



Um olhar para as usinas hidrelétricas

Desafios e oportunidades para o aproveitamento hidrelétrico brasileiro

Caderno de Estudos CD-EPE-DEA-SMA-001-2025

Janeiro de 2025



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA





VALOR PÚBLICO

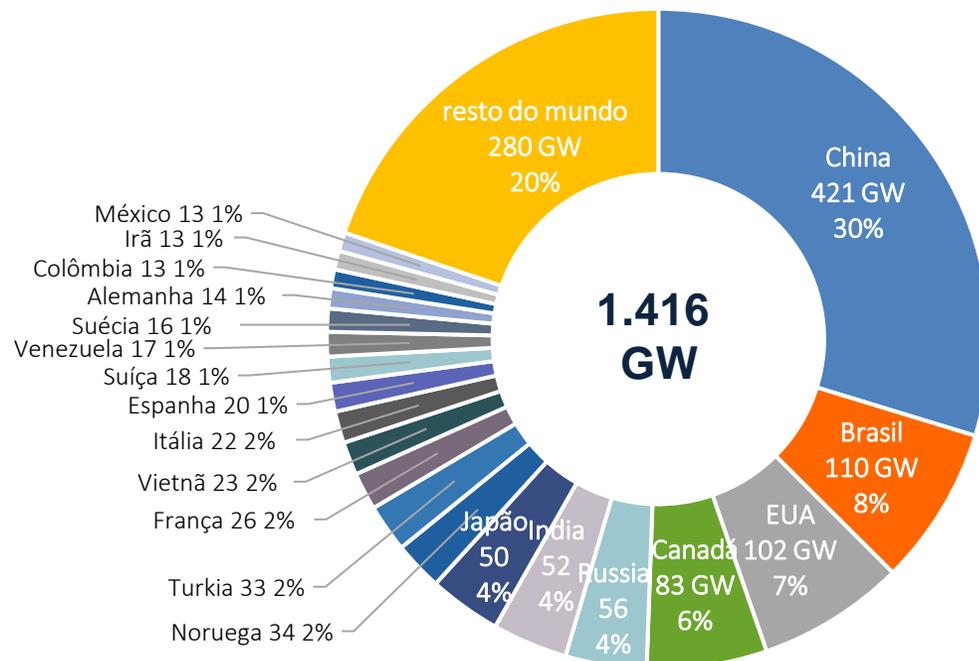
A EPE REALIZA ANÁLISES PARA O PLANEJAMENTO ENERGÉTICO BRASILEIRO, CONSIDERANDO A EXPANSÃO E O PAPEL DAS USINAS HIDRELÉTRICAS NOS HORIZONTES DE MÉDIO E LONGO PRAZOS. ESTAS INFORMAÇÕES SÃO TRATADAS TANTO NO PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA (PDE), QUANTO NO PLANO NACIONAL DE ENERGIA (PNE).

COM ESTE CADERNO, A EPE TRAZ TRANSPARÊNCIA E REDUZ A ASSIMETRIA DE INFORMAÇÕES SOBRE OS DESAFIOS E AS OPORTUNIDADES ASSOCIADAS ÀS USINAS HIDRELÉTRICAS. DESSA FORMA, BUSCA DISCUTIR NOVAS USINAS E TECNOLOGIAS, ASSIM COMO AS ALTERNATIVAS POSSÍVEIS PARA O MELHOR APROVEITAMENTO DA ENERGIA HIDRELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO.

O CADERNO APRESENTA O POTENCIAL HIDRELÉTRICO INVENTARIADO, A SITUAÇÃO DOS ESTUDOS DE VIABILIDADE E AS COMPLEXIDADES PARA IMPLANTAÇÃO DE NOVOS PROJETOS HIDRELÉTRICOS. A PARTIR DESSE CONTEXTO, SÃO APONTADAS OPORTUNIDADES INTERESSANTES PARA AS HIDRELÉTRICAS CONTRIBUÍREM COM O SISTEMA, COMO A IMPLANTAÇÃO DE USINAS REVERSÍVEIS, A REPOTENCIAÇÃO E A AMPLIAÇÃO DE UHÉS EXISTENTES E A ATRIBUIÇÃO DE NOVOS PAPÉIS NA OPERAÇÃO.

Um olhar para as usinas hidrelétricas...

Capacidade instalada de hidreletricidade* no mundo em 2023



Fonte: [2024 World Hydropower Outlook / IHA \(2024\)](#)

*Inclui Usinas Hidrelétricas Reversíveis

Países com maior expansão hidrelétrica* em 2023

Ranking	País	Capacidade adicionada (MW)
1	China	6.749
2	Nigéria	740
3	Colômbia	643
4	Laos	548
5	Nepal	478
6	Camboja	459
7	Uganda	408
8	Turquia	399
9	Congo	381
10	Vietnã	334
19	Brasil	118

Fonte: [2024 World Hydropower Outlook / IHA \(2024\)](#)

*Inclui Usinas Hidrelétricas Reversíveis

O mundo ainda investe em hidrelétricas. China, Nigéria e Colômbia tiveram maior acréscimo de capacidade em 2023. Mesmo tendo um grande potencial hidrelétrico a ser aproveitado, o Brasil ocupou apenas o 19º lugar em expansão em 2023.

BENEFÍCIOS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS (UHES)

- Utilizam fonte renovável de energia, apresentam baixas emissões de gases de efeito estufa e têm longa vida útil.
- Apresentam flexibilidade operativa, complementariedade com outras fontes e são eficientes no atendimento à demanda.
- Com seus atributos, favorecem a diversificação da matriz e a expansão de outras renováveis.
- São capazes de armazenar energia por meio da água, regularizar as vazões e podem contribuir para os usos múltiplos da água.
- Os reservatórios de regularização podem ser importantes em eventos climáticos extremos, contribuindo para a resiliência do sistema energético e para a segurança hídrica.

Veja também: [Emissão de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios Hidrelétricos](#)

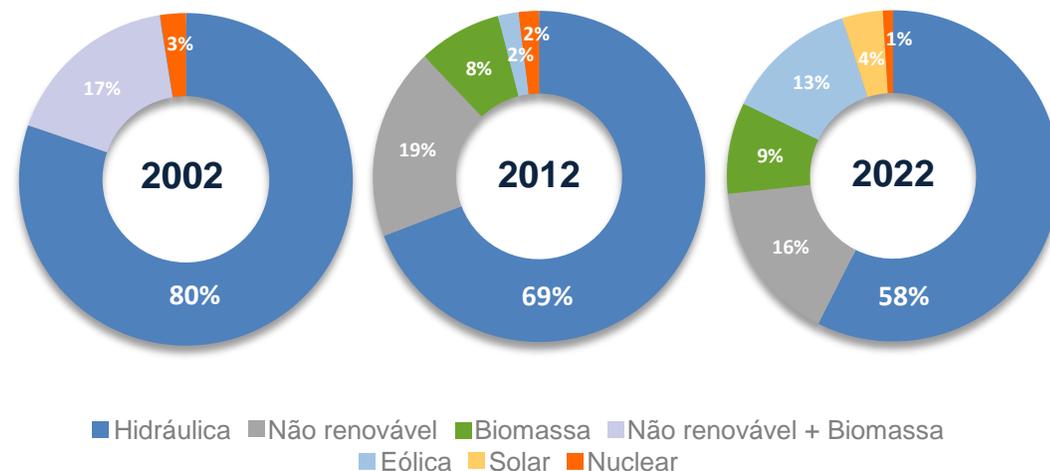


As hidrelétricas destacam-se por sua capacidade de suporte à expansão de fontes renováveis variáveis no sistema elétrico, como a eólica e a solar fotovoltaica.

AS USINAS HIDRELÉTRICAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

- A hidroeletricidade tem sido a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro por várias décadas.
- Ao longo dos últimos anos, as hidrelétricas vêm diminuindo sua participação na matriz elétrica.
- Isso ocorreu tanto pelos desafios para implantar novas usinas quanto pela expansão de outras fontes de energia.
- Sendo assim, nos últimos sete anos (entre 2017 e 2023) apenas duas usinas hidrelétricas venderam nos leilões de energia (98 MW).
- Porém, ainda há um considerável potencial hidrelétrico inventariado no Brasil, constituindo uma importante reserva energética para o país.
- Dessa forma, é importante monitorar os projetos que compõem o potencial hidrelétrico brasileiro para subsidiar o planejamento energético nacional.
- Ao mesmo tempo, é essencial estudar novas possibilidades para o aproveitamento da energia hidrelétrica.

Evolução da participação das fontes na capacidade instalada de geração elétrica



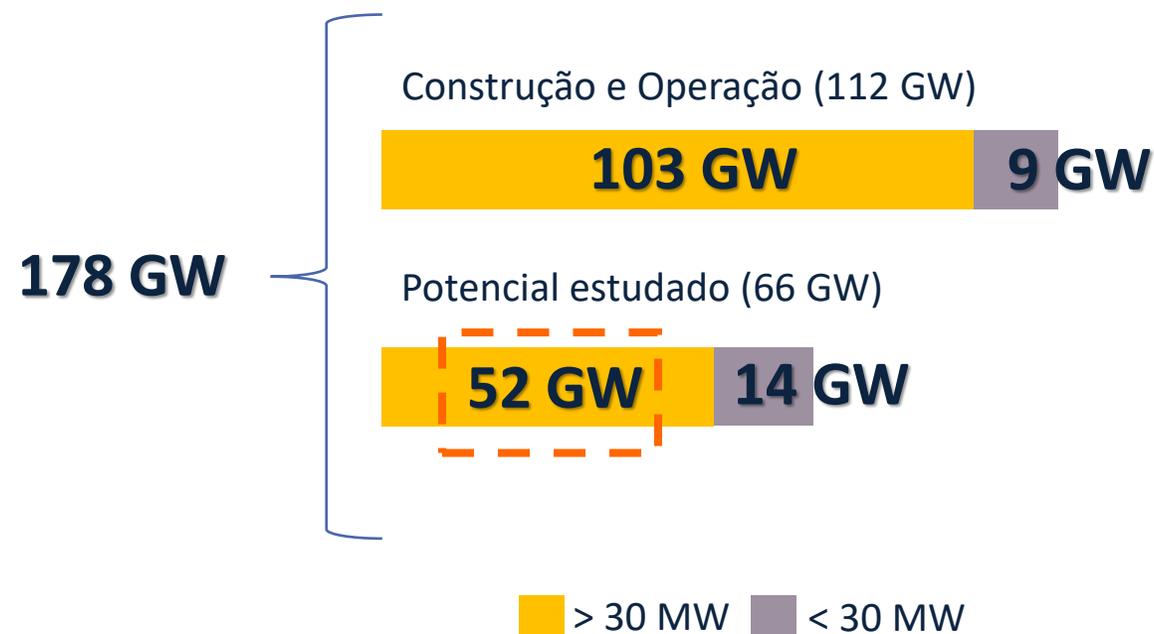
Fonte: Balanço Energético Nacional/EPE (2023)

As hidrelétricas vêm reduzindo sua participação na matriz elétrica ao longo dos últimos anos, embora ainda tenha um considerável potencial inventariado.

Potencial hidrelétrico brasileiro



Potencial hidrelétrico estudado para o longo prazo (2055)



Conforme os estudos de longo prazo, visando o Plano Nacional de Energia (PNE 2055), o potencial hidrelétrico brasileiro compreende 178 GW dos quais 52 GW são UHEs com mais de 30 MW e estão disponíveis para estudos.

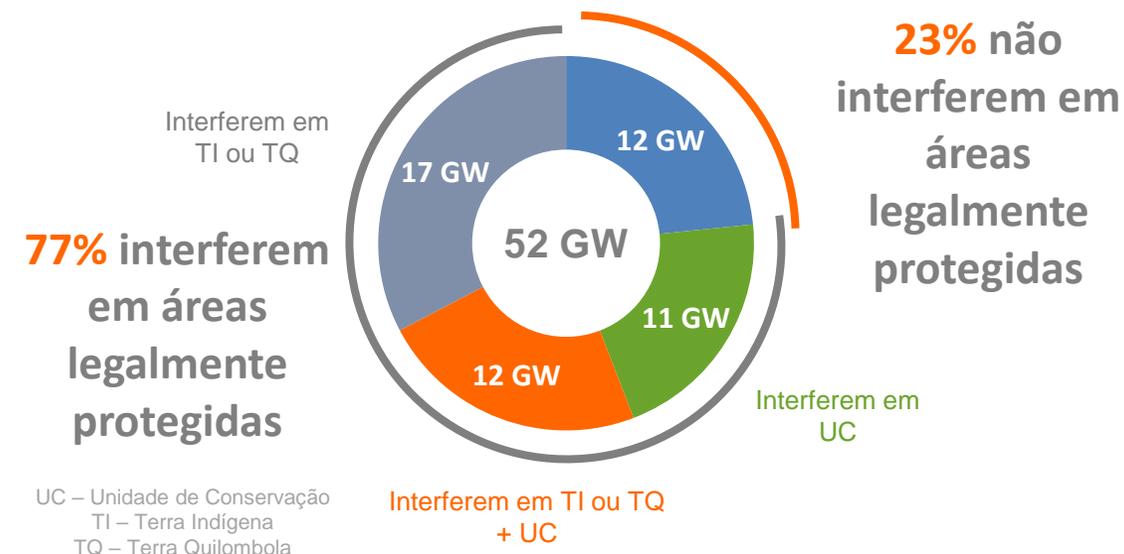
Potencial hidrelétrico brasileiro



Fonte: SIGEL/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)



62% dos 52 GW estão localizados na **região hidrográfica Amazônica**

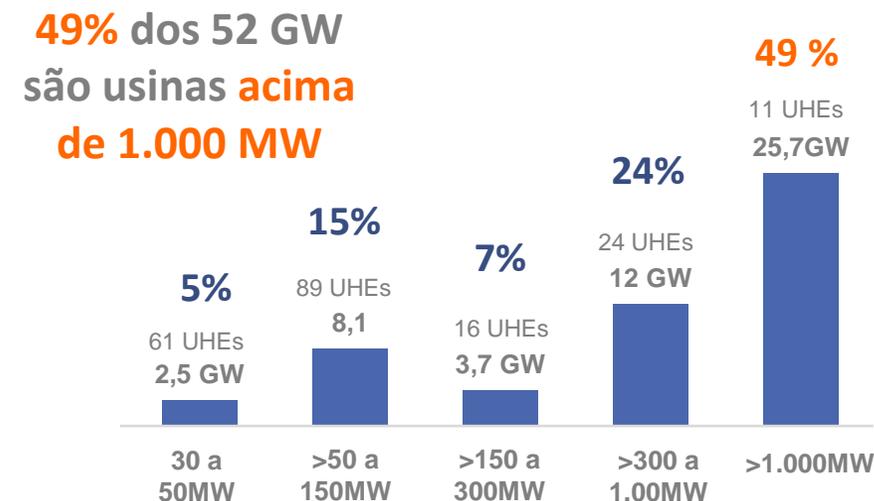
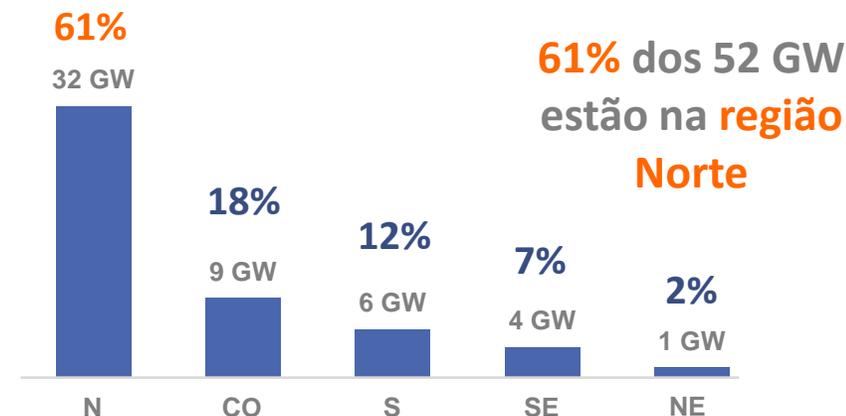


UC – Unidade de Conservação
TI – Terra Indígena
TQ – Terra Quilombola

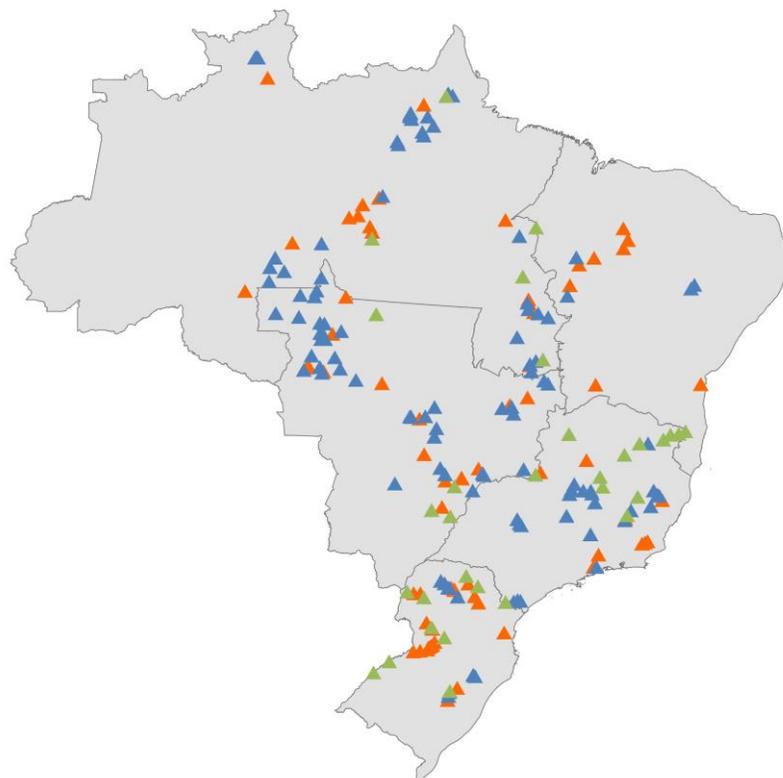
Potencial hidrelétrico brasileiro



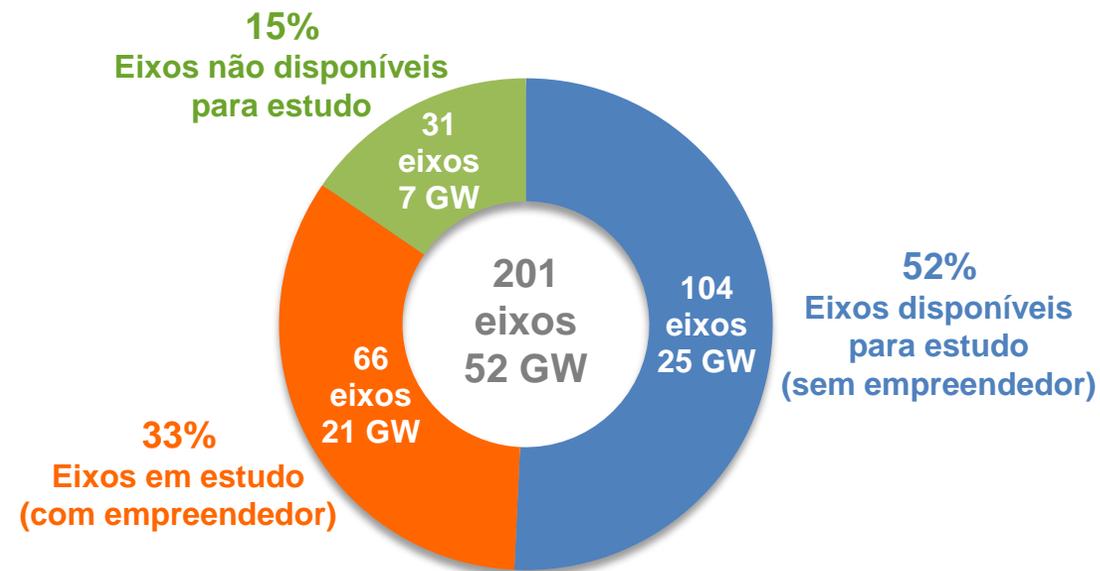
Fonte: SIGEL/Aneel e Acompanhamento UHs/EPE (maio/24)



Situação dos estudos das UHEs que compõem o potencial hidrelétrico



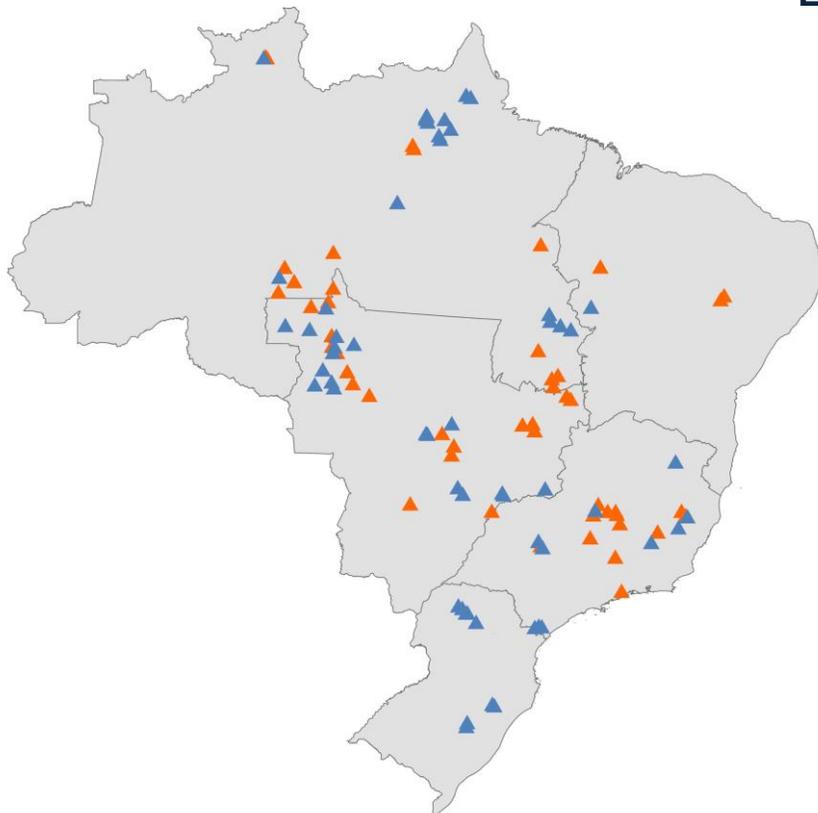
Fonte: SIGEL/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)



Fonte: SIGA/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)

Em maio de 2024, 201 eixos correspondiam aos 52 GW de UHEs com mais de 30 MW. A maior parte desses eixos encontram-se disponíveis para a elaboração de estudos.

Eixos sem empreendedor

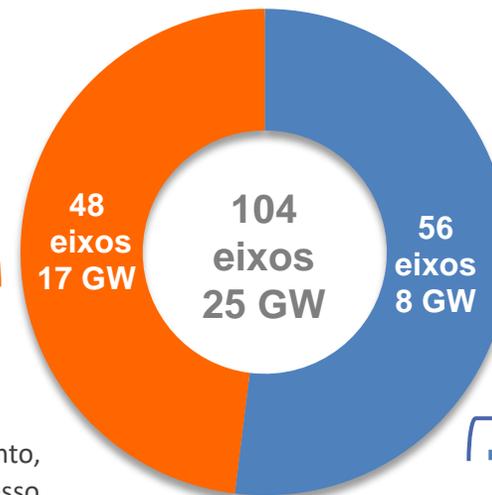


Fonte: SIGEL/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)

46% dos eixos
com desistência de
empreendedores

Motivos das desistências:

- Inviabilidade econômica
- Inviabilidade ambiental
- Dificuldades no licenciamento, incluindo judicialização do processo
- Estudos não apresentados no prazo



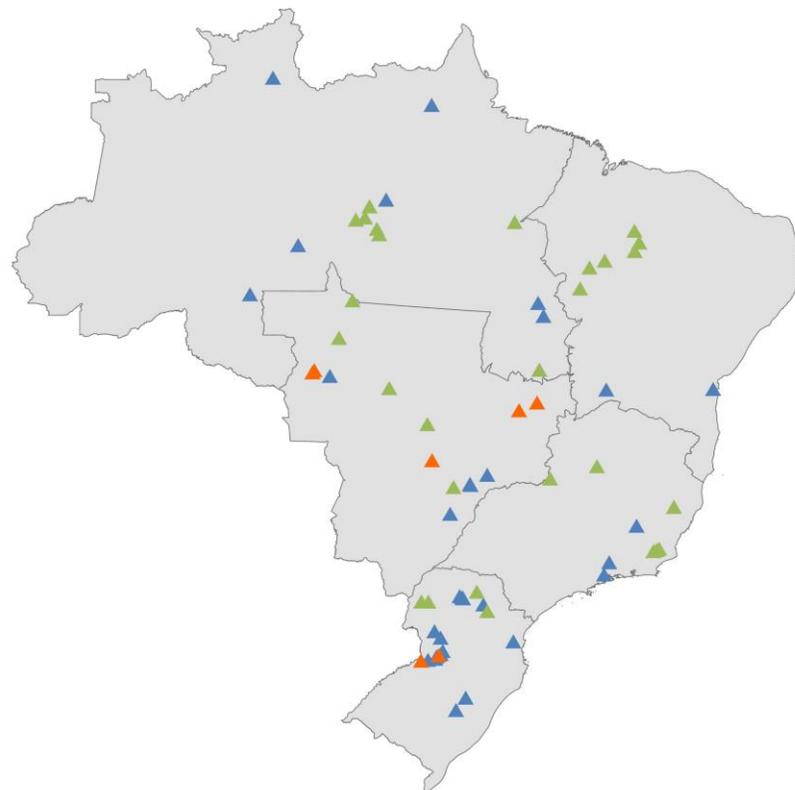
54% dos eixos
sem
empreendedores
interessados

- 63% (35 eixos) em Terra Indígena ou Unidade de Conservação

Fonte: SIGA/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)

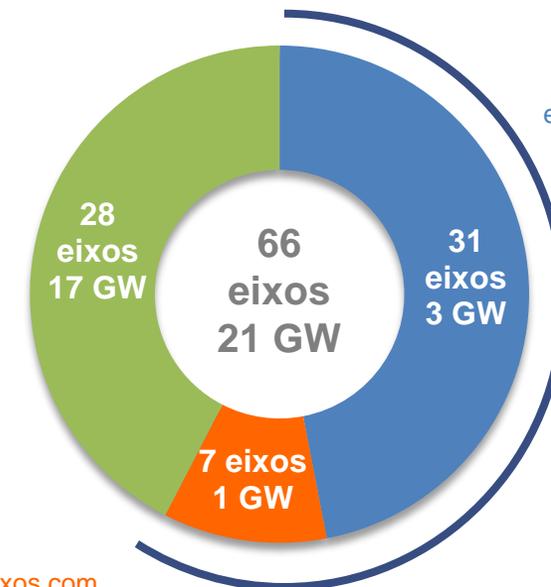
46% dos eixos atualmente disponíveis na Aneel já tiveram empreendedores que acabaram desistindo da elaboração dos estudos de viabilidade.

Eixos com empreendedor para a realização de estudos de UHEs



Fonte: SIGEL/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)

42% dos eixos com estudos parados



47% dos eixos com estudos em elaboração sem desistência anterior

58% dos eixos com estudos em elaboração

11% dos eixos com estudos em elaboração mas com desistência de empreendedores anteriores

Fonte: SIGA/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)

Enquanto 58% dos eixos com empreendedor têm estudos de viabilidade em elaboração, 42% dos eixos estão com os estudos parados.

Eixos com empreendedor para a realização de estudos de UHEs

Motivos da paralisação dos estudos:

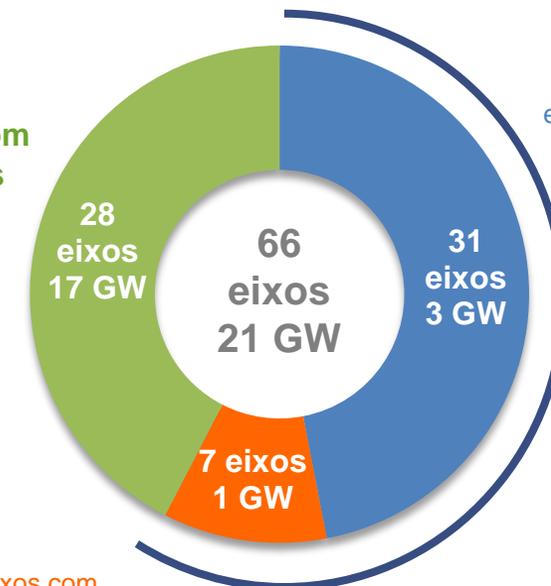
- Indeferimento da Licença Prévia
- Arquivamento do processo ambiental devido a inviabilidade ambiental
- Audiências públicas realizadas há mais de 8 anos
- Riscos relacionados ao licenciamento ambiental
- Falta de viabilidade econômica

Motivos das desistências:

- Interferência em TI ou UC
- Inviabilidade ambiental
- Indeferimento da Licença Prévia
- Resistência da população local e judicialização do processo de licenciamento ambiental

42% dos eixos com estudos parados

11% dos eixos com estudos em elaboração mas com desistência de empreendedores anteriores



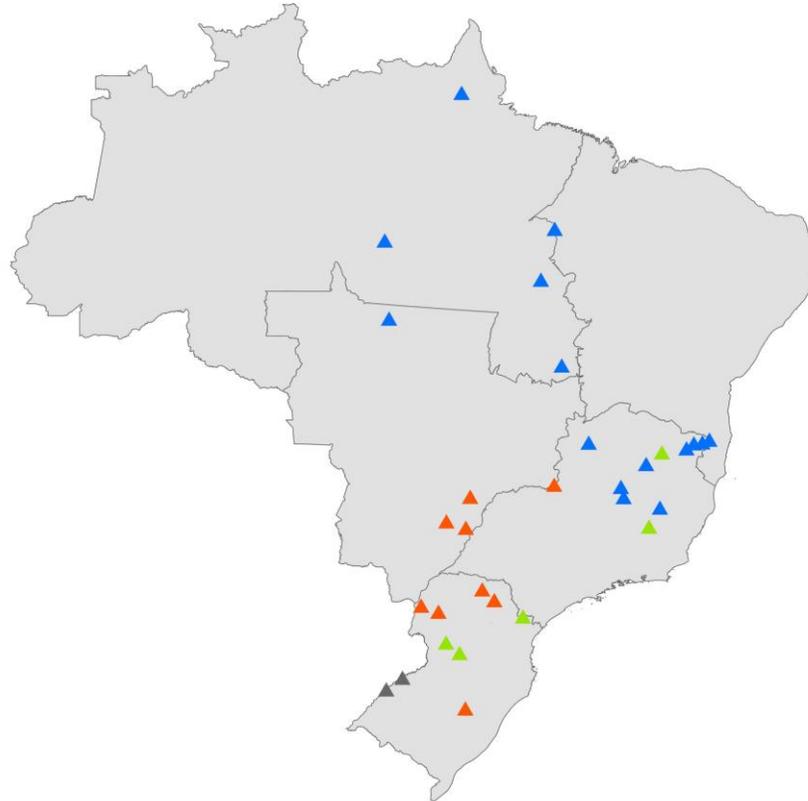
81% entre 30 e 50 MW (25 eixos)

47% dos eixos com estudos em elaboração sem desistência anterior

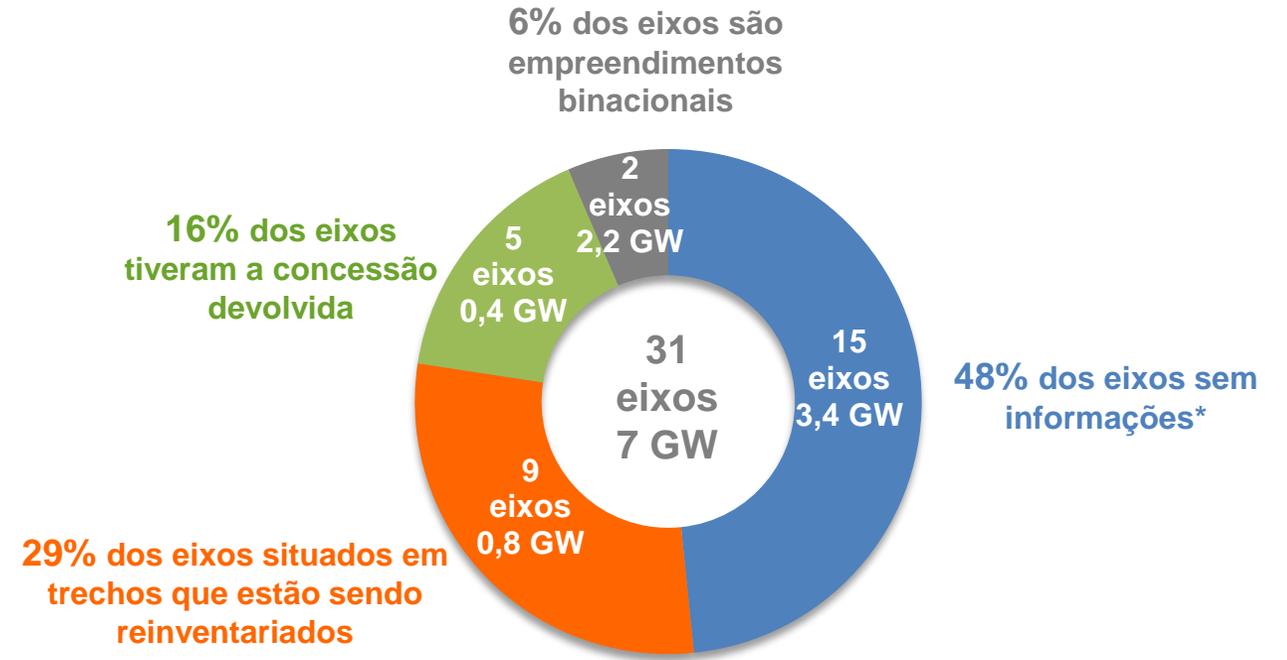
58% dos eixos com estudos em elaboração

Dentre os motivos para a paralisação dos estudos ou desistência dos empreendedores, estão: a inviabilidade ambiental do projeto, as dificuldades no licenciamento, incluindo a judicialização, e a falta de viabilidade econômica.

Eixos não disponíveis para elaboração de estudos



Fonte: SIGEL/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)



*Eixos sem identificação da razão da exclusão do SIGA/Aneel.

Fonte: SIGA/Aneel e Acompanhamento UHEs/EPE (maio/24)

Dentre os eixos não disponíveis para elaboração de estudos, 29% estão em inventário e 16% tiveram a concessão devolvida.

Desafios para a expansão hidrelétrica



A COMPLEXIDADE SOCIOAMBIENTAL E A VIABILIDADE ECONÔMICA E ASPECTOS REGULATÓRIOS

- 62% do potencial hidrelétrico estão na região hidrográfica Amazônica e 77% interferem em áreas protegidas (UC, TI e TQ).
- Apenas 33% dos eixos têm empreendedores interessados para a elaboração dos estudos.
- Desse conjunto, 42% estão com os estudos parados e 58% em elaboração. Dos que estão em andamento, a maior parte tem entre 30 e 50 MW e 11% já tiveram desistências anteriores.
- Dentre os motivos para a paralisação ou desistência, estão a interferência em áreas protegidas; a inviabilidade ambiental do projeto; a falta de viabilidade econômica; e a dificuldade no licenciamento ambiental, como a resistência da população local e a judicialização do processo.
- Alia-se a isso, os altos custos de financiamento e construção e a necessidade de adequar a remuneração dos serviços prestados à operação do sistema.

DESAFIOS

Complexidade socioambiental

Interferência em áreas protegidas

Resistência da população

Judicialização do processo de licenciamento ambiental

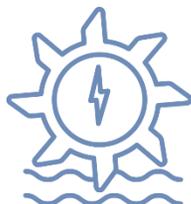
Viabilidade econômica e regulatória

Altos custos de financiamento e construção

Regulação e remuneração

Os desafios apresentados expõem a complexidade do tema, refletindo algumas questões a serem enfrentadas para a expansão hidrelétrica.

Oportunidades para as usinas hidrelétricas



OPORTUNIDADES PARA AS USINAS HIDRELÉTRICAS

- A grande participação das hidrelétricas convencionais na matriz elétrica brasileira permitiu postergar o uso de tecnologias de armazenamento.
- Porém, nos últimos anos, a redução da implantação de novas UHEs, sobretudo com capacidade de regularização, e o aumento da inserção de fontes renováveis variáveis provocaram mudanças na matriz elétrica.
- Essa transformação trouxe desafios para o Sistema Interligado Nacional (SIN), como a crescente necessidade de capacidade de armazenamento e de flexibilidade.
- Além disso, considerando que o parque hidrelétrico brasileiro é antigo, há espaço para ganhos de eficiência, energia e capacidade instalada.
- Considerando os desafios mencionados, outras oportunidades começaram a ser vislumbradas para as usinas hidrelétricas brasileiras:
 - Implantação de Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHRs)
 - Repotenciação/modernização e ampliação de UHEs existentes
 - Atribuição de novo papel das hidrelétricas na operação futura do sistema

Com a redução da participação de UHEs na matriz elétrica, outras oportunidades começaram a ser vislumbradas, tais como: usinas hidrelétricas reversíveis; repotenciação/modernização e ampliação de UHEs existentes; e alteração do papel das UHEs no sistema.

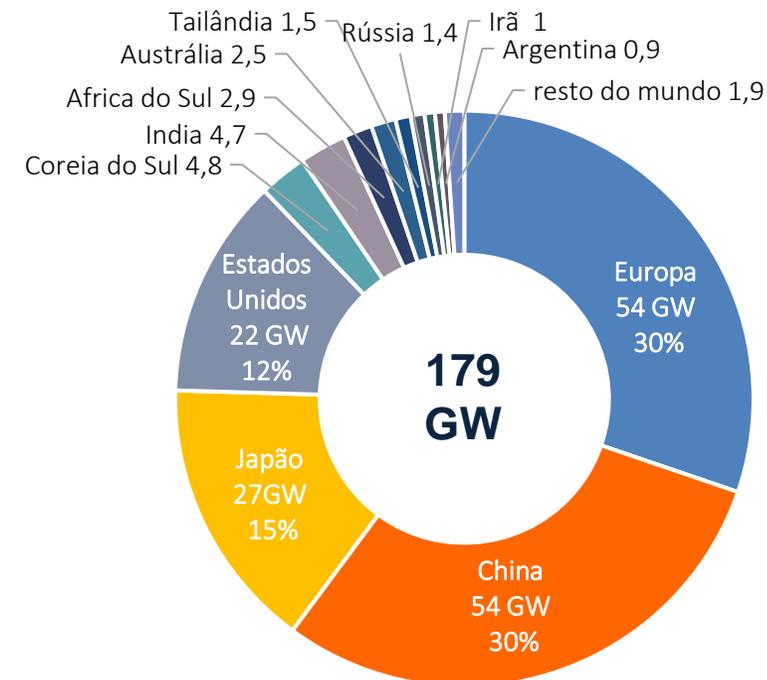
Usinas hidrelétricas reversíveis

Um olhar para as usinas hidrelétricas reversíveis...

CONTEXTO DAS USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHRs)

- As usinas hidrelétricas reversíveis representam 13% da capacidade hidrelétrica instalada no mundo.
- São consideradas uma tecnologia de armazenamento madura, econômica e eficiente para o uso em escala sistêmica.
- No Brasil, foram instaladas quatro usinas hidrelétricas reversíveis nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, entre 1940 e 1950.
- Dessas UHRs, uma foi desativada e as demais não operam como usinas reversíveis, devido a restrições operativas.
- As hidrelétricas reversíveis têm o potencial para prover diversos serviços ao sistema elétrico.
- Por outro lado, observa-se que a implantação dessas usinas ainda conta com desafios regulatórios, econômicos, técnicos e socioambientais.

Capacidade instalada de usinas hidrelétricas reversíveis no mundo em 2023



Fonte: [2024 World Hydropower Outlook](#) / IHA (2024)

As hidrelétricas reversíveis são uma tecnologia com uma série de atributos interessantes para o sistema. No entanto, a inserção de UHR na matriz elétrica brasileira conta com desafios regulatórios, econômicos, técnicos e socioambientais.

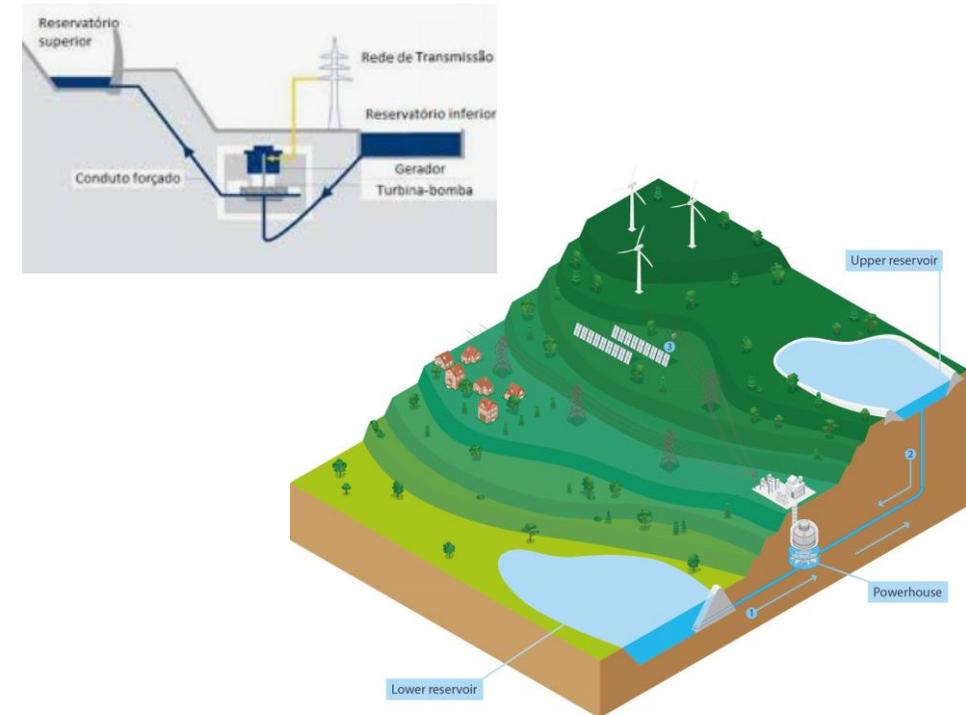
Um olhar para as usinas hidrelétricas reversíveis...

ATRIBUTOS POTENCIAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS

- Respondem pelo atendimento aos horários de ponta no Sistema Interligado Nacional (SIN).
- Possuem alta flexibilidade para dar suporte à expansão das fontes renováveis.
- Garantem confiabilidade, estabilidade e segurança energética ao suprimento de energia e potência.
- Prestam serviços de controle de frequência primária e secundária ao sistema, dentre outros serviços ancilares.

Veja também: [Serviços Ancilares sob a ótica de Planejamento da Expansão](#)

Veja também: [Usinas Hidrelétricas Reversíveis \(UHR\): Desafios para inserção em mercados de energia elétrica](#)



Fonte: [Pumped Hydro/ IHA](#) (2024)

As hidrelétricas reversíveis podem ser uma alternativa atrativa para suprir as crescentes necessidades de capacidade de armazenamento e de flexibilidade do Sistema Interligado Nacional.

DESAFIOS

Regulatórios

Remuneração por atributos

Criação de mercado competitivo para serviços ancilares

Definição da outorga das UHRs: concessão ou autorização

Econômicos

Elevado investimento

Alocação adequada dos riscos

Definição do modelo de negócio

Técnicos

Levantamento de potencial

Grande variação nas características dos projetos

Capacitação técnica de agentes envolvidos

Socioambientais

Compatibilização com outros usos da água

Incertezas quanto ao processo de licenciamento ambiental



Uma UHR pode ser solução de mais fácil implementação quando comparada a uma UHE convencional, pois, em princípio, possui maior alternativa locacional, evitando assim áreas ambientalmente sensíveis.

**Repotenciação/
modernização e
ampliação das
usinas
hidrelétricas
existentes**

CONTEXTO DA REPOTENCIAÇÃO/MODERNIZAÇÃO E AMPLIAÇÃO DE UHE EXISTENTES

- Ao longo do tempo os desgastes do maquinário hidrelétrico se acumulam e afetam a performance de geração reduzindo eficiência e interferindo no suprimento energético.
- Essa tendência pode ser revertida por meio de ações de repotenciação/modernização e ampliação de usinas existentes.
- A repotenciação /modernização parte de intervenções no maquinário das usinas visando aumento de potência instalada, aumento na eficiência, dentre outras melhorias.
- A ampliação pode ser feita a partir da adição de novas máquinas ou com a construção de uma nova casa de força.
- O parque hidrelétrico brasileiro está envelhecido e a maior parte das UHEs existentes possui mais de 25 anos de construção.
- Atualmente, são observados desafios importantes relacionados à gestão do parque hidrelétrico e poucos investimentos para viabilizar o incremento de capacidade e a melhoria do rendimento das usinas existentes.

O parque gerador envelhecido leva à seguinte situação:

- Menor eficiência produtiva;
- Desperdício dos recursos hídricos;
- Aumento dos tempos de indisponibilidade de geração da usina;
- Incapacidade de atendimento à potência original;
- Aumento de custos operativos do SIN.



Repotenciação/modernização e ampliação das UHE existentes

BENEFÍCIOS DA REPOTENCIAÇÃO/MODERNIZAÇÃO E AMPLIAÇÃO DE UHE EXISTENTES

- A gestão e a manutenção do parque hidrelétrico prolongam a vida útil dos ativos, tornam a conversão energética mais eficiente, incorporam os avanços tecnológicos e aproveitam as oportunidades econômicas existentes.
- A repotenciação traz ganhos de rendimento, capacidade instalada, faixa operativa, vida útil e disponibilidade, gerando benefícios para usina e para o SIN. A modernização é fundamental para garantir a extensão da vida útil das usinas.
- A ampliação da capacidade é favorável às crescentes necessidades de potência e flexibilidade do SIN, sob a perspectiva de aumento da participação das fontes renováveis variáveis.
- Tanto a repotenciação quanto a ampliação constituem oportunidades para alavancar os benefícios das usinas hidrelétricas que operam no sistema, conforme destacado nos últimos Planos Decenais de Energia e na Nota Técnica Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas.



Fonte: EPE

DESAFIOS



Regulatórios

- Remuneração por serviços (ex: potência e flexibilidade)
- Renovação das concessões e obrigação de investimentos
- Revisão do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE)

Econômicos

- Alocação adequada dos riscos
- Definição do modelo de negócio
- Remuneração de investimentos: ampliação x melhoria
- Fator de ajuste da garantia física (GFS): Investimentos individuais x Benefícios coletivos



Técnicos

- Levantamento de potencial individualizado por usina
- Grande variação nas características dos projetos
- Capacitação técnica de agentes envolvidos



Socioambientais

- Compatibilização com outros usos da água
- Adequação da Outorga de Recursos Hídricos



A modernização das usinas hidrelétricas existentes é fundamental para garantir a extensão da vida útil desses ativos, cabendo ao setor elétrico promover adaptações na regulamentação, procedimentos e desenhos de mercado para viabilizar o incremento de capacidade e melhoria no rendimento dessas usinas, requalificando o parque hidrelétrico nacional e direcionando a indústria associada.

Papel das hidrelétricas na operação do SIN



Papel das hidrelétricas na operação futura do sistema

E se houvesse uma nova estratégia de operação das UHE com reservatório para aumentar a disponibilidade de potência?



Ao propor discussões sobre o papel das hidrelétricas no SIN, o planejamento visa adequar o parque gerador as novas necessidades sistêmicas. Para isso, a revisão dos mecanismos de remuneração é passo essencial e o setor precisa iniciar essas discussões.



www.epe.gov.br

Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor

Thiago Ivanoski Teixeira

Coordenação Técnica

Elisângela Medeiros de Almeida

Superintendência de Meio Ambiente

Equipe Técnica

Ana Dantas Mendez de Mattos

Bernardo Regis Guimarães de Oliveira

Cristiane Moutinho Coelho

Gustavo Fernando Schmidt

Hermani de Moraes Vieira

Superintendência de Geração

Equipe Técnica

Caio Leocadio

Patrícia Asfor Parente

Ronaldo Souza



EPE - Empresa de Pesquisa Energética

Praça Pio X, n. 54

20091-040

Centro - Rio de Janeiro

