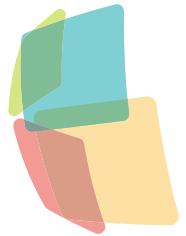
Adicionalmente, é pertinente reforçar que alguns fatores – como a redução da oferta de fontes renováveis afetadas por alterações climáticas; a necessidade de acionamento de fontes não renováveis e de maior custo (de modo a garantir a segurança do sistema); os danos às infraestruturas de geração, transmissão e distribuição de energia; e o possível desabastecimento e falta de combustíveis – podem resultar em um aumento da tarifa de energia que afetará toda a sociedade brasileira e, sobremaneira, as populações em condições de maior vulnerabilidade socioeconômica.

Assim, o controle do aumento dos custos da tarifa de energia, com impacto direto às populações de baixa renda, está entre os principais focos de atuação do setor, de modo a garantir a adequada transição energética, com segurança, de modo justo e inclusivo para toda a sociedade.

As metas e ações do Plano Setorial de Adaptação do Setor de Energia foram definidas de modo a estabelecer uma integração entre as diversas iniciativas já em andamento por meio de outros planos, programas, projetos, regulamentações e outros instrumentos específicos, aproveitando-se das sinergias entre eles, com o foco na exposição atual e futura à mudança do clima. Além disso, observam-se também as naturezas requeridas para a eficiência e a efetividade das ações de adaptação e resiliência climática necessárias ao setor, sendo elas de caráter antecipatório, reativo, incremental, transformacional, e com espectros de execução de curto, médio e longo prazo bem estabelecidos. Por fim, destacam-se a participação e o diálogo com a sociedade civil e as instituições privadas, uma das abordagens de maior peso na atuação do setor, especialmente no que diz respeito à transição e à eficiência energética.

Portanto, para a execução e o monitoramento das ações propostas, o setor Energia detém um robusto arranjo institucional de governança que concorrerá para a adequada condução da resiliência e da adaptação à mudança do clima, bem como para a disposição à atualização de estratégias e instrumentos, mediante a ocorrência de experiências climáticas cada vez mais desafiadoras para a gestão dos recursos energéticos brasileiros.





Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. 2021. ANA, 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 14 out. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – 2023*. ANA, 2024a. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 26 mar. 2024.

ALVES, Virgínia. Redução da chuva no Sul, excesso no Norte e Nordeste, atraso no Brasil Central: 62% de chance de retorno da La Niña. *Notícias Agrícolas*, 19 mar. 2024. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/clima/372629-reducao-da-chuva-no-sul-excesso-no-norte-e-nordeste-atraso-no-brasil-central-62-de-chance-do-retorno-do-la-nina.html>. Acesso em: 16 out. 2024.

ANA LANÇA estudo sobre impactos da mudança climática em quatro regiões do Brasil. *Agência Gov*, 31 jan. 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202401/ana-lanca-estudo-sobre-impactos-da-mudanca-climatica-nosrecursos-hidricos-das-diferentes-regioes-do-brasil>. Acesso em: 26 mar. 2024.

ARMAZÉM da Bianchini com 100 mil toneladas de soja é inundado em Canoas. *Forbes*, 10 maio 2024. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2024/05/armazem-da-bianchini-com-100-miltoneladas-de-soja-e-inundado-em-canoas/>. Acesso em: 01 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOCOMBUSTÍVEIS DO BRASIL. *Governo permite empresas reduzirem mistura de biodiesel no Rio Grande do Sul*. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/pgoverno-permite-empresas-reduzirem-mistura-de-biodiesel-no-rio-grande-do-sul>. Acesso em: 01 out. 2024.

BRITO, K. et al. *Impactos das mudanças climáticas no setor elétrico: O papel da geração distribuída e do armazenamento de energia*. GESEL (Grupo de Estudos do Setor Elétrico). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2022. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2022/07/Brito_2022_07_07.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.

COSTA, T. R. V. da et al. Predictive model of the outage of transmission lines exposed to wildfires. *Sustainability in Debate*, v. 14, n. 3, p. 140–159, 11 dez. 2023. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/50771>. Acesso em: 16 out. 2024.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEM). *Produção de cana-de-açúcar pode cair 20% nos próximos 10 anos devido a mudanças climáticas*, 29 ago. 2024. Disponível em: <https://cnpem.br/producao-cana-acucar-pode-cair-20/>.

DOE. *U.S. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather*. U.S. Department of Energy: Washington, DC, USA, 2013. Disponível em: <https://energy.gov/sites/prod/files/2013/07/f2/20130710-Energy-Sector-Vulnerabilities-Report.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional – BEN – Relatório Síntese 2024*. EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_S%C3%ADntese_2025_PT.pdf. Acesso em: 01 jul. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023*. EPE, 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 16 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional – BEN – Relatório Síntese 2023*. EPE, 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 16 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Nota Técnica Análise Socioambiental das fontes energéticas do PDE 2031*. EPE, 2022a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-593/NT%20EPE-DEA-SMA-004-2022%20-%20Analise%20Socioambiental%20das%20Fontes%20Energéticas%20do%20PDE%202031.pdf>. Acesso em: 16 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). PDE 2031 – Estudos complementares: Geração centralizada de energia elétrica. *Sensibilidades what if*. EPE, 2022b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/Estudos%20Complementares%20PDE2031_Sensibilidades%20what%20if.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). 2023a. Consumo Residencial de Energia Elétrica por Classes de Renda. *Fact-sheet*. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-729/FactSheetConsumoPorClassesDeRenda_Final09032023.pdf. Acesso em: 28 mai. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). 2023b. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 – Caderno de Demanda e Eficiência Energética PDE 2032*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2032>. Acesso em: 28 mai. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). 2023c. *Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas. Revisão Bibliográfica*. Nota Técnica NT-016/2023-EPE-DEA-SMA. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-813/NT-EPE-DEA-016-2023_R0_Final.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). 2024a. *Estudos para expansão da transmissão Relatório R1 Reforços para resiliência no sistema de transmissão Acre e Rondônia em resposta às mudanças climáticas*. Relatório RE-054/2024-EPE-DEE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-276/topico-708/EPE-DEE-RE-057-2024-rev0%20-%20Refor%C3%A7os%20Resili%C3%A3ncia%20Acre%20e%20Rond%C3%B4nia.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). 2024b. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2034*. Relatório final – versão para consulta pública. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia/pde-2034/relatorio-pde-2034-versao-para-consulta-publica/view>. Acesso em: 14 nov. 2024.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). 2023. *Power systems in transition – Electricity security matters more than ever*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition/electricity-security-matters-more-than-ever>. Acesso em: 19 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. IBGE, 2024. Disponível em: Indicador 7-1-1: Percentagem da população com acesso à eletricidade (odsbrasil.gov.br). Acesso em: 22 fev. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Análise de mudanças observadas para o período de 1962 a 2020. Contribuição para a estratégia geral do Plano Clima Adaptação*. 2023.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). 2021. *IPCC WGI Interactive Atlas*. Disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>. Acesso em: 28 mai. 2024.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). 2022a. *AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/reports/>. Acesso em: 28 mai. 2024.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). 2022b. *AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/reports/>. Acesso em: 28 mai. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME); EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Nacional de Energia 2050*. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 16 out. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (MME). *Relatório Final – Grupo de Trabalho: Plano de Recuperação dos Reservatórios*. Brasília, DF: MME, 2022. Aprovado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) em junho de 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Relatório de Estruturação de Ações e Definição de Indicadores Globais do Plano de Recuperação dos Reservatórios de Regularização do País*. MME, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/plano-de-recuperacao-de-reservatorios-prr>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Relatório de Monitoramento Exercício 2023 do Plano de Recuperação dos Reservatórios de Regularização do País*. Brasília, DF: MME, 2024. Apreciado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) em agosto de 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). *Sobre o SIN: O Sistema em números*. ONS, 2024. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 16 out. 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). 2025. *Boletim Diário da Operação*. Disponível em: <https://sdro.ons.org.br/SDRO/DIARIO/index.htm>. Acesso em: 25 jun. 2025.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). *Plano da Operação Energética – PEN 2021*. Disponível em: <https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Relat%C3%B3rio%20PEN%202021.pdf>. Acesso em: 16 out. 2024.

PETRIELLI, G.P. *Avaliação georreferenciada dos impactos das mudanças climáticas na produção de cana-de-açúcar no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Universidade Estadual de Campinas. Unicamp, 2024.

SANTOS, P. et al. Influência das mudanças climáticas na energia eólica: uma revisão bibliográfica. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 39, n. 3, e27070. Brasília, 2022. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/27070>. Acesso em: 16 out. 2024.





Apêndices

APÊNDICE A – Objetivos Nacionais de Adaptação

OBJETIVOS NACIONAIS

1



Aumentar a resiliência das populações, das cidades, dos territórios e das infraestruturas frente à emergência climática;

2



Promover a produção sustentável e resiliente e o acesso regular da população a alimentos saudáveis, em qualidade e quantidade adequadas;

3



Promover a segurança hídrica, disponibilizando água em qualidade e quantidade suficientes para os usos múltiplos, como abastecimento, produção, energia e ecossistemas;

4



Proteger, conservar, restaurar e fortalecer ecossistemas e a biodiversidade, e assegurar o provimento dos serviços ecossistêmicos;

5



Promover, proteger e recuperar a saúde e o bem-estar das populações, respeitando os modos de vida dos povos e comunidades tradicionais;

6



Garantir a segurança energética, de forma sustentável e acessível;

7



Promover o desenvolvimento socioeconômico e a redução das desigualdades;

8



Proteger o patrimônio cultural e preservar práticas culturais e locais de patrimônio, frente aos riscos relacionados à mudança do clima;

9



Fortalecer o papel vital do oceano e da zona costeira no enfrentamento à mudança do clima.



Plano Setorial de Energia

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO Povo BRASILEIRO