

ROADMAP

Usinas Hidrelétricas

Reversíveis (UHR)

Perspectivas e caminhos para a inserção das usinas reversíveis no Brasil

Rio de Janeiro, RJ - Janeiro de 2025

Caderno de Estudos CD-EPE-DEE-SGR-006-2025

Superintendência de Geração de Energia Elétrica

Diretoria de Energia Elétrica | DEE | EPE



Sobre a EPE - Empresa de Pesquisa Energética



Empresa pública federal vinculada ao Ministério de Minas e Energia



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

Valor Público



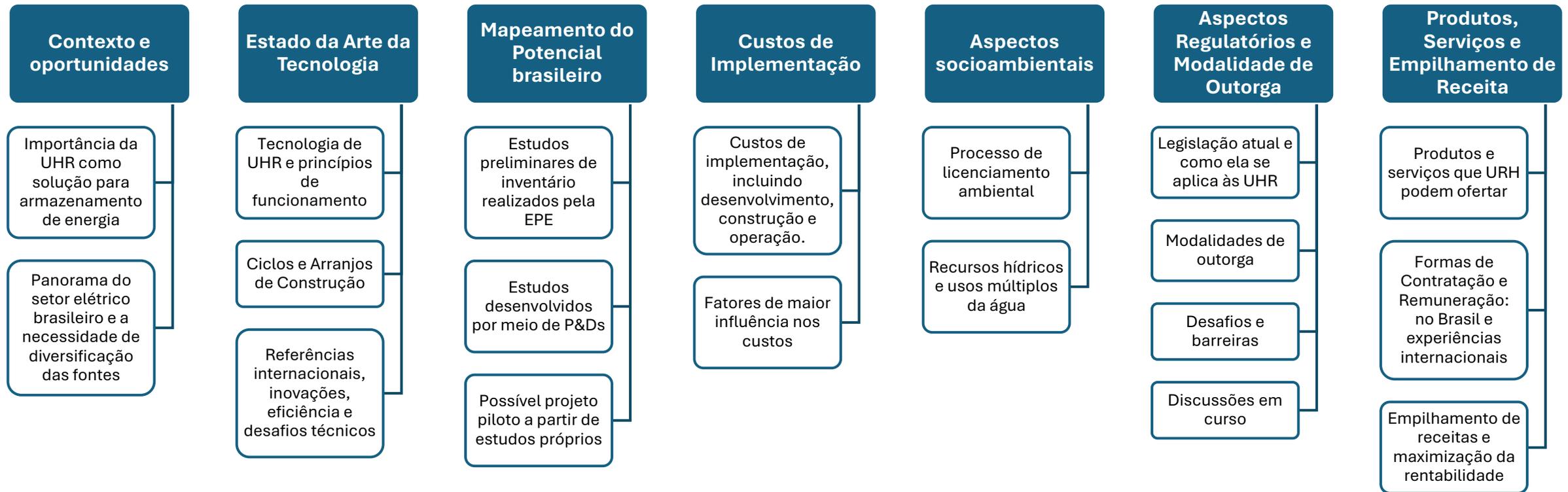
A EPE REALIZA ANÁLISES PARA AVALIAR A ENTRADA DE USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHR) EM SEUS PLANOS DECENAIS DE EXPANSÃO (PDE).

COM ESTE CADERNO, A EPE TRAZ TRANSPARÊNCIA E REDUZ A ASSIMETRIA DE INFORMAÇÕES SOBRE O POTENCIAL, OPORTUNIDADES E DESAFIOS À IMPLEMENTAÇÃO DE UHR NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.

AS UHR POSSUEM ATRIBUTOS IMPORTANTES PARA O SISTEMA, COM DESTAQUE PARA SUA CAPACIDADE DE FORNECER POTÊNCIA E FLEXIBILIDADE PARA ATENDER OS REQUISITOS SISTÊMICOS. NO ENTANTO, OS DESAFIOS APRESENTADOS EXPÕEM A COMPLEXIDADE DO TEMA, REFLETINDO ALGUMAS QUESTÕES A SEREM ENFRENTADAS PARA A EXPANSÃO DESTA FONTE.

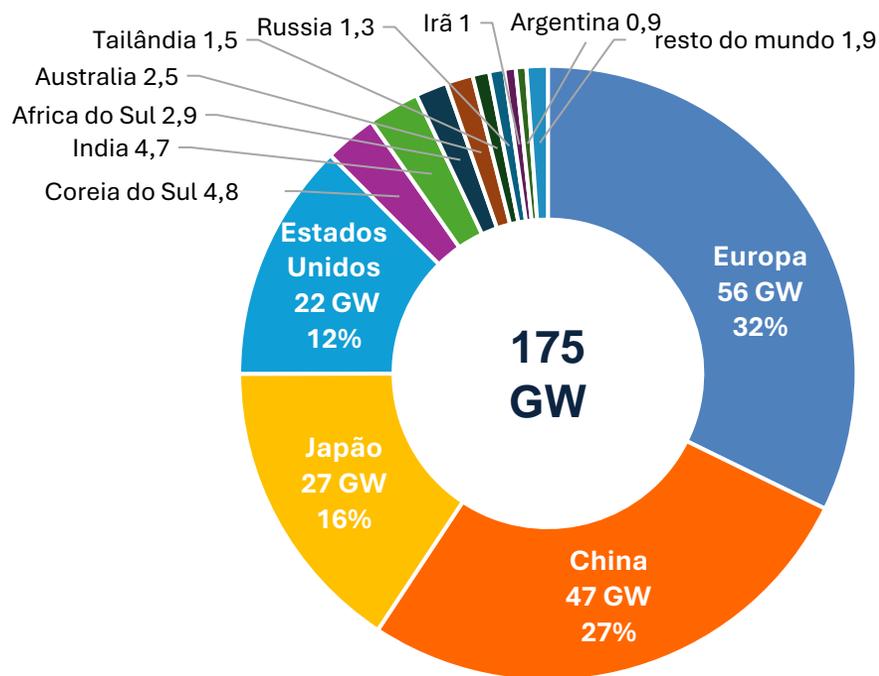
Mapeando as rotas para inserção das UHR na matriz brasileira

O objetivo é apresentar um panorama para a **inserção da tecnologia de usinas reversíveis no Brasil**, cobrindo **aspectos regulatórios, técnicos, econômicos e socioambientais**, oferecendo assim uma base sólida para a formulação de políticas, investimentos e estratégias de desenvolvimento.



CONTEXTO E OPORTUNIDADES

Capacidade instalada de usinas hidrelétricas reversíveis no mundo em 2022



Fonte: [2023 World Hydropower Outlook](#) / IHA (2023)

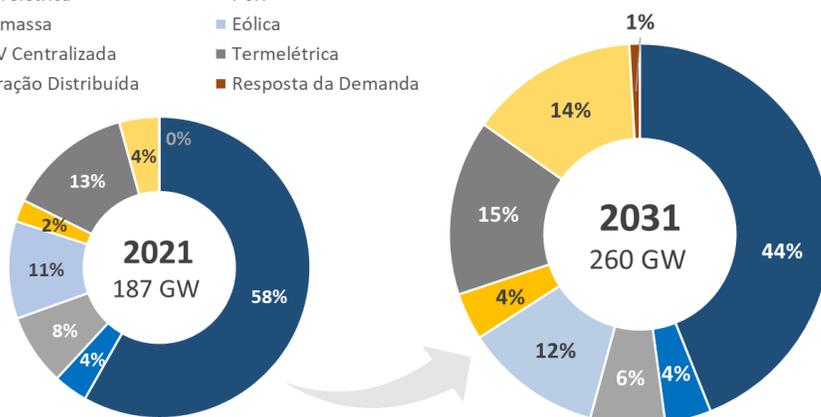
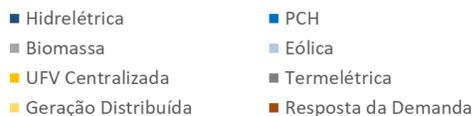
- Apesar do Brasil ser referência mundial em geração hidrelétrica, sendo o segundo país com maior capacidade instalada, o país não possui participação em hídricas reversíveis.
- A China é o país com maior capacidade instalada tanto hídrica convencional quanto reversível, sendo que essa última corresponde a 11% da potência hídrica chinesa.
- O Japão é o segundo país com maior potência hídrica reversível no mundo e 55% da sua capacidade instalada hídrica é dessa fonte.

Atualmente, o Brasil possui 109,8 GW de capacidade instalada originária de fonte hídrica, mas sem participação de hídricas reversíveis

Contexto da matriz elétrica brasileira

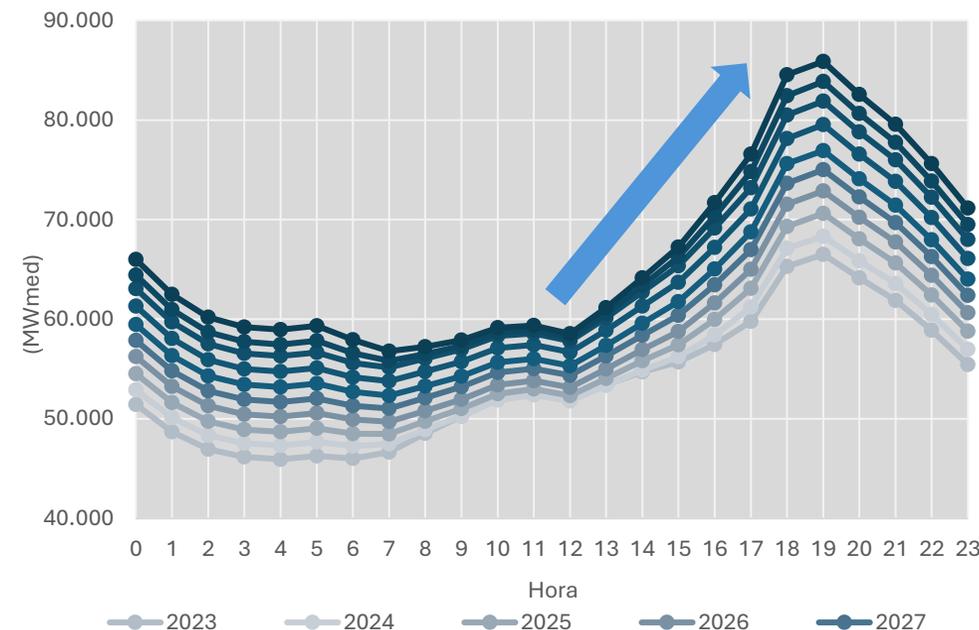
- ✓ Demanda crescente
- ✓ Maior participação de renováveis não controláveis
- ✓ Desafios para expandir novas usinas hidrelétricas convencionais (UHE)
- ✓ Estagnação da capacidade de armazenamento
- ✓ Ausência de projetos de UHR disponíveis

PDE 2031 | Configuração do Cenário de Referência



Fonte: PDE 2031, EPE.

Evolução da carga líquida horária média do SIN

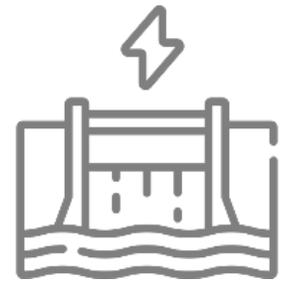


Novos requisitos sistêmicos

Capacidade e Flexibilidade

Contexto das usinas hidrelétricas reversíveis no Brasil

- Historicamente a **matriz elétrica brasileira tem tido grande participação de hidrelétricas convencionais (UHEs)**. Isso permitiu a postergação do uso de tecnologias de armazenamento como as UHR.
- Nos últimos anos, não houve tendência de implantação de novas UHEs, sobretudo aquelas com capacidade de regularização. Somado a isso, houve o **aumento da inserção de fontes renováveis variáveis**, provocando mudanças na matriz elétrica brasileira.
- Essa transformação trouxe novos desafios para o Sistema Interligado Nacional (SIN), como a **crescente necessidade de capacidade de armazenamento e de flexibilidade operativa**.



HIDRELÉTRICA
REVERSÍVEL

A inserção de UHR na matriz elétrica brasileira pode auxiliar na solução desses desafios, no entanto, conta com desafios regulatórios, econômicos, técnicos e socioambientais para sua implementação.

Contexto das usinas hidrelétricas reversíveis no Brasil

USINAS	
NOMES	INAGURAÇÃO
Pedreira	1939
Traição	1940
Vigário	1952
Edgar de Souza	1955

Estudos de pré-inventário

- CESP/IPT desenvolve estudos pioneiros de pré-inventário de UHR para a Serra Geral e da Mantiqueira



Notas técnicas EPE

- Estudo de pré-inventário para o Rio de Janeiro
- Desafios para inserção em mercados de energia elétrica
- Ferramentas GeoUHR I e II

Avanços regulatórios

- Consulta pública Aneel 039/2023 - AIR

Década de 40 - 50

Final da década de 70 e início de 80

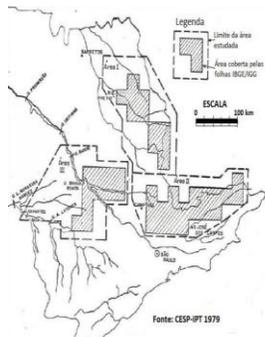
2019 - 2021

2020 - 2022

2023

Primeiras UHR

- 4 (quatro) UHR instaladas em São Paulo e Rio de Janeiro. Essas usinas foram desativadas ou não encontram-se operantes como reversíveis



Estudos preliminares

- Eletrobrás realiza estudos preliminares para a região Sudeste (sem avaliação socioambiental)



Desenvolvimento de estudos de P&D

- Tecnologias de armazenamento
- Barreiras regulatórias e aprimoramentos
- Desenvolvimento de ferramentas para locais potencial

Principais atributos das UHR

A **Nota Técnica EPE/DEE/SEG/013/2021** elenca alguns dos principais atributos das UHR:

- Capacidade de **responder pelo atendimento aos horários de ponta** no SIN.
- **Alta flexibilidade para dar suporte à expansão das fontes renováveis.**
- Capacidade de garantir **confiabilidade, estabilidade e segurança energética ao suprimento de energia e potência.**
- Prestar serviços de controle de frequência primária e secundária ao sistema, dentre outros **serviços ancilares.**

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

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



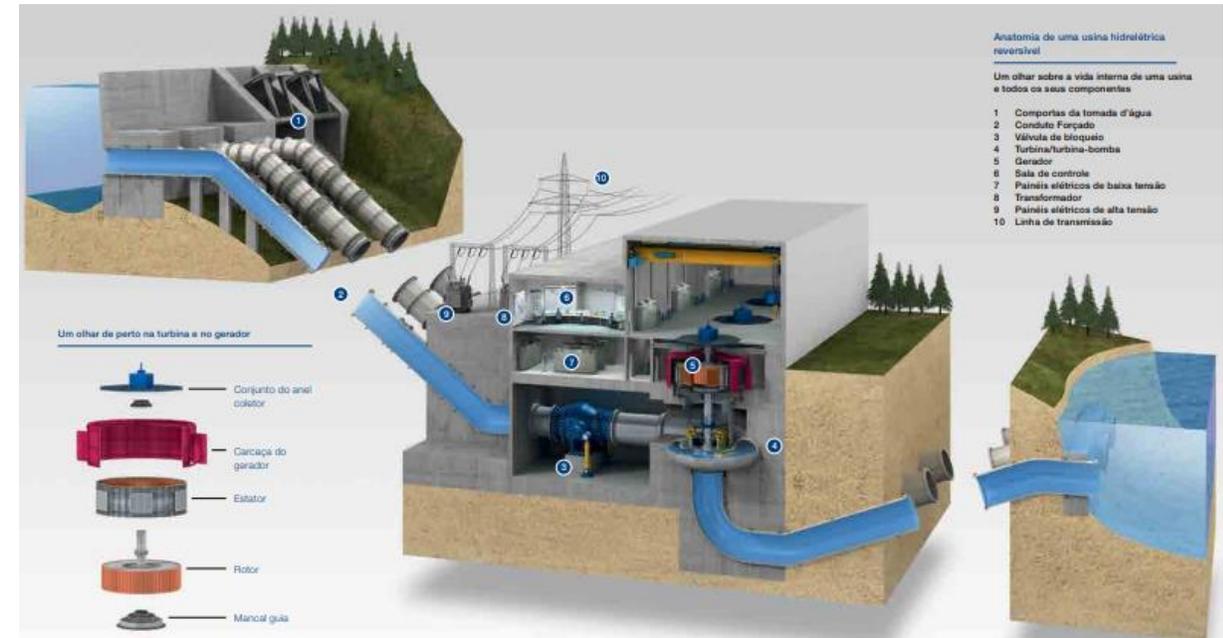
As UHR podem ser uma alternativa atrativa para suprir as crescentes necessidades de capacidade de armazenamento e de flexibilidade do sistema elétrico brasileiro

**ESTADO DA
ARTE DA
TECNOLOGIA**



Conceitos e arranjos típicos

- As UHR operam turbinando ou bombeando água entre dois reservatórios situados em diferentes alturas, sendo seu balanço de energia quase que sempre negativo.
- As UHR possuem 3 arranjos típicos de construção e operação: ciclo aberto, fechado e semiaberto.
 - ❖ **Ciclo fechado:** envolve a construção de dois reservatórios artificiais com uma conexão de água fechada entre eles. Menor impacto socioambiental e menos dependente dos cursos dos rios.
 - ❖ **Ciclo aberto:** os reservatórios estão conectados a corpos d'água naturais, como rios ou lagos. Requer uma gestão mais cuidadosa do recurso hídrico e pode ter impactos ambientais mais significativos.
 - ❖ **Ciclo semiaberto:** Combina elementos dos ciclos fechado e aberto. Um reservatório pode ser fechado, enquanto o outro está conectado a um corpo de água natural. Esse arranjo tenta equilibrar os impactos ambientais com a facilidade de acesso à água.



Fonte: VOITH, 2014

Na maior parte do tempo, as UHR têm um consumo de energia maior que a geração, caracterizando-se como uma carga, possuindo rendimento médio de ciclo em torno de 75%

Princípios e desafios da operação

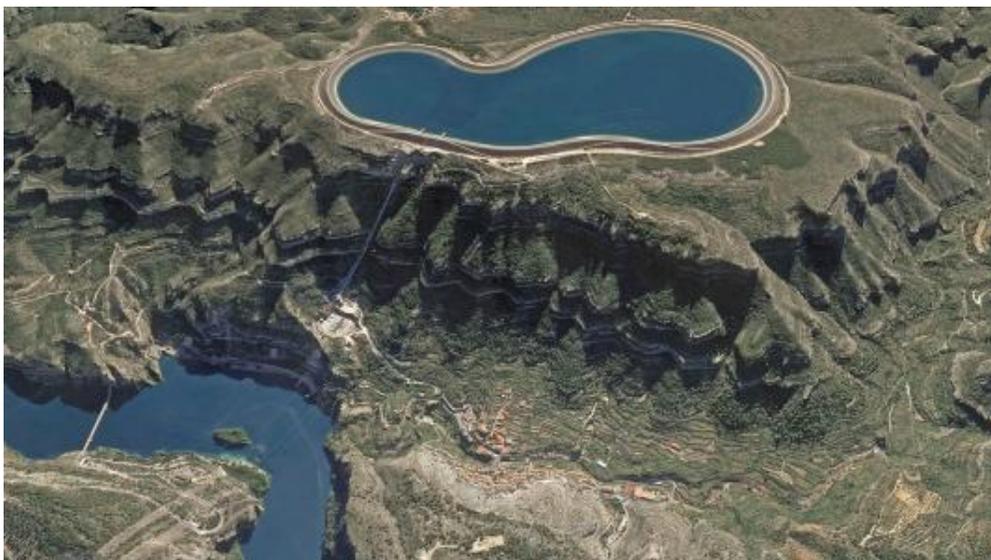
- Por serem capaz de tanto consumir quanto gerar energia, as UHR podem trazer novos desafios para a operação do sistema elétrico.
- As usinas de ciclo aberto e semiaberto podem eventualmente afetar a operação da cascata, impactando nas demais usinas a jusante, caso existam. Em períodos secos, estando o reservatório cheio este pode regularizar o rio, ao passo que estando vazio e sendo necessário o seu enchimento, poderia provocar redução na geração das usinas a jusante.
- Por outro lado, as UHR de ciclo fechado possuem uma operação mais simplificada por praticamente não interferir na operação de outras usinas que estejam a jusante em uma cascata.
- As usinas de ciclo fechado possuem princípio semelhante ao carregamento e descarregamento das baterias de armazenamento de energia.



Fonte: VOITH, 2014

Ainda cabe definir como seria a operação de usinas de ciclo semiaberto e fechado. Como o operador irá estabelecer o melhor instante para realizar o bombeamento, assim como estabelecer as horas do momento de descarregamento.

A construção de usinas reversíveis envolve diversos **aspectos técnicos e logísticos**, que vão desde a escolha do local até a seleção dos equipamentos mais adequados. O processo de construção é complexo e requer planejamento detalhado para minimizar impactos socioambientais e maximizar a eficiência operacional.



Fonte: Shutterstock/burakyalcin, 2024

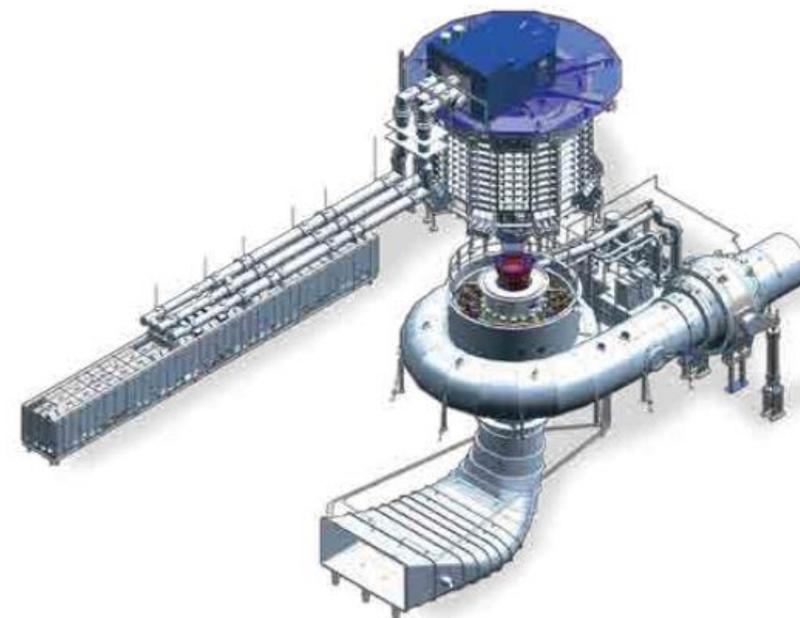
- **Localização:** A seleção do local é um dos aspectos mais críticos, pois influencia diretamente a eficiência e o custo do projeto. UHR exigem uma diferença de altitude entre dois reservatórios, portanto, locais montanhosos ou áreas com variação natural de elevação são ideais. A proximidade com fontes de água e a facilidade de conexão com a rede elétrica também são considerações importantes. Além disso, deve-se buscar locais de forma a minimizar as interferências socioambientais.
- **Construção dos Reservatórios:** Os reservatórios são construídos usando tecnologias de engenharia civil avançadas, garantindo a segurança. Em usinas de ciclo fechado, esses reservatórios são completamente artificiais e fechados, o que minimiza o impacto sobre ecossistemas aquáticos.
- **Circuitos Hidráulicos:** Túneis e condutos são construídos para conectar os reservatórios e permitir o fluxo de água para as turbinas durante a geração de energia e o bombeamento reverso. A construção desses componentes requer precisão e tecnologia especializada para garantir eficiência e segurança.
- **Casa de Força:** Inclui as turbinas, geradores e equipamentos de controle. A estação é projetada para maximizar a eficiência da conversão de energia e garantir operações seguras.

Os avanços tecnológicos em turbinas e sistemas de bombeamento permitiram aumentar a eficiência e a flexibilidade operacional das usinas reversíveis. As turbinas bomba de velocidade variável, que podem operar tanto no modo de geração quanto no modo de bombeamento, são um exemplo dessas inovações.

- Tecnologia mais moderna com máquinas de indução de alimentação dupla voltada para geradores maiores. Com isso, são turbinas muito velozes.
- Capacidade de bombeamento variável, garantindo **maior flexibilidade operacional e maior eficiência à usina no modo geração**, contribuindo para a **redução de consumo de energia na etapa de bombeamento**.

Essa tecnologia oferece duas vantagens:

- A usina **responde de forma mais rápida e flexível à demanda tanto ativa quanto reativa** da rede de energia elétrica.
- A usina **oferece maior estabilidade no caso de uma queda de tensão**, pois reduz a probabilidade de falha de energia e permite uma rápida reinicialização, caso haja uma queda de energia.
- A implementação de sistemas de controle avançados e soluções de inteligência artificial permitem uma operação mais eficiente e adaptável, otimizando a gestão do armazenamento e da geração de energia.



Velocidade variável para maior flexibilidade: modelo 3-D da máquina de Frades II.

Fonte: VOITH, 2014

**MAPEAMENTO
DE POTENCIAIS
PROJETOS DE
UHR**

Importância dos Estudos de Inventário

- A **identificação de locais favoráveis** para a implementação de usinas hidrelétricas reversíveis é uma **etapa crucial** no processo de **planejamento e desenvolvimento** desses empreendimentos. Os estudos de inventário desempenham um papel fundamental nesta fase, fornecendo uma análise abrangente das potencialidades hidrelétricas de uma região, considerando aspectos geográficos, ambientais, técnicos e econômicos.

- Os **estudos de inventário** ajudam a:

- **Mapear Potenciais Locais:** Identificar regiões com características geográficas adequadas, como diferenças de altitude entre pontos potenciais para os reservatórios superior e inferior.
- **Avaliar Impactos Ambientais e Sociais:** Analisar preliminarmente os possíveis impactos sobre o meio ambiente e comunidades locais, permitindo a escolha de locais com menores implicações negativas e evitando áreas ambientalmente sensíveis.
- **Estimar Viabilidade Técnica e Econômica:** Fornecer uma primeira estimativa da capacidade de geração, custos de construção e operação, e potencial retorno sobre o investimento.
- **Orientar a Tomada de Decisão:** Informar decisores sobre a viabilidade e priorização de projetos de usinas reversíveis, contribuindo para a alocação eficiente de recursos.



Levantamento de Potencial no estado do Rio de Janeiro



NT EPE-DEE-NT-006/2019-r0

- Estudo apresentou resultados para um **estudo de pré-inventário** realizado para o **estado do Rio de Janeiro**, considerando projetos de ciclo semiaberto.
- Desenvolvimento da **ferramenta GeoUHR** em ambiente ArcGIS.
- Através dessa ferramenta, foi possível pré-dimensionar uma **seleção de usinas para desenvolvimento de futuros estudos de viabilidade**.

Ferramenta GeoUHR

- Desenvolvida baseada no mapeamento georreferenciado de locais potenciais para implantação de UHR.
- A **GeoUHR** gera uma planilha com a relação de todos os locais potenciais, nomeados (ID), georreferenciados e com as seguintes informações: desnível (H) e distância entre reservatórios (L), a relação L/H, área disponível para implantação do reservatório superior e outras informações.

Seleção de Locais

- Utilizada primeiramente para pré-dimensionamento de projetos em circuito semiaberto no estado do Rio de Janeiro.
- Análise socioambiental: Exclusão dos aproveitamentos dentro das áreas legalmente protegidas (Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Territórios Quilombolas).

Resultados:

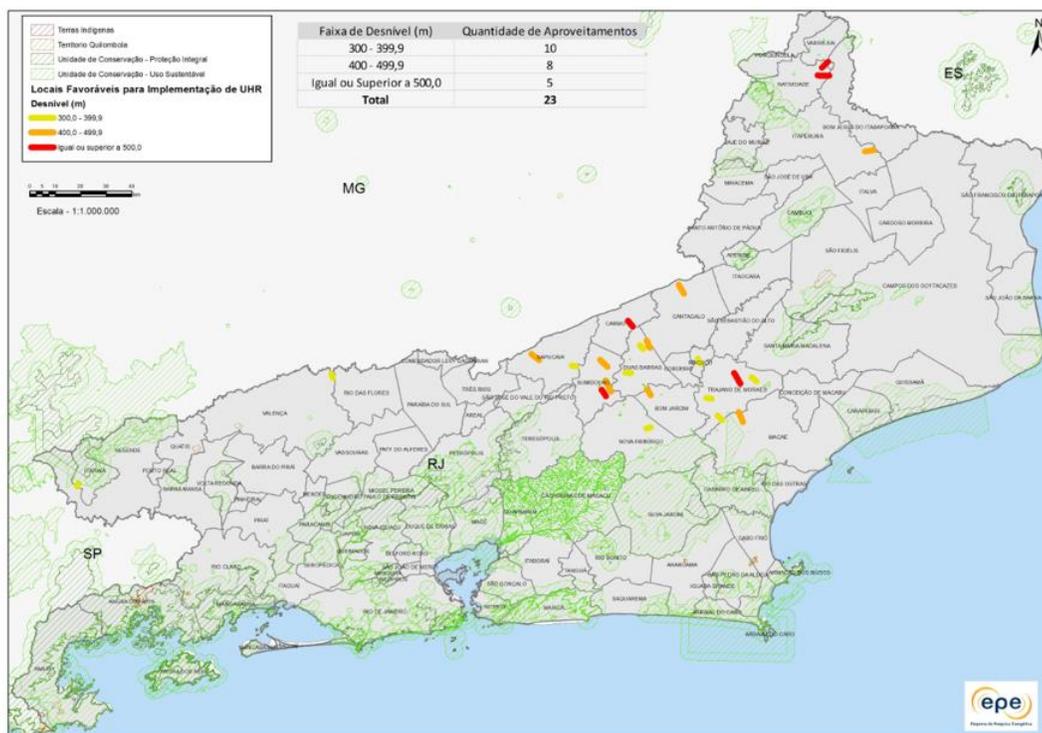
23 UHR inicialmente
 $H > 300 m$
 $L/H \leq 10$

Análise socioambiental

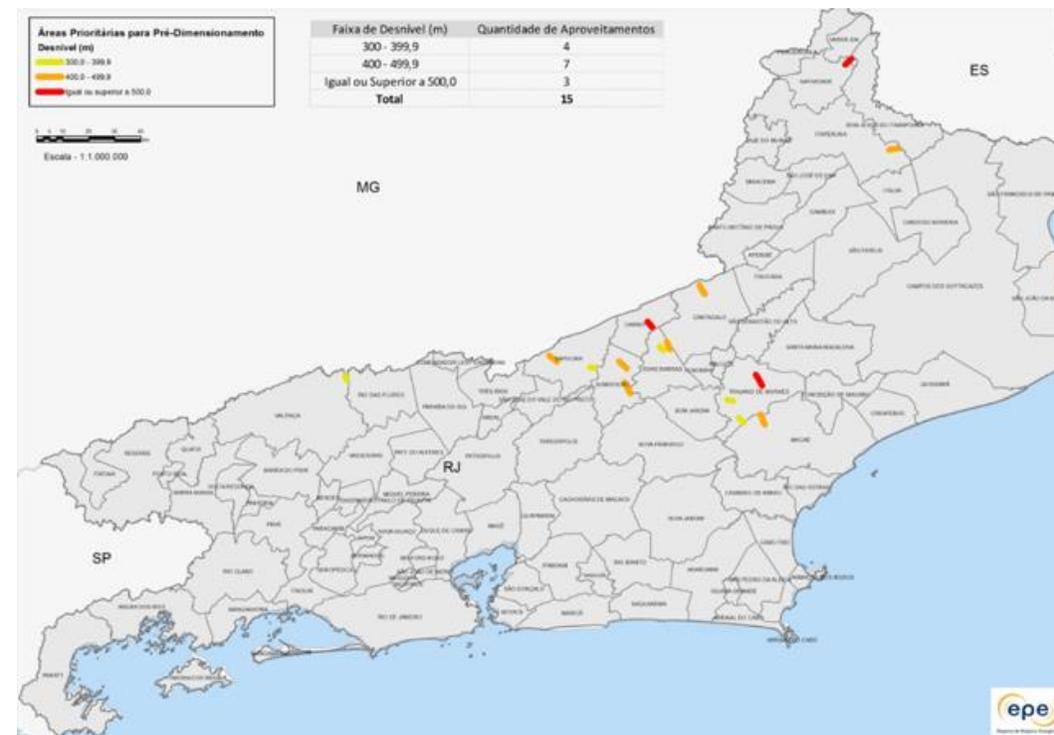
15 UHR
Pré-dimensionadas

Levantamento de Potencial no estado do Rio de Janeiro

Locais potenciais identificados pelo GeoUHR



Fonte: NT EPE-DEE-NT-006/2019-r0

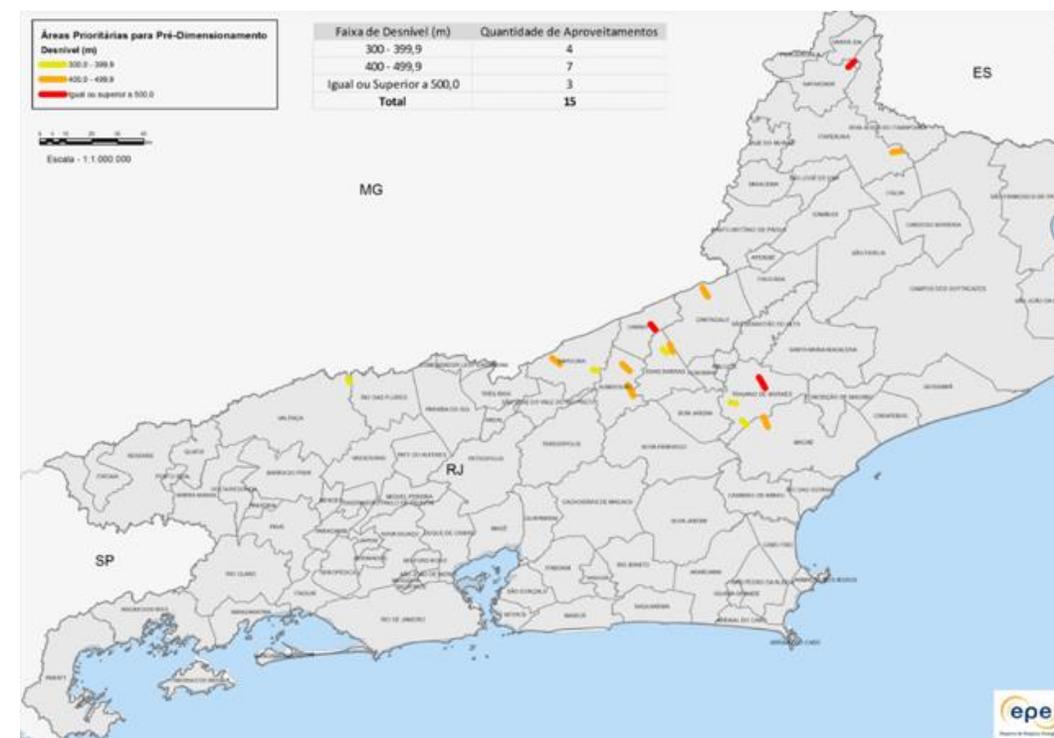


Fonte: NT EPE-DEE-NT-006/2019-r0

Para os 23 locais identificados foi realizada uma análise socioambiental preliminar por meio de inspeção visual em imagens de satélite. Essa análise resultou na exclusão de 8 sítios, tendo em vista as áreas urbanas, núcleos populacionais, edificações, atividades agrícolas, estradas e vias locais e remanescente de vegetação, dentre outros aspectos. **Resultado final da análise foram de 15 locais potenciais pré-dimensionados.**

Locais potenciais identificados pela GeoUHR

- Os locais potenciais são indicativos e podem auxiliar em uma futura seleção e **desenvolvimento de um projeto-piloto**.
- Apesar da GeoUHR indicar lugares potenciais, **é indispensável a realização de visita de campo** que pode eventualmente inviabilizar um projeto-piloto devido a restrições locais que o georreferenciamento não seja capaz de capturar.
- A ferramenta **GeoUHR é em código aberto** e pode **ser parametrizada** a fim de abranger mais regiões ou **atender outras características** como opções de ciclo aberto e fechado.
- Complementar, ao estudo para UHR de circuito semiaberto realizado para o Rio de Janeiro, a ferramenta GeoUHR também foi utilizada para **avaliação de locais potenciais no estado de São Paulo e de circuito fechado no RJ**. Apesar desses últimos estudos não terem se tornado públicos, análises preliminares apontam potenciais até maiores que aqueles já indicados para o estado do Rio de Janeiro.

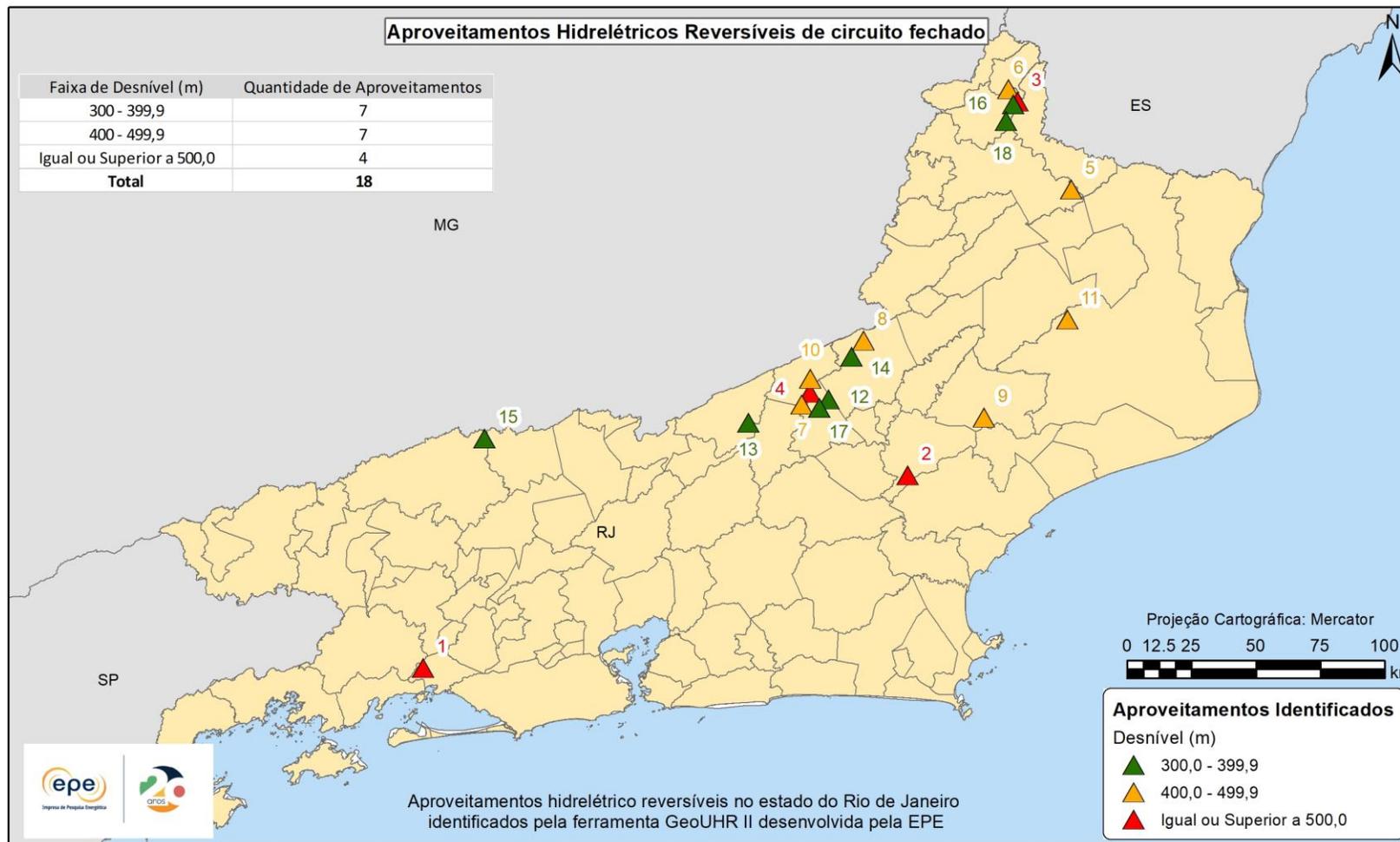


Fonte: NT EPE-DEE-NT-006/2019-r0

Ferramentas GeoUHR I e GeoUHR II

Estudos realizados em caráter preliminar | RJ

Localização e Identificação dos Projetos de Circuito Fechado no RJ

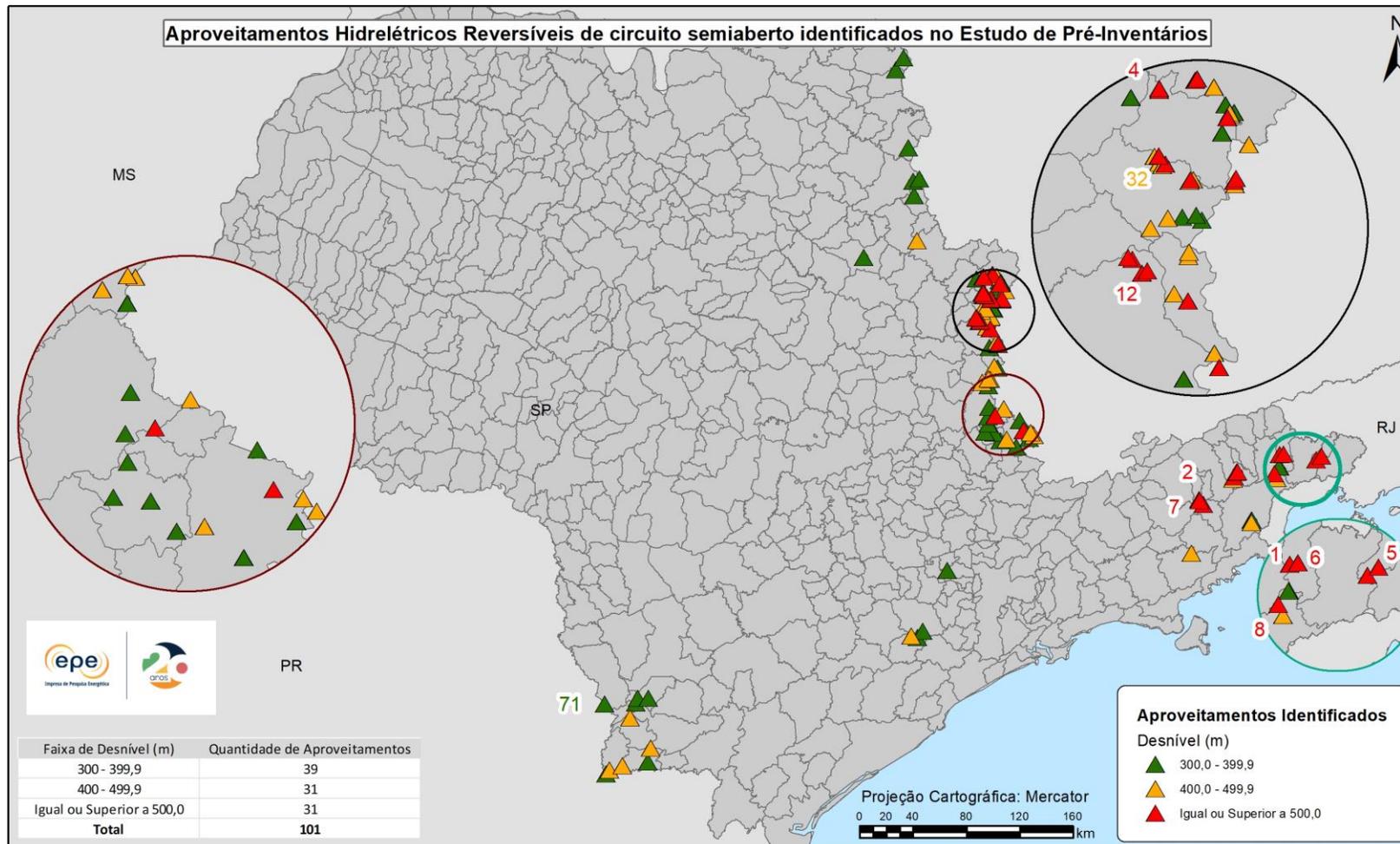


Fonte: elaboração própria

Os estudos para UHR de circuito fechado no RJ não chegaram a etapa de dimensionamento de potência

Estudos realizados em caráter preliminar | SP

Localização e Identificação dos Projetos de Circuito Semiaberto em SP

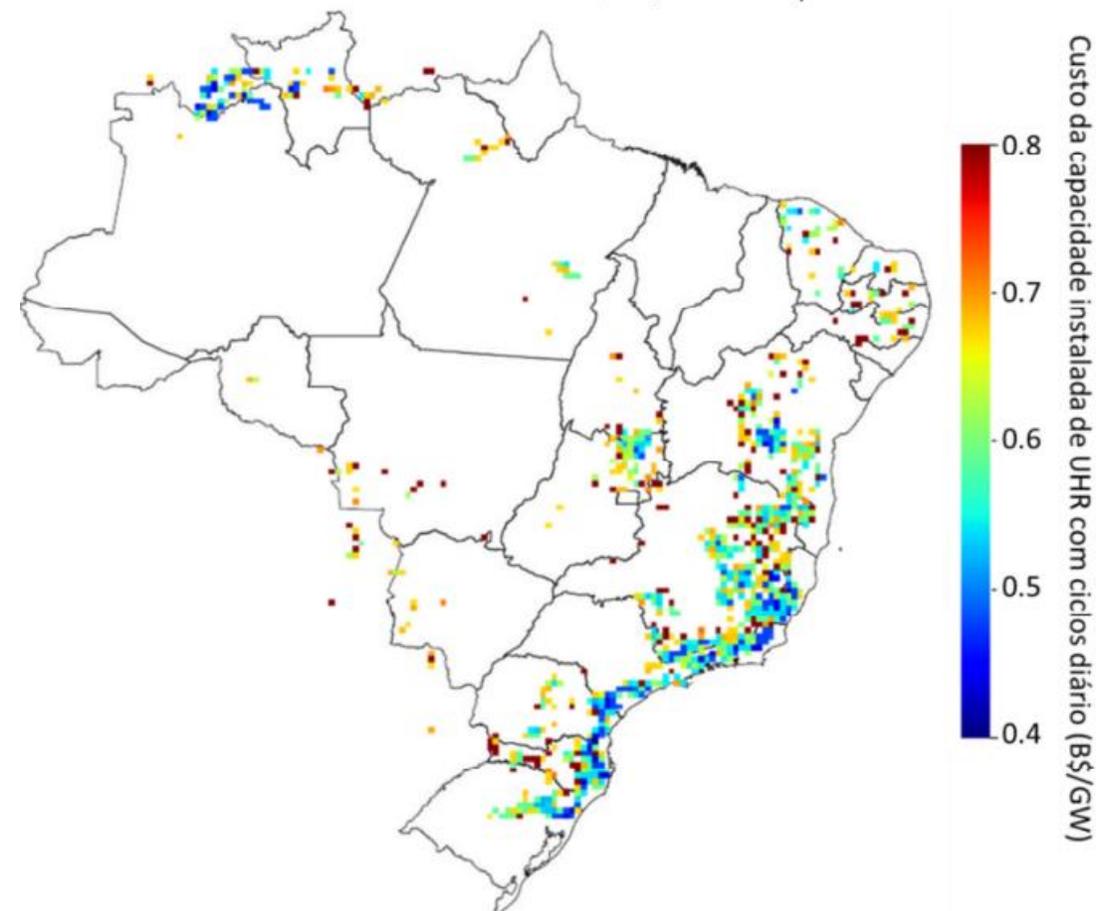


Fonte: elaboração própria

Os estudos para UHR de circuito semiaberto em SP não chegaram a etapa de dimensionamento de potência.

Estudos desenvolvidos por meio de P&D ANEEL

- Usando um princípio semelhante ao da ferramenta elaborada pela EPE, o **Gesel desenvolveu uma ferramenta de abrangência nacional**, que destaca locais potenciais. Essa ferramenta **também considera uma análise econômico-financeira**.
- Esse **estudo conta com projetos desde ciclos diários e semanais até mensais, sazonais e plurianuais**, que necessitam de grandes reservatórios e que devem ser construídos próximos a rios com alta vazão.
- As UHR de ciclo mensais, sazonais e plurianuais possuem barragens muito maiores, variações de cota de 100 a 200 metros e túneis mais longos. E **não necessariamente os maiores projetos serão os mais viáveis sob o ponto de vista econômico-financeiro**.
- O **desenvolvimento desses projetos dependem** dos processos de licenciamento ambiental e construção, os quais podem tornar-se **mais longos ou mesmo impeditivos**.

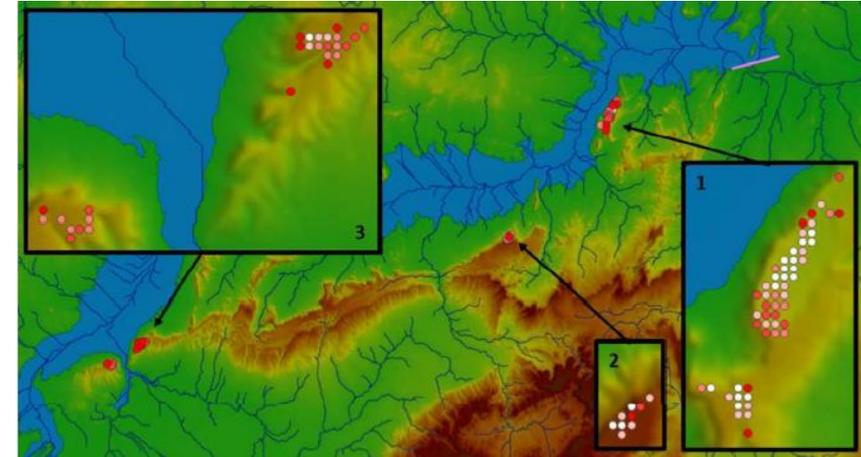


Potencial levantado pelo P&D

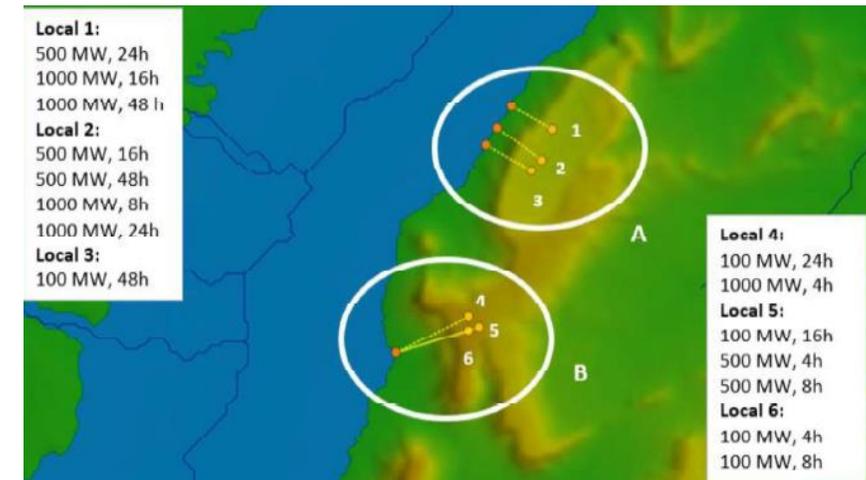
Estudos desenvolvidos por meio de P&D ANEEL

- A PSR utilizou o modelo HERA, o qual busca minimizar os custos de construção de uma UHR. A ferramenta identifica formas no relevo que minimizem a necessidade de fechamento de selas topográficas para a formação dos reservatórios.
- Foram realizadas simulações em torno da UHE Sobradinho com o objetivo de encontrar um reservatório superior para formar uma UHR com o reservatório já existente. Na primeira etapa, foram simuladas alternativas de tempos de geração para a **potência de 1000 MW**, compatível com a potência de Sobradinho. Neste caso, o modelo encontrou apenas **resultados para armazenamento de 8h e 1 dia. (1)**
- A segunda etapa da aplicação do modelo consistiu na busca pelos **melhores projetos** na área para combinações de alternativas de armazenamento com **potências entre 100 MW e 1000 MW, e tempos de geração de 4h a 48h. (2)**
- **Sobre os resultados apresentados**, observa-se que os custos de implantação das alternativas de UHR para a **potência de 100 MW** encontrados estão entre **USD 978/kW e USD 1.035/kW**. As simulações indicaram a seleção de projetos de UHR com **capacidade de armazenamento da ordem de 4h**.

(1)

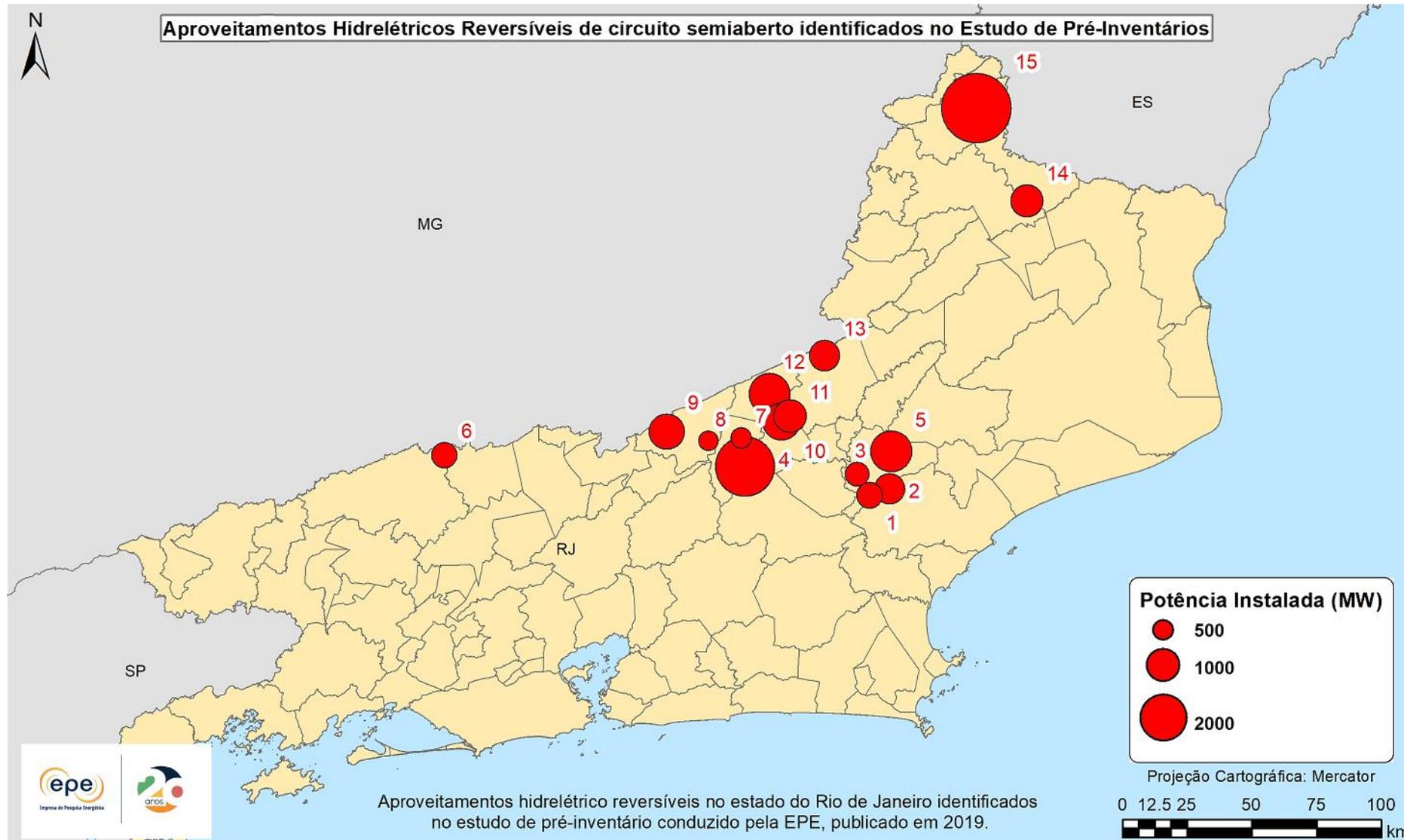


(2)



**SELEÇÃO DE
LOCAIS
FAVORÁVEIS
PARA PROJETO
PILOTO**

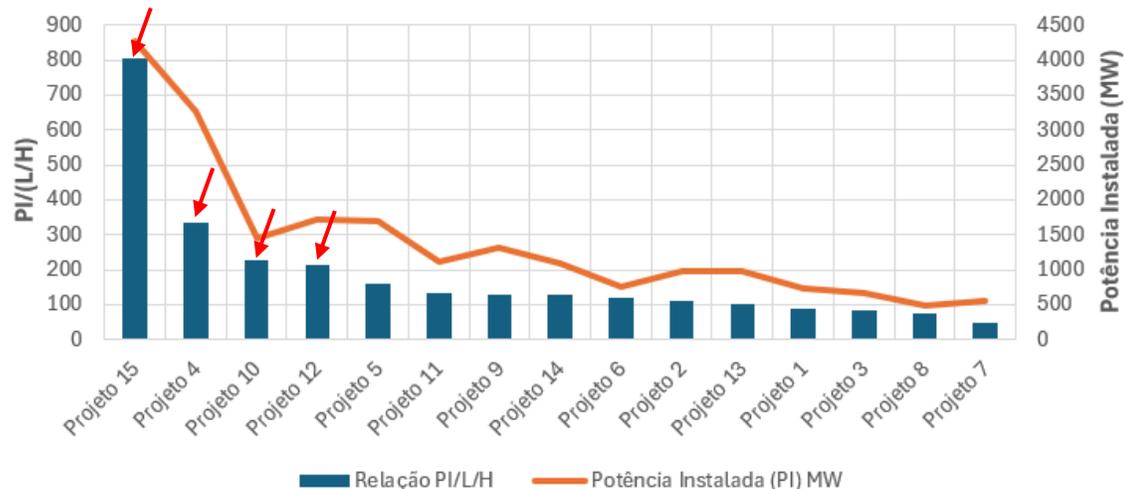
Localização e Identificação dos Projetos Semiabertos no RJ



Fonte: elaboração própria

Projetos Selecionados de Circuito Semiaberto no RJ

PI/(L/H)_UHRs no RJ



Projetos UHR no RJ	Potência Instalada (PI) MW	Queda Bruta Média (H)	Relação L/H	Relação PI/(L/H)
Projeto 15	4275.7	442	5.3	806.74
Projeto 10	1443.4	311.8	6.4	225.53
Projeto 12	1720.9	438.2	8.1	212.46
Projeto 4	3258.5	400.2	9.8	332.50

PI: Potência Instalada
L: Comprimento do Circuito
H: Queda Bruta Média

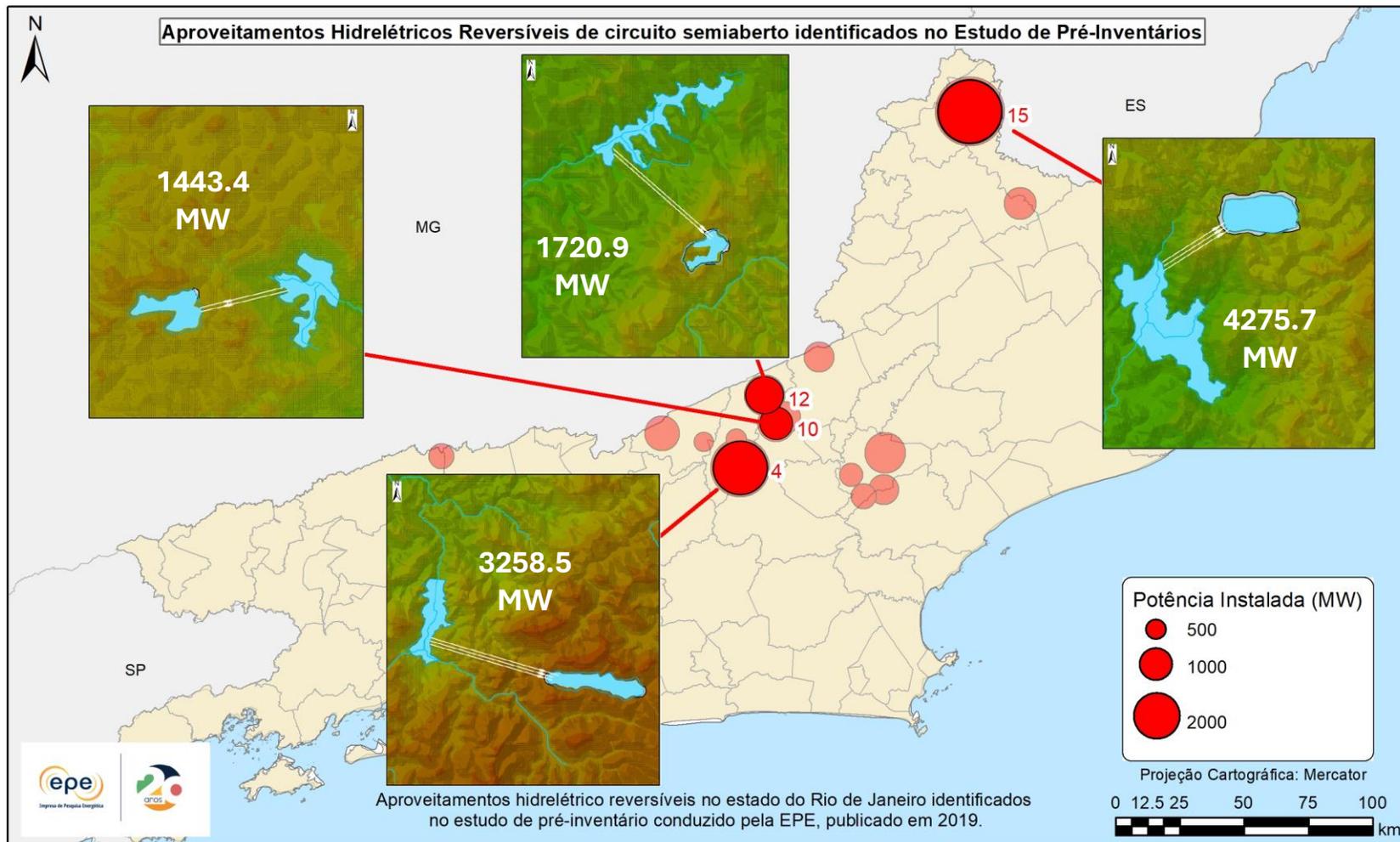
De acordo com as análises realizadas os melhores projetos para se obter mais detalhes e utilizá-los como piloto foram, nessa ordem, os de número:

15 **10**
12 **4**

- O índice $PI/(L/H)$ combina as potências pré-dimensionadas com o índice L/H . Portanto, **a menor relação L/H e o maior $PI/(L/H)$ indicam os projetos melhores.**
- De um modo geral, os projetos em questão apresentaram quedas brutas médias iguais ou superiores a 400 m, exceto o projeto de número 10, com queda aproximada de 300 m. No entanto, este se apresentou como um dos melhores por indicar um dos menores custos.
- Os quatro melhores projetos apresentaram L/H abaixo ou um pouco acima de 8, exceto o de número 4, sendo que **o projeto 15 apresentou L/H menor que 6 e a maior potência instalada possível para o local, resultando em uma relação $PI/(L/H)$ acima de 800.**
- Os demais projetos 10, 12 e 4 apresentaram valores acima de 200 para o índice $PI/(L/H)$. O projeto 4 torna-se interessante por ter uma elevada potência a ser instalada, apesar de indicar um maior custo que os demais (maior relação L/H).

Características Técnicas dos Projetos

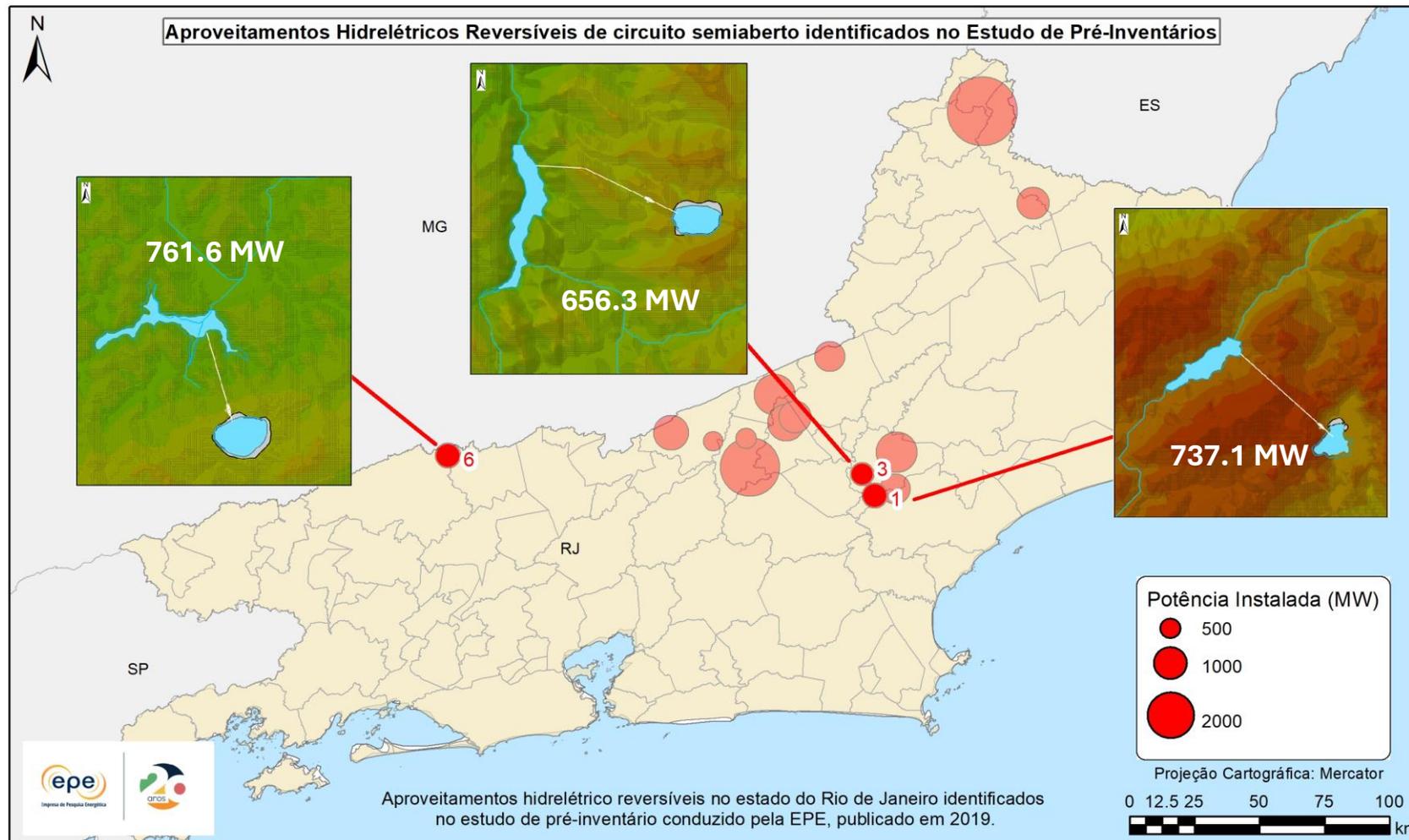
De acordo com a maior relação $PI/(L/H)$, os 4 melhores projetos com **maiores potências, menores custos e maiores quedas** seriam:



Fonte: elaboração própria

Características Técnicas dos Projetos

Ao limitar a potência instalada em 800 MW, os 3 projetos de maior interesse seriam:



Fonte: elaboração própria

CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

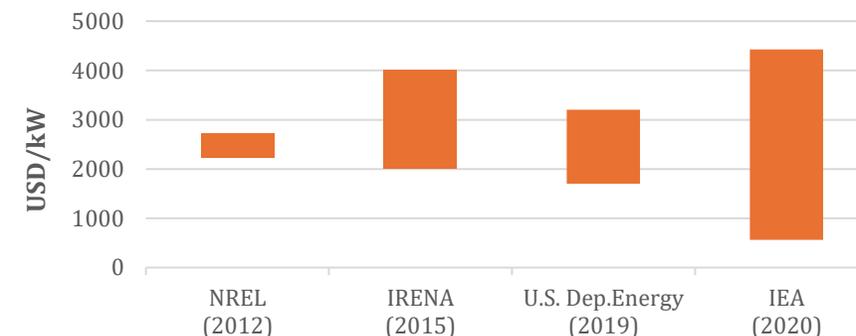
Estimativa dos custos de UHR

Estimativas de custos	PDE 2030	PDE 2031	2023/2024
CAPEX	US\$ 1.300/kW	US\$ 1.300/kW	US\$ 1.200/kW – US\$ 1.600/kW
OPEX	US\$ 15/kW.ano	US\$ 15/kW.ano	US\$ 12/kW.ano US\$ 20/kW.ano

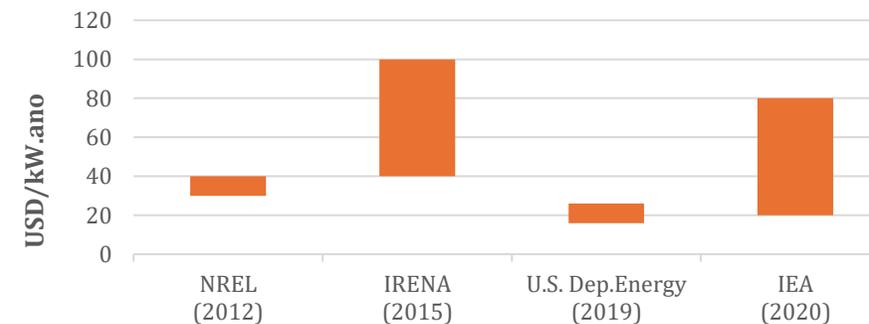
Desafios encontrados nas estimativas de custos dessa fonte:

- Poucos dados encontrados nas principais fontes internacionais consultadas;
- Heterogeneidade das amostras pesquisadas;
- Estimativas internacionais nem sempre especificam o custo por capacidade, duração ou tipo de rotação;
- Incertezas quanto ao custo de instalação no Brasil, especialmente devido à relevância da parcela de custos de obras civis, que tendem a ser menores em relação aos estimados internacionalmente;
- Os levantamentos mais recentes dos custos de UHR consideram capacidades entre 100MW e 1000MW.

Referências internacionais - CAPEX - UHR



Referências internacionais - O&M - UHR



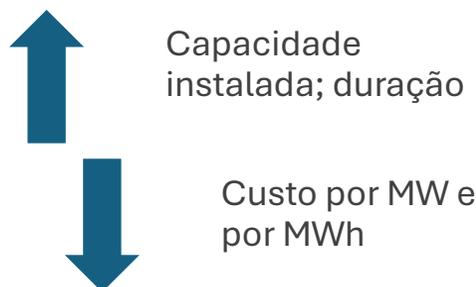
<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/caderno-de-precos-da-geracao>

Fatores que influenciam nos custos

São muitos os fatores de diferenciação dos custos de usinas. Entretanto, pode-se dizer que **os principais fatores que influenciam no custo de investimento são:**

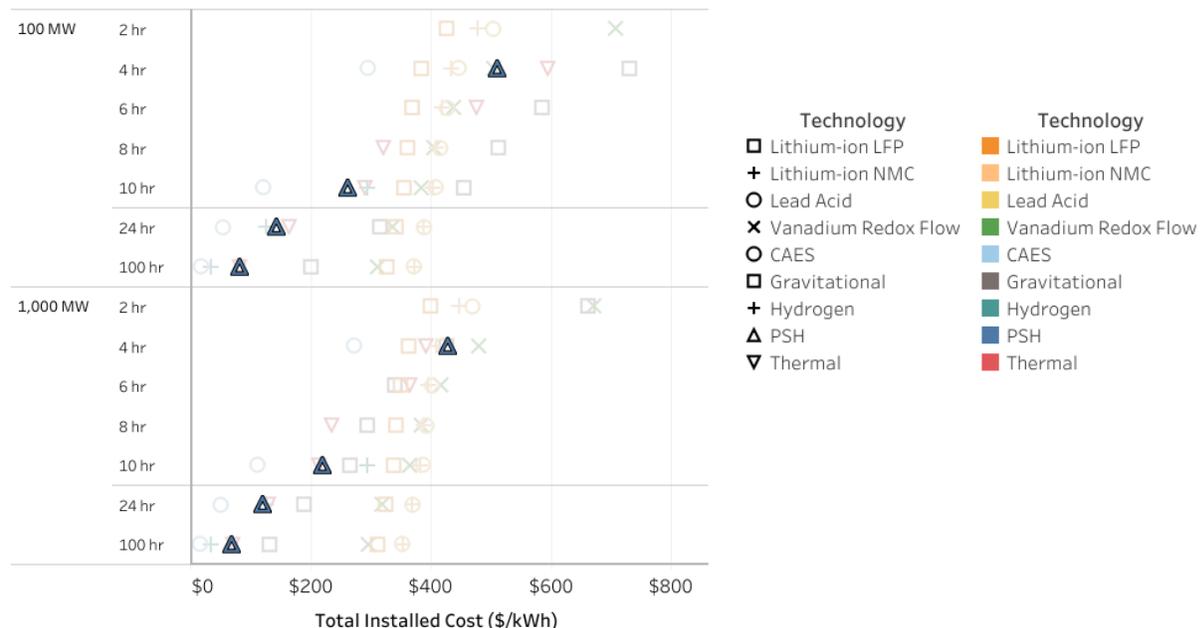
- **Capacidade instalada (MW) e duração (horas)**
- **Construção de túneis mais longos ou curtos e a altura de queda (L/H)**
- **Utilização de um reservatório existente e o tamanho dos novos reservatórios a serem construídos**
- **Tipo de rotação (fixa ou variável)**

Apesar da especificidade de cada projeto, de forma geral, **a capacidade instalada e a duração** do fornecimento/consumo de energia são dois fatores que, quanto maiores, menores são os custos da energia gerada.



É estimado que os custos do projeto (por MW) de uma UHR de 1000MW é cerca de 16% menor que os de uma UHR de 100 MW de mesma duração¹.

2021 Total Installed Cost Comparison, \$/kWh



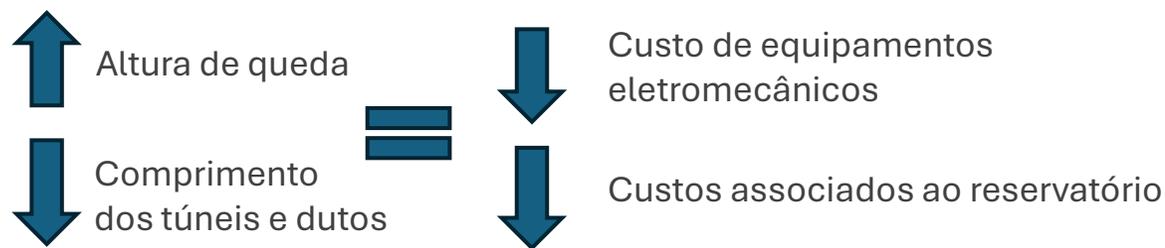
<https://www.pnnl.gov/ESGC-cost-performance>

PSH – Pumped Storage Hydropower (UHR – Usina Hidrelétrica Reversível)

¹ <https://www.pnnl.gov/sites/default/files/media/file/Final%20-%20ESGC%20Cost%20Performance%20Report%202012-11-2020.pdf>

Fatores que influenciam nos custos

A **altura da queda d'água** e o **comprimento dos dutos** entre os reservatórios inferior e superior influenciam diretamente na definição do tamanho do reservatório e dos equipamentos eletromecânicos. Assim:



A altura da queda d'água influencia então nas três principais parcelas dos custos de instalação, conforme definido pela IRENA.

Europe 2021			
Type of Hydro	Share of total installed costs (%)		
	Civil	Mechanical	Electrical
Large-scale Reservoir Storage (high head)	70	10	20
Large-scale Run of river (low head)	50	30	20
Small-scale Run of river	50	30	20
Pumped storage	30-50	20-30	30-40

<https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>

- Quanto ao tipo de rotação, a maioria das UHR é projetada e operada em rotação fixa, que tende a ter menor custo de investimento em relação a usina de rotação variável.
- **Estima-se que a adoção da rotação variável**, visando o atendimento de serviços de regulação, **eleva os custos de investimento em 15%** devido principalmente à elevação dos custos de equipamentos eletromecânicos².

Outras informações quanto aos **custos de UHR**:

- **As maiores parcelas do CAPEX** de um projeto de UHR **equivalem à casa de força e ao reservatório**;
- Custos com construção e infraestrutura do reservatório variam entre 15% e 35% do CAPEX total, enquanto os referentes à casa de força, equivalem a cerca de 30% a 40%;
- **Custos de O&M são geralmente menores que 2% do CAPEX.**

² https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f65/Storage%20Cost%20and%20Performance%20Characterization%20Report_Final.pdf

CONEXÃO AO SISTEMA

- A **integração das UHR ao SIN** é um aspecto crucial para sua **operação eficaz** e para o aproveitamento pleno de seus benefícios em termos de armazenamento de energia e regulação de carga.
- A **conexão à rede envolve** não apenas **aspectos técnicos** relacionados à infraestrutura de transmissão, mas também **questões regulatórias e operacionais** que garantem a harmonia entre as operações das usinas e as necessidades do sistema elétrico.



□ Aspectos Técnicos

- A **construção ou adaptação da infraestrutura de transmissão** pode ser necessária para conectar a usina reversível à rede. Isso pode incluir novas linhas de transmissão ou a ampliação de subestações existentes, dependendo da localização da usina e da capacidade de transmissão disponível. **O planejamento integrado de geração e transmissão e o compartilhamento de infraestrutura com outras fontes de geração podem ajudar a otimizar esses investimentos.**
- As UHRs podem ser utilizadas para a programação e despacho dos recursos do sistema de forma a influenciar os fluxos de potência na rede e assim **reduzir os custos decorrentes de limitações na capacidade de transmissão** e das **perdas elétricas**, podendo permitir o adiamento do investimento em novas linhas de transmissão. Esse serviço **depende da localização da UHR**, uma vez que o ponto onde a energia é injetada e retirada é determinante para o fluxo de transmissão de energia elétrica na rede.

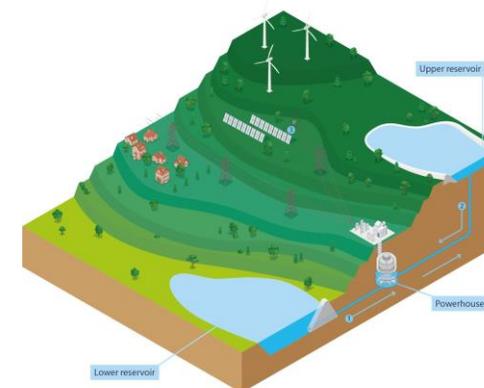
A capacidade de resposta rápida da geração é uma das principais vantagens das usinas reversíveis, permitindo que elas respondam às variações na demanda ou na oferta de energia de outras fontes e contribuam para a estabilidade do sistema.

- ❑ O **Contrato de Uso do Sistema de Transmissão (CUST)** deve ser celebrado anualmente pelos usuários da rede de transmissão com o Operador Nacional do Sistema (ONS), discriminando o **Montante de Uso do Sistema de Transmissão (MUST)** de todos os pontos de conexão de sua propriedade com a rede básica.
- ❑ O **valor do MUST** contratado tem reflexos físicos e comerciais para um empreendimento. O valor indica a **máxima potência elétrica que pode ser injetada na rede por um empreendimento**. É um dos parâmetros para **cobrança do Encargo de Uso do Sistema (EUST)**, em conjunto com a **Tarifa de Uso do Sistema (TUST)** aplicável, resultando no valor financeiro a ser pago pelo empreendimento.
- ❑ **Para as UHRs** ou outros tipos de armazenamento ainda existem **indefinições quanto ao acesso** pela ausência da inserção destas tecnologias nas **Regras de Transmissão** e nos **Procedimentos de Rede**. Há a necessidade de definição de qual seria o **MUST a ser contratado** e qual seria a **TUST**, como **gerador**, ou **TUST** como **consumidor** ou ainda uma terceira opção a ser criada.
- ❑ Uma proposta adequada e que vem sendo discutida para o **CUST das UHRs** seria possibilitar a **associação de empreendimentos para contratação única**, de forma similar a definida para usinas associadas.
- ❑ Em relação ao **MUST**, existem propostas para considerar a **potência das UHRs** na faixa de potência que pode ser contratada, **de forma similar ao caso das usinas híbridas e associadas**. Sendo a geração da UHR, para o valor mínimo da faixa, a maior, e para o máximo, entraria no somatório de potências. Além disso, deve-se considerar que **as UHRs reduzem o valor mínimo da faixa de potência**, visto que absorvem os picos de injeção de potência excedente no SIN.
- ❑ **Para a TUST** é importante que **a tarifa seja a do perfil principal da UHR no momento**, sendo apenas a eventuais excedentes, aplicada a tarifa do perfil secundário. Se o empreendimento reversível absorver mais potência do sistema do que está gerando, **se aplicaria a tarifa do consumo**, e nas situações de excedentes de geração seriam tarifadas sob a **tarifa de geração**.



ASPECTOS SOCIOAMBIENTALES

- No Brasil, o licenciamento ambiental de obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos para fins hidrelétricos, acima de 10MW, dependem de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto Ambiental - RIMA (Res. Conama 01/86).
- Não existe regulamentação específica para UHR. Contudo, **espera-se que o processo de licenciamento de uma UHR seja similar ao de hidrelétricas convencionais.**
- Os **possíveis impactos socioambientais** de UHR estão relacionados às condições específicas dos **locais onde serão implantadas** (por ex., bioma, vegetação existente, contexto socioeconômico do local ou da região de implantação da usina), ao **porte do projeto** e às suas **características construtivas** (por ex., tipologia, formato e tamanho dos reservatórios, regime de operação, extensão das escavações e necessidade, ou não, de construção de barramentos em cursos d'água).
- Existe **grande flexibilidade locacional** para implantação de UHR, de maneira que **áreas ambientalmente sensíveis** (como unidades de conservação) **podem ser evitadas.**



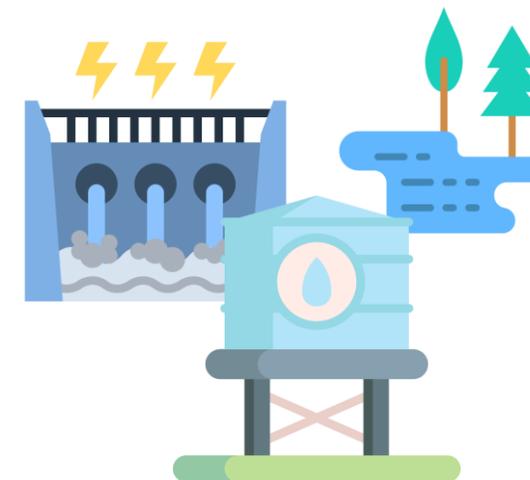
Esquema de Usina Hidrelétrica Reversível de ciclo fechado
Fonte: IHA

Desafios e Discussões:

- Ampliar as discussões com órgãos ambientais, reguladores, desenvolvedores e partes interessadas, buscando melhor compreensão das diferentes concepções de projetos, os impactos e as medidas para reduzir, mitigar e compensar seus efeitos.
- Avaliar adaptações na legislação relativa ao licenciamento ambiental para incorporar especificidades das UHR.

UHR de ciclo fechado, em que ambos os reservatórios estão fora do corpo hídrico, e projetos que utilizem reservatórios existentes podem ser soluções de mais fácil implementação e menores impactos ambientais.

- As usinas reversíveis necessitarão obter a **outorga de direitos dos usos de recursos hídricos**, de acordo com a **Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal n. 9.433/1997)**.
- Para tanto, aponta-se para a necessidade de avaliar **quantidade, qualidade da água e compatibilidade operativa das UHR** com os demais usuários da água considerando os **contextos locais e características dos projetos**.
- **Usinas de ciclo fechado** necessitam de água apenas para o enchimento inicial do reservatório, que pode ser entendida apenas como uma captação temporária, e pequena reposição de perdas (por evaporação).
- Já em projetos **de ciclo aberto ou semiaberto**, a vazão utilizada pela UHR poderá competir com outras captações e/ou restringir a operação destas. Sobretudo em **reservatórios já existentes**, sejam para a geração de energia elétrica, de abastecimento público ou de outros usos, e **UHRs que operam em regimes sazonais**. Para **UHRs de operação diária**, vale ressaltar que a água retirado dos rios ou reservatórios existentes será devolvida nos momentos de geração.
- Ex.: UHR Foz Tua em Portugal ajusta a operação para permitir a navegação turística.



Fonte: Flaticon.com

Discussões:

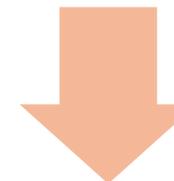
- Avaliar necessidade de adaptações nos normativos, procedimentos e estudos relativos à outorga de direito de uso dos recursos hídricos para acomodar UHRs, incluindo projetos de circuito fechado e uso de reservatórios existentes.

A compatibilidade do projeto com os diversos usuários da água e demandas deve ser avaliada nos estudos para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, de modo a maximizar os benefícios e minimizar os desafios das UHRs na gestão sustentável destes recursos.

**ARCABOUÇO
LEGAL E
ADAPTAÇÕES
NECESSÁRIAS**

O que diz a Lei sobre a outorga desses empreendimentos?

- A Lei nº 9.074/1995 estabelece diretrizes para a outorga de aproveitamentos hidrelétricos. O art. 5 estabelece quais são os objetos de concessão mediante licitação e o art. 7 aqueles que são objetos de autorização.
- Há controvérsias se as UHR poderiam ser classificadas como hidrelétricas, uma vez que é um consumidor líquido de energia. (consumo para o bombeamento maior que a sua geração).
 - No §2º, art. 5 estabelece que **nenhum aproveitamento hidrelétrico poderá ser licitado sem a definição de "aproveitamento ótimo" pelo poder concedente**, podendo ser atribuída ao licitante vencedor a responsabilidade pelo desenvolvimento dos projetos básico e executivo.
 - No §3º, art. 5 é considerado **"aproveitamento ótimo"** todo potencial definido em sua concepção global pelo melhor eixo do barramento, arranjo físico geral, níveis d'água operativos, reservatório e potência, integrante da alternativa escolhida para a divisão de quedas de uma bacia hidrográfica nos Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia.
 - O detalhamento dos **procedimentos de outorga é descrito em normativos infra legais estabelecidos pela ANEEL**, bem como os procedimentos relacionados aos estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas e os estudos de viabilidade técnica e econômica de usinas hidrelétricas, **ainda não existe procedimento ou menção às UHR**.



As UHR podem assumir diferentes concepções construtivas, com reservatórios criados dentro ou fora de cursos d'água, reaproveitando ou não reservatórios já existentes e podendo integrar ou não uma cascata de empreendimentos hidrelétricos convencionais.

Quando **comparadas as UHEs convencionais, as UHRs possuem algumas peculiaridades** que as diferem destas e como consequência sugerem algumas alterações em relação ao **conceito de aproveitamento ótimo**:

- ❑ **Sobre o aproveitamento ótimo para UHRs, nas de ciclo fechado, a aplicação desse conceito não se aplica**, pois estas não estariam inseridas em uma cascata de usinas hidrelétricas de forma a alterar o dimensionamento energético de outros projetos ou a operação das UHEs convencionais que estejam a sua jusante, não interferindo no potencial hidrelétrico da bacia hidrográfica.
- ❑ Para as **UHRs de ciclo semiaberto ou semifechado, os aspectos de aproveitamento ótimo são mais importantes**, pois estas UHRs podem provocar alterações em toda a operação e geração das UHEs convencionais já existentes no rio ou cascata, em muitas situações de forma positiva trazendo ganhos energéticos por proporcionar incremento de vazão no rio em determinados períodos, no entanto, aspectos negativos também podem acontecer.
- ❑ Outro ponto que merece destaque refere-se **aos atributos das UHRs, que vão além do produto energia**, o que solicita adequações e alterações no conceito de aproveitamento ótimo de forma que possa englobar os **requisitos de capacidade e flexibilidade em sua composição** e definir os melhores aproveitamentos que atendam a esses novos produtos da melhor forma. Na prática, a atual avaliação do aproveitamento ótimo considera apenas os ganhos de energia firme, conforme Manual de Inventário Hidrelétrico.
- ❑ Aspectos como **tempo de geração** (descarga) e **de bombeamento** (carga) também devem ser considerados.

A UHR que compõe o aproveitamento ótimo, de forma ideal, é aquela que traz o máximo de ganho energético para toda a cascata e bacia hidrográfica na qual será inserida, considerando os requisitos de energia, capacidade e flexibilidade.

Concepções possíveis para UHRs



La Muela (Espanha, 1.482MW)

Utiliza um reservatório superior artificial e um reservatório inferior criado pelo barramento do rio Jucar, onde fica instalada usina hidrelétrica convencional de 280MW (Cortes II). Potencial de geração criado puramente pela ação de bombeamento.



Alqueva II (Portugal, 259MW)

Utilizando o reservatório da hidrelétrica convencional existente de Alqueva, foi implementada casa de força subterrânea com 2 unidades reversíveis, permitindo o bombeamento da água do rio Guadiana a montante da barragem de Pedrógão. Potencial de geração criado pelo bombeamento e pelas afluições no reservatório de Alqueva.



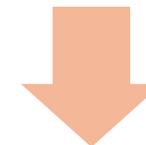
Le Cheylas (França, 480MW)

Reservatório superior (Flumet) recebe água do rio D'Arc e do reservatório Longefan por meio de uma galeria de 27 km de extensão. Potencial de geração criado pelo bombeamento, pelas afluições no reservatório de Flumet e também pela galeria proveniente do reservatório de Longetan.

Diferentes concepções possíveis das UHRs podem ter diferentes efeitos na cascata e no aproveitamento ótimo. Ganhos de potência para atendimento a ponta e flexibilidade atualmente não contemplados nessa avaliação.

O que diz a Lei sobre a outorga desses empreendimentos?

- No caso da exploração de **pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e usinas hidrelétricas convencionais (UHE)**, é necessário a existência de Estudos de Inventário Hidrelétrico aprovados como pré-requisito para outorga.
- Esses estudos são realizados visando a identificação de aproveitamentos hidrelétricos, com potência unitária superior a 5.000 kW, de bacias hidrográficas por meio do uso ótimo do potencial hidráulico com a melhor relação custo-produção de energia
 - A partir dos Estudos de Inventário, o interessado deverá indicar o(s) aproveitamento(s) hidrelétrico(s) que tem interesse em desenvolver estudos mais aprofundados com vistas a obter a outorga do empreendimento.
 - **O desenvolvimento desses estudos depende de autorização da ANEEL.**
 - UHE com aproveitamento de potencial hidráulico de 5.000 até 50.000 kW, sem características de PCH, estão sujeitas à outorga de autorização.
 - UHE com aproveitamento hidrelétrico de potência instalada superior a 50.000 kW estão sujeitas à outorga de concessão. Sendo necessário, portanto, um leilão.

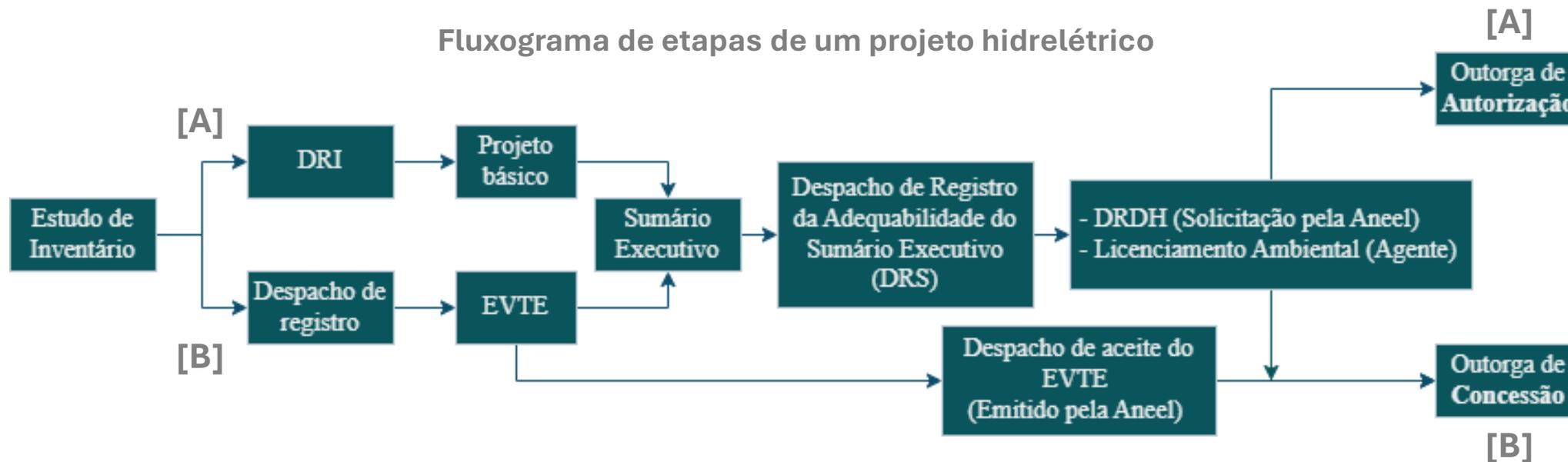


Como dito anteriormente, ainda não há procedimento ou qualquer menção às UHR nos dispositivos legais. Entretanto, as tecnologias com armazenamento, inclusive as UHR, foram tratadas do ponto de vista regulatório por meio da Consulta Pública Aneel n° 039/2023

O que diz a Lei sobre a outorga desses empreendimentos?

(A) Para empreendimentos com **potência inferior à 50.000 kW** (PCHs e UHEs autorizadas), os estudos a serem desenvolvidos são de **projeto básico** e a autorização se dá via emissão de **Despacho de Registro de Intenção (DRI) à Outorga de Autorização**.

(B) Para empreendimentos com **potência superior à 50.000 kW** devem ser **desenvolvidos Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE)**. A autorização para desenvolvimento do EVTE é feita a partir da emissão de Despacho de registro.





- Como resultado dos avanços graduais sobre a inserção de UHR no SEB, o tema ganhou mais relevância com a elaboração da **Análise Impacto Regulatório (AIR) nº 1/2023-SGM-SCE-STD-STE/ANEEL**
- Ao final de 2023, a **AIR foi submetida a Consulta Pública Aneel nº 039/2023**. Com isso, foram recebidas diversas contribuições de diferentes instituições e agentes do setor.
- A **AIR destacou alguns objetivos específicos a serem alcançados** para a inserção adequada de novas soluções de armazenamento, entre elas as UHR.

Adaptação da
regulação de acesso à
rede

Adaptação da
regulação de outorgas

Avaliação das opções
para estruturas
remuneratórias

Alinhamento entre os
agentes e entidades
envolvidas

- A Análise de Impacto Regulatório destaca alguns **objetivos específicos a serem alcançados por meio de soluções tanto normativas quanto não normativas.**

	SOLUÇÕES NORMATIVAS	SOLUÇÕES NÃO- NORMATIVAS
Adaptação da regulação de acesso à rede	<ul style="list-style-type: none">• Definição do MUST/D a ser contratado• Definição da forma de contratação do uso da rede (CUST/D)• Definição da tarifa de uso de rede a ser aplicada (TUST/D)	<ul style="list-style-type: none">• Divulgação de dados da regulação e de mercado no sistema elétrico brasileiro
Adaptação da regulação de outorgas	<ul style="list-style-type: none">• Definir modo de outorga para UHR em ciclo fechado ou semiaberto• Definir modo de outorga para usinas reversíveis em UHE ou PCH já existentes	<ul style="list-style-type: none">• Incentivar projetos de pesquisa e projetos-piloto• Aproximar equipes técnicas de referência
Avaliação das opções para estruturas remuneratórias	<ul style="list-style-type: none">• Aprimorar o modo de remuneração que envolva os sistemas com armazenamento	<ul style="list-style-type: none">• Ampliar o conhecimento sobre os sistemas de armazenamento de energia elétrica
Alinhamento entre os agentes e entidades envolvidas		<ul style="list-style-type: none">• Alinhar agendas entre as instituições

**PRODUTOS,
SERVIÇOS E
MECANISMOS DE
REMUNERAÇÃO**

- Além das **adequações regulatória e normativas**, a **definição clara de mecanismos de remuneração** para implementação das UHR são fundamentais para **viabilização e financiabilidade** desses empreendimentos.
- A **reformulação do desenho de mercado** de energia elétrica, através da **criação de novos produtos** compatíveis com os requisitos sistêmicos é o caminho mais adequado.
- **Políticas de incentivo** podem ser compreendidas como medidas específicas para incentivar a inserção das UHR nos sistemas elétricos. Por isso é importante observar as **experiências de outros países** na adoção de UHR:
 - Na Alemanha foi adotada a isenção na tarifa de acesso a rede básica de transmissão pelos primeiros 20 anos de operação.
 - Em Portugal foi estabelecido um incentivo que consiste no pagamento anual de uma receita fixa baseada na potência instalada que vigora durante os primeiros 10 anos. Existe também a possibilidade de prorrogar o prazo total de concessão limitado a 75 anos, à medida que a prorrogação ocorra devido a reforços de potência.
 - A tabela a seguir traz mais detalhes a respeito das vantagens e desvantagens dos mecanismos de remuneração utilizados em diversos países que possuem tecnologias de armazenamento, tal qual as usinas hidrelétricas reversíveis, nos seus mercados de eletricidade.

É indispensável a criação de um ambiente que possibilite a inserção de nova tecnologia, mas sem que ocorra eventuais benefícios econômicos frente a outras fontes tecnológicas ou a criação de novos encargos que onere em demasia o consumidor final.

Mecanismos de remuneração | Experiências Internacionais

MECANISMOS DE REMUNERAÇÃO	CARACTERÍSTICA	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	VANTAGEM	DESvantAGEM
Receita Fixa [Transmissão]	Típicos em mercados monopolistas UHR é tida como um ativo de transmissão	China 	Previsibilidade de receita que favorece o investimento e o financiamento de novos empreendimentos	A possibilidade de participação nos ambientes de geração e transmissão pode dificultar a remuneração ou gerar vantagem indevida no ambiente competitivo (geração)
Arbitragem de Preços [Energia]	Mercados de curto prazo Mercados de confiabilidade formado por sinal de preço	NEM (Austrália)  ERCOT (TX/EUA)  Singapura  Nova Zelândia  Alberta (Canadá) 	Os sistemas de armazenamento podem atuar como gerenciamento de riscos contra pico de preços em períodos de maior demanda, fora do período de geração solar	Caso a demanda esteja no limite da oferta disponível, o preço pode exceder significativamente o custo marginal de produção Necessário mecanismos robustos para induzir a retração de demanda em momentos de estresse do sistema
Mercado de Capacidade	É determinada contratação de recurso suficiente a fim de garantir a segurança do sistema elétrico. Essa contratação é feita de forma descentralizada	CAISO (CA/EUA)  SSP (EUA)	Geralmente resultam em preços-teto menores que nos mecanismos baseados em arbitragem de preços. A obrigatoriedade de contratação proporciona uma receita mais previsível para os geradores, além da possibilidade de venda de energia no mercado spot	

Mecanismos de remuneração | Experiências Internacionais

MECANISMOS DE REMUNERAÇÃO	CARACTERÍSTICA	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	VANTAGEM	DESVANTAGEM
Mercado de Confiabilidade [Capacidade e Flexibilidade]	Os montantes para contratação de capacidade ou outros produtos de confiabilidade (flexibilidade) são definidos por meio de projeção de demanda de ponta ou reservas necessárias. Essa contratação geralmente é feita de forma centralizada por meio de leilões	PJM NY-ISSO (EUA)  NE-ISO (EUA) Alemanha  Bélgica  Suécia 	Existe maior previsibilidade de receita do empreendimento inerente de uma remuneração fixa para atendimento em situações críticas para o sistema	Necessidade de definição de métricas adequadas dos momentos críticos para o sistema. Dependendo da necessidade do mercado, esses empreendimentos podem ser projetados com previsão de fatores de capacidade baixo
Contratos de Longo Prazo [Energia]	No modelo de comprador único, a aquisição de energia é feita por meio de contratos de longo prazo, onde custo é repassado a um valor médio da carteira do comprador aos consumidores	CfD (RU) 	Nos modelos mais recentes, é possível garantir uma receita previsível para novos investimentos, mas sem prejudicar a sinalização de preços	Modelos mais tradicionais podem restringir a liquidez no mercado de curto prazo
Serviços Ancilares	Remuneração por tipo de serviços ancilares oferecido pelas tecnologias de armazenamento	Ainda não possui mercado consolidado	Uma UHR poderia ser remunerada pelos diferentes tipos de serviços prestados, de forma a aumentar a receita ao mesmo tempo de aumenta a robustez do sistema por meio da sua flexibilidade	Cabe o desenvolvimento de mecanismo regulatório robusto que consiga remunerar de forma adequada e eficiente os diversos serviços prestados

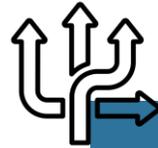
Serviços e mecanismos de remuneração | Brasil

- No Brasil, o desenho de mercado vigente já possibilita a atuação das UHR, entretanto, alguns dos produtos/serviços disponíveis requerem aprimoramentos normativos que permitam a melhor caracterização dos compromissos de entrega, penalidades e remuneração adequada.
- Essas adequações permitirão que os empreendimentos com sistema de armazenamento, como as UHR e baterias, possam explorar a prestação de diversos serviços, simultâneos ou não, e receber múltiplas receitas.



Energia

- Atuação no mercado de curto prazo por arbitragem de preços (PLD), com recarga nos momentos de baixo PLD e descarrega em momentos de alta.
- Baixa viabilidade de atuação no mercado de energia regulado (ACR) ou no mercado livre (ACL).
- Possível associação com outros agentes de geração (híbrido)



Capacidade e Flexibilidade

- Serviço/Produto mais viável hoje para UHR.
- Possível participação nos leilões de reserva de capacidade (LRCAP)
- Receita Fixa em função da potência ofertada (R\$/MW)
- Possível fornecimento do serviço flexibilidade, com ou sem estruturação de um mercado para este fim (ainda inexistente).



Serviços ancilares

- Alguns serviços ancilares são remunerados por CPSA: controle secundário de frequência e *black start* total, por exemplo
- Outros serviços ancilares não possuem mecanismo de remuneração e caberia a estruturação de um mercado específico.



Transmissão

- Maior previsibilidade de receita
- No Brasil, cabe ainda avaliar adequação regulatória devido a separação dos ambientes de geração e transmissão
- Estudos de planejamento da transmissão são determinativos e requerem a definição de local de instalação.

Análise preliminar de viabilidade na prestação de serviços

SERVIÇO	TIPO DE REMUNERAÇÃO	VIABILIDADE/RISCO
Fornecimento de energia elétrica		
Contratos de energia (ACR ou ACL)	Regulado: resultado do leilão Livre: valor negociado bilateral	Média viabilidade Produto não prioritário, mas com previsibilidade de receita. Apenas mais possibilidade para empilhamento de receita
Mercado de curto prazo	Arbitragem de preços limitado ao $PLD_{min} - PLD_{max\ hr}$	Baixa viabilidade Mecanismo de remuneração com alta adesão em outros países, mas com relativa imprevisibilidade de receita. Incerteza quanto ao retorno do investimento, sem expectativa de receita fixa.
Serviços Ancilares		
Controle primário de frequência	Sem remuneração (é um requisito)	Média viabilidade Desenvolvimento de um mercado de Serviços Ancilares e adequação regulatória para que uma UHR possa fornecer serviços semelhantes aos de uma UHE
Controle secundário de frequência*	CPSA, R\$ 64.483,22/ano	
Suporte de reativos sem fornecimento de potência ativa	CPSA, TSA = R\$ 9,02/MVAr-h	
Suporte de reativos durante fornecimento de potência ativa	Sem remuneração (é um requisito)	
Black start total*	CPSA, R\$ 48.362,40/ano	
Black start parcial*	Sem remuneração (é um requisito)	
Despacho complementar para manutenção de RPO**	Oferta de preços limitados a 130% do CVU mais recente	

*Agentes hidrelétricos

** Agentes termelétricos

Análise preliminar de viabilidade na prestação de serviços

SERVIÇO	TIPO DE REMUNERAÇÃO	VIABILIDADE/RISCO
Serviço de Capacidade		
Capacidade na forma de Energia	CER (disponibilidade), R\$/MWh em leilão competitivo (média LRCE/2022: R\$ 444,00/MWh)	Pouca viabilidade
Capacidade na forma de Potência	CRCAP (disponibilidade), preço em R\$/MW.ano em leilão competitivo, (média LRCAP/2021 R\$ 824.553,83/MW.ano)	Alta viabilidade LRCAP/2021 – apenas participação de fonte térmica LRCAP/2024 – participação das fontes térmicas e hídricas
Flexibilidade de Potência	Sem remuneração (ainda não existe um mercado definido)	Alta viabilidade Ainda cabe a criação de um ambiente de mercado específico
Função de transmissão		
Receita Anual Permitida - RAP	Taxa regulatória de remuneração do capital - transmissão = 11,45%**	Baixa viabilidade para UHR Apesar de haver maior previsibilidade de receita. Existe um entrave regulatório, pois para inibir possíveis distorções competitivas, houve a separação do ambiente competitivo (geração – investimento recuperado no mercado competitivo) do regulado (transmissão – investimento recuperado pelo modelo de custo por serviço ou receita permitida) Necessidade de adequação regulatória

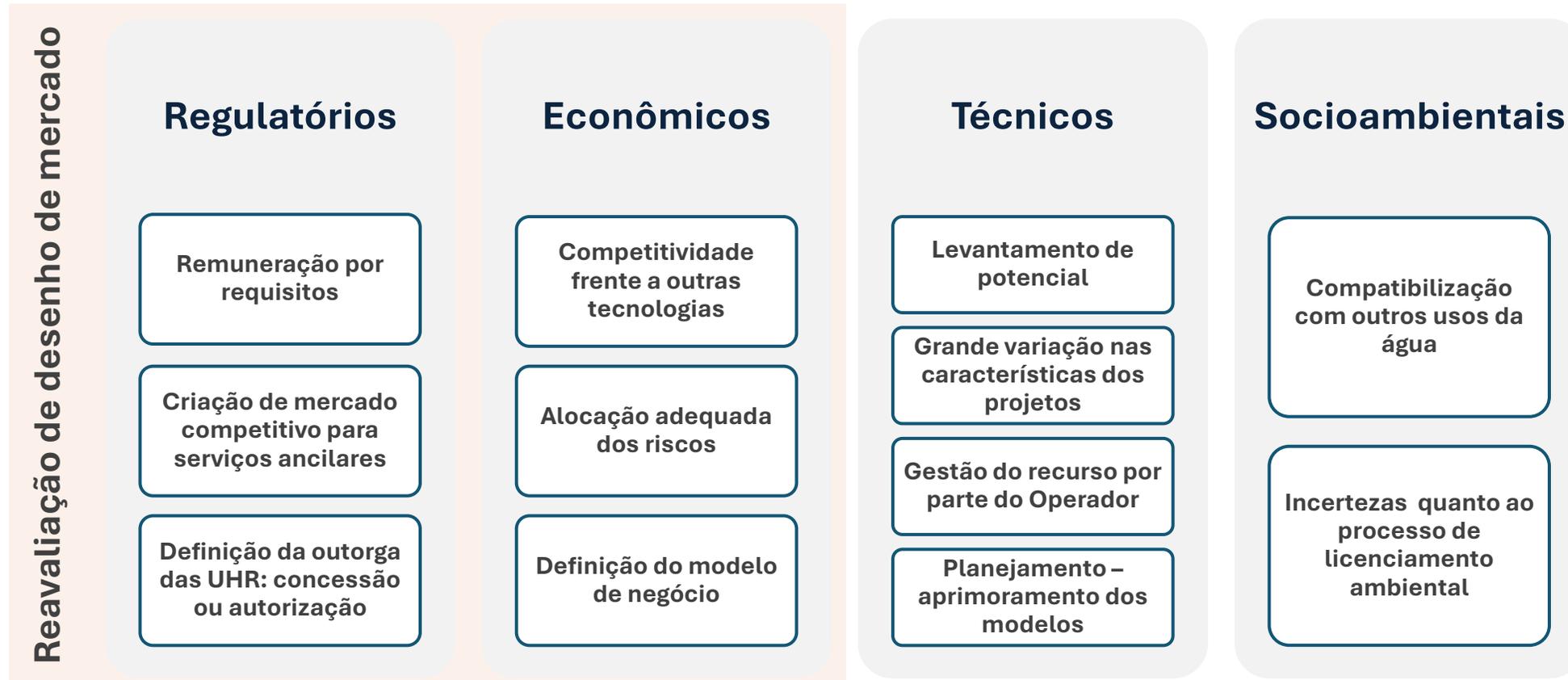
* As ofertas consistem em produtos horários com duração de 4 (quatro) até 17 (dezessete) horas, lotes com volume mínimo 5 MW para cada hora de duração da oferta, discretizados no padrão de 1 MW, preço em R\$/MWh, dia da semana e identificação do Submercado da oferta, com aviso prévio no dia anterior ao despacho.

** NOTA TÉCNICA Nº 55/2024-STR/ANEEL

**COMO ESTAMOS
E PRA ONDE
QUEREMOS IR?**



DESAFIOS



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.

Evolução do setor elétrico frente a esses desafios

2021

Desafios mapeados na
NT EPE/DEE/SEG/013/2021⁽¹⁾

...

2024

Atratividade Financeira

- Previsibilidade de receita e alocação adequada de riscos

Ainda não foi estabelecido nenhum mecanismo concreto de garantia de receita ou alocação de riscos do negócio

Outorga para exploração do potencial hídrico de uma UHR

- Concessão ou autorização

A **Consulta Pública 039/2023** recebeu contribuições até dezembro de 2023 de diversos agentes e empresas acerca do AIR proposto pela Aneel, onde são apresentadas diversas questões e possíveis alternativas a serem adotadas. Aponta primeiramente para uma adequação regulatória em ciclos fechado e semiaberto e só posteriormente seria avaliada para usinas de ciclo aberto

Licenciamento ambiental e outorga de direito de uso dos recursos hídricos

- Adequação dos procedimentos de licenciamento ambiental e outorga de direito de uso dos recursos hídricos para implementação de UHRs

Ainda **não há um mecanismo específico em discussão** para um eventual mercado competitivo de serviços ancilares não obrigatórios. Entretanto, esse tema permanece como uma possibilidade no AIR Aneel

Mecanismos de remuneração e contratação

- Avaliar a criação de um mercado competitivo para alguns serviços ancilares
- Avaliar a possibilidade de remuneração por mecanismos de capacidade

A implementação do preço horário e os leilões de capacidade foram alguns avanços associados a mecanismos de remuneração. Mas **ainda sem solução específica para UHR**. É importante destacar que para o próximo **LRCAP/2024 já está prevista a participação da fonte hídrica e há uma expectativa de participação para outras tecnologias de armazenamento para leilões futuros**, incluindo as UHR

Evolução do setor elétrico frente a esses desafios

2021

Desafios mapeados na
NT EPE/DEE/SEG/013/2021⁽¹⁾

...

2024

Potencial disponível e cesta de ofertas

- Mapeamento de locais favoráveis e caracterizar possíveis locais ou regiões para o desenvolvimento de projetos futuros

Após a EPE apresentar a **ferramenta GeoUHR**, desenvolvida em ambiente aberto, algumas **outras instituições de pesquisa e consultoria**, como Gesel e PSR, suportados por projetos de P&D, elaboraram **estudos e ferramentas com objetivos semelhantes**.

Aprimoramento da ferramenta GeoUHR, que já foi utilizada para o mapeamento potencial de reversíveis de ciclo semiaberto no Rio de Janeiro e de forma preliminar para São Paulo. Atualmente foi considerada de forma preliminar a possibilidade mapeamento potencial para ciclo fechado.

Acesso a rede e Operação

- Adequação dos procedimentos de rede para inserção e operação das UHR
- Regulamentação da tarifa de acesso a rede

Tanto os **procedimentos de rede** quanto a **tarifa de acesso** são questões abordadas na **Consulta Pública 039/2023** da Aneel. A discussão fica em torno da classificação **das UHR como geradores, consumidores ou as duas**. Atenção para evitar uma “dupla cobrança” pelo uso da rede

Planejamento

- Aprimoramento de modelos e metodologias para inserção das tecnologias de armazenamento, UHR inclusive, nos ambientes de geração e transmissão

Atualmente, o **modelo de decisão de investimentos (MDI)** considera a modelagem das reversíveis. A EPE possui um grupo de estudos em andamento que visa implementar a integração da Geração e da Transmissão (G+T) através desse modelo e de outros, que permitem a **modelagem da operação de forma individualizada e com menor granularidade temporal**, possibilitando assim uma modelagem detalhada de novas **tecnologias de armazenamento**.



Como a EPE está apoiando o desenvolvimento e inserção das UHR no Brasil?



Caracterização e detalhamento dos **requisitos sistêmicos**



Aprimoramento da ferramenta **GeoUHR** para evidenciar locais potenciais (ciclo fechado e semiaberto)



Apoio na elaboração de metodologias para estruturar os **estudos de inventário de UHRs**



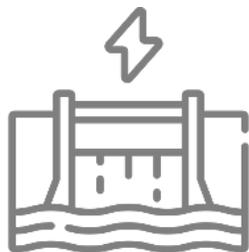
Apoio na viabilização e desenvolvimento de um **projeto piloto de UHR** por parte de agentes interessados



Aprimoramento e otimização de simulações de **UHR** nos modelos de planejamento e operação



Aprimoramento na **valoração dos serviços** prestados pelas UHR para atendimento as **necessidades sistêmicas**



Grandes oportunidades para **inserção das UHRs** no SIN, em função dos crescentes requisitos de capacidade e flexibilidade. A elaboração e construção de um **projeto piloto** pode ser um primeiro passo para sua viabilização.



O estabelecimento da **modalidade de outorga**, discutido atualmente pela regulação, é um passo fundamental para viabilização desses empreendimentos, assim como adaptações no **processo de licenciamento ambiental**.



Para um **aproveitamento dos diversos atributos** e remuneração pelos serviços fornecidos é necessário uma **reavaliação do desenho de mercado**, abrangendo tanto os aspectos regulatórios quanto a caracterização detalhada dos requisitos sistêmicos.



O aprimoramento da **modelagem das UHR nas ferramentas computacionais** utilizadas na operação e planejamento são fundamentais para permitir a **valoração adequada dos atributos** desta tecnologia e a melhor **gestão do recurso**.



- EPE (EPE-DEE-NT-006/2019-r0) – Estudos de Inventário de Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR): Metodologia e Resultados Preliminares para o Estado do Rio de Janeiro
- EPE (EPE-DEE-NT-090/2021-r0) – Serviços Ancilares sob a ótica de Planejamento da Expansão
- EPE (EPE-DEE-NT-013/2021-r0) – Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR): Desafios para inserção em mercados de energia elétrica
- EPE (EPE-DEE-RE-089/2021-r0) – Caderno de Preços da Geração 2021
- EPE (EPE/DEE/076/2023-R0) – Metodologia de Estimativas de Requisitos e Recursos de Flexibilidade no SIN
- EPE (PDE 2031) – Plano Decenal de Energia
- IHA – 2023 World Hydropower Outlook
- PNNL – Energy Storage Cost and Performance Database
- IRENA – Renewable Power Generation Costs in 2022
- SNPTE 2022 – Experiência Internacional no Desenvolvimento de Usinas Hidrelétricas Reversíveis em mercados de eletricidade de países selecionados
- SNPTE 2022 – Identificação de Locais para a Construção de Usinas Hidrelétricas Reversíveis
- ANEEL – CONSULTA PÚBLICA Nº 39/2023 – Análise Impacto Regulatório (AIR) nº 1/2023-SGM-SCE-STD-STE/ANEEL
- GESEL – A Viabilidade das Usinas Reversíveis no Sistema Interligado Nacional
- GESEL, 2023 – Proposição de alternativas regulatórias para a viabilização comercial das Usinas Hidrelétricas Reversíveis
- GESEL, 2023 – Remuneração de projetos de armazenamento de grande porte
- VOITH, 2014 – Revista HyPower
- Manual de Inventário Hidrelétrico



www.epe.gov.br

Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Coordenação Técnica

Caio Leocádio

Diretor

Reinaldo da Cruz Garcia

Equipe Técnica

André Makishi

Patricia Asfor

Ronaldo Souza

Equipe Técnica (continuação)

Guilherme de Paula Salgado

Gustavo Fernando Schmidt

Hermani de Moraes Vieira



**EPE - Empresa de Pesquisa
Energética**

Praça Pio X, n. 54

20091-040

Centro - Rio de Janeiro

