

WEBINAR

PSR

• ABERTO AO PÚBLICO •

Usinas Hidrelétricas Reversíveis

Segunda, 15 de junho às 15h

Saiba como participar



PSR

 ANEEL
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
Programa de Pesquisa e Desenvolvimento

 Light

 eDF
Norte Fluminense

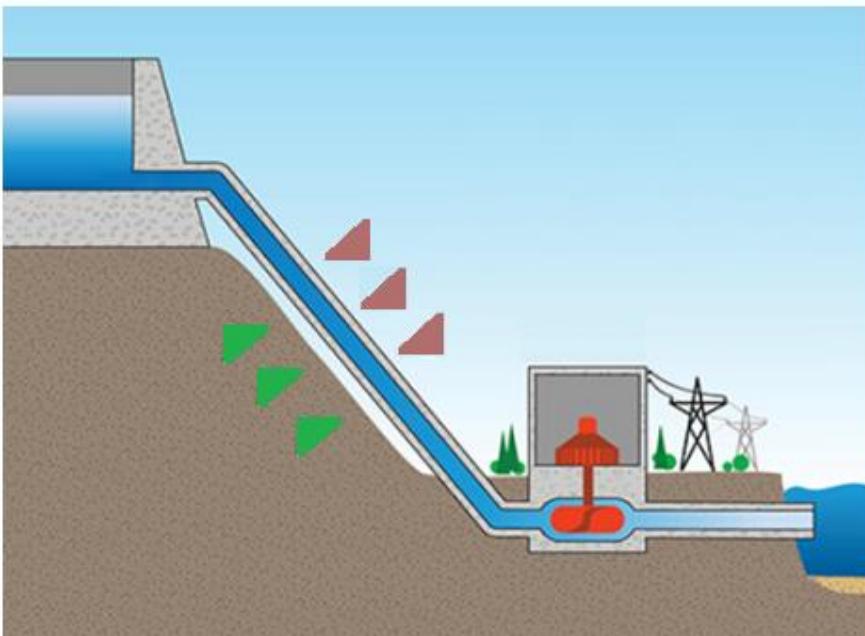
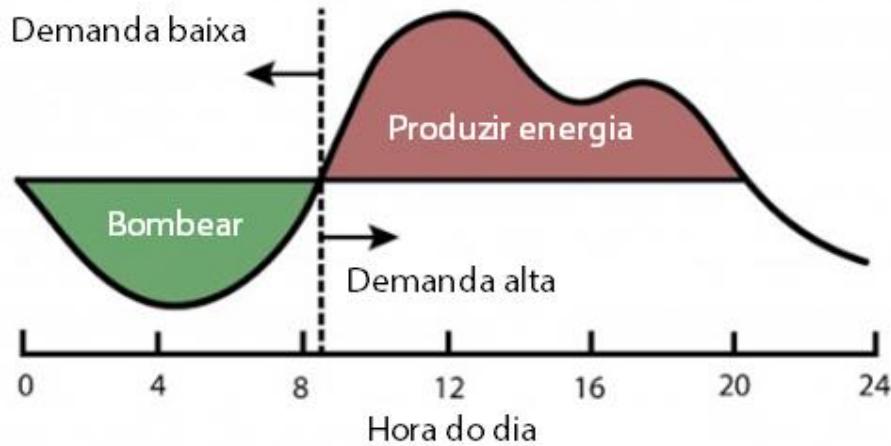
 CTG Brasil Brookfield



Sumário

- ▶ **Conceitos**
- ▶ Experiência internacional
- ▶ Projeto de P&D ANEEL
- ▶ Conclusões

Operação das UHR

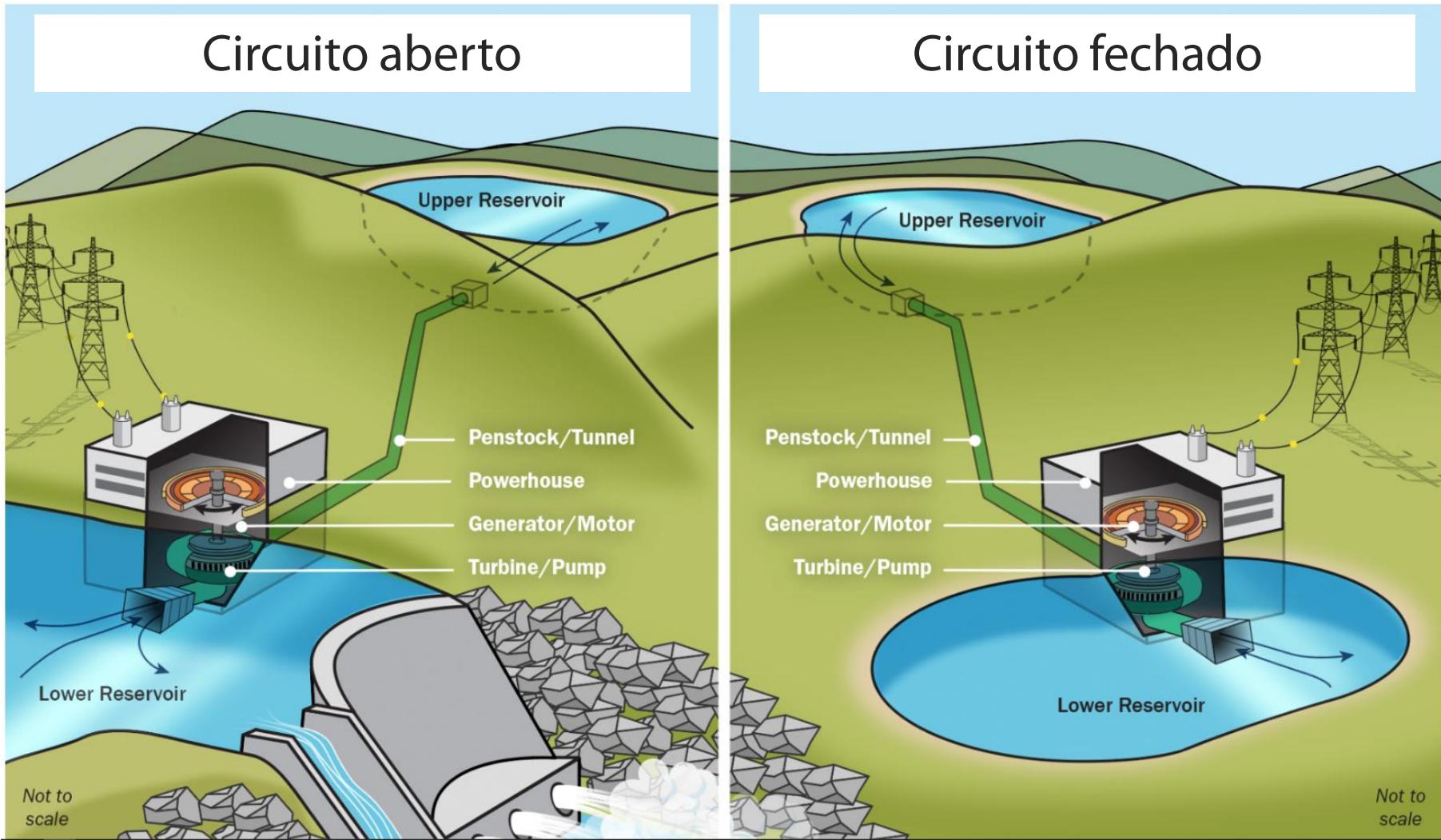


1. Bombar água de um reservatório inferior para um superior em horas de baixa demanda, quando a eletricidade é barata.
2. Gerar eletricidade com a água descendo do reservatório superior para o inferior durante horas de alta demanda, evitando o acionamento de usinas com maior custo.

As UHR consumidoras líquidas de energia.

Com eficiência de 75%, cada kWh gerado consome 1,3 kWh no bombeamento. O preço da energia na ponta precisa ser 30% maior que fora da ponta.

Tipos de UHR



Tipos de UHR

- T1 – dois reservatórios existentes.
- T2 – utilização de um lago ou reservatório existente como reservatório inferior e implantação do superior.
- T3 – um sistema em circuito fechado, independente de lagos ou reservatórios existentes e, até mesmo, de outros corpos d'água.
- T4 – variação da topologia 2, com utilização do mar como o reservatório inferior.
- T5 – sistemas multi-reservatório, incluindo hidrelétricas convencionais.
- T6 – utilização de rio caudaloso como reservatório inferior e implantação do reservatório superior.
- T7 – variação da topologia 2, com utilização de mina abandonada como base do sistema.



ARÁNTEGUI, R. L *et al.* SETIS Expert Workshop on the Assessment of the Potential of Pumped Hydropower Storage. Institute for Energy and Transport, Joint Research Center, abr. 2012. Disponível em <https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/SETIS-expert-workshop-assessment-potential-pumped-hydropower-storage.pdf>

Antecedentes

- ▶ Interesse histórico
 - As UHR foram historicamente construídas em sistemas com forte parcela de capacidade inflexível (ex. nuclear e carvão).
 - Expansão acelerada pelas crises de óleo e construção de nucleares na Europa, EUA, Japão e França entre 1970 e 1990. Menores investimentos em anos recentes.
- ▶ Interesse atual
 - Atendimento econômico da demanda máxima.
 - Mitigação da variabilidade de fontes de energia renovável, que crescem muito pela tanto pela abundância de recursos (vento e radiação solar) como pela competitividade delas (baixos preços).
 - Serviços aniciares para redes e confiabilidade de suprimento

Baterias x UHR

- ▶ Contribuição das UHR e de baterias (fonte: IHA, 2019).



Exemplos de aplicações¹

- ▶ Califórnia e África do Sul: UHR no abastecimento d'água em grandes cidades.
- ▶ UHR Frades II (780 MW): mitigação da variabilidade da produção eólica (20% do total produzido em Portugal).
- ▶ UHR Kruonis (Lituânia): forneceu backup durante quedas no cabo submarino NordBalt entre Lituânia-Suécia, por sua resposta rápida, capacidade de cobrir a demanda e estabilizar a rede.
- ▶ Na Noruega UHR foram desenvolvidas para uso sazonal, bombeando no verão, durante vazões maiores pelo derretimento da neve, e produzindo no inverno.

1- Fonte: *The world's water battery: Pumped hydropower storage and the clean energy transition*, IHA 2019

Situação atual & perspectivas

- ▶ Planos agressivos na China para expandir UHR

pv magazine

News ▾ Features ▾ Events & Awards ▾ Partner news ▾ pv magazine test ▾ Marketplace ▾ Archive ▾

China set for 40 GW of pumped hydro storage next year

The showpiece 3.6 GW Fengning county project which will offer grid services and back-up power at the 2022 Winter Olympics is part of a 31.15 GW construction pipeline of projects, many of which are set to come into service next year.

SEPTEMBER 25, 2019 VINCENT SHAW

ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS ENERGY STORAGE ENERGY STORAGE GRIDS & INTEGRATION HIGHLIGHTS MARKETS
POLICY UTILITY SCALE STORAGE CHINA

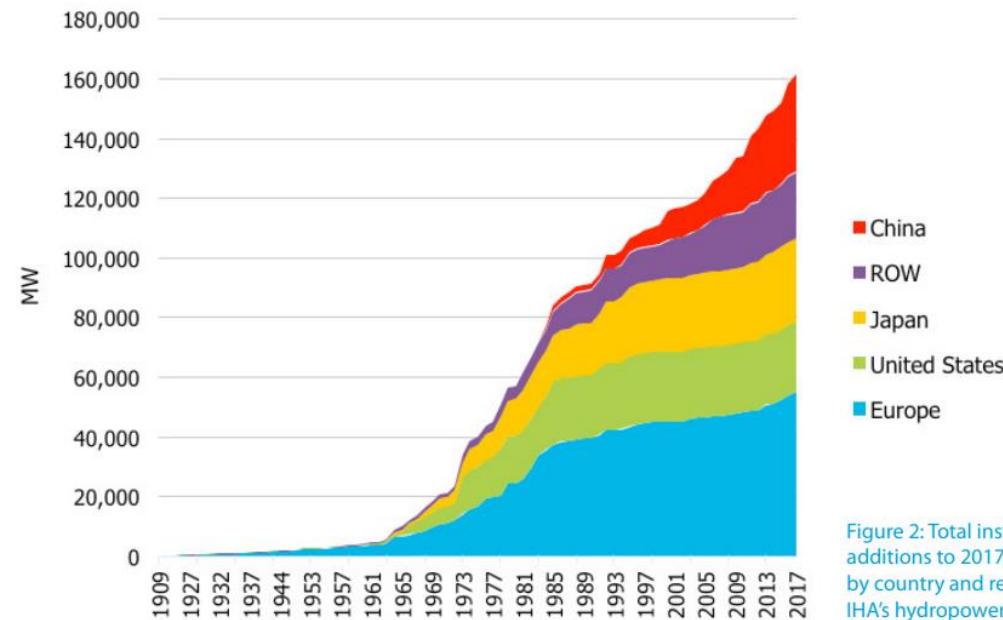


Figure 2: Total installed capacity additions to 2017 broken down by country and region. Source: IHA's hydropower database.

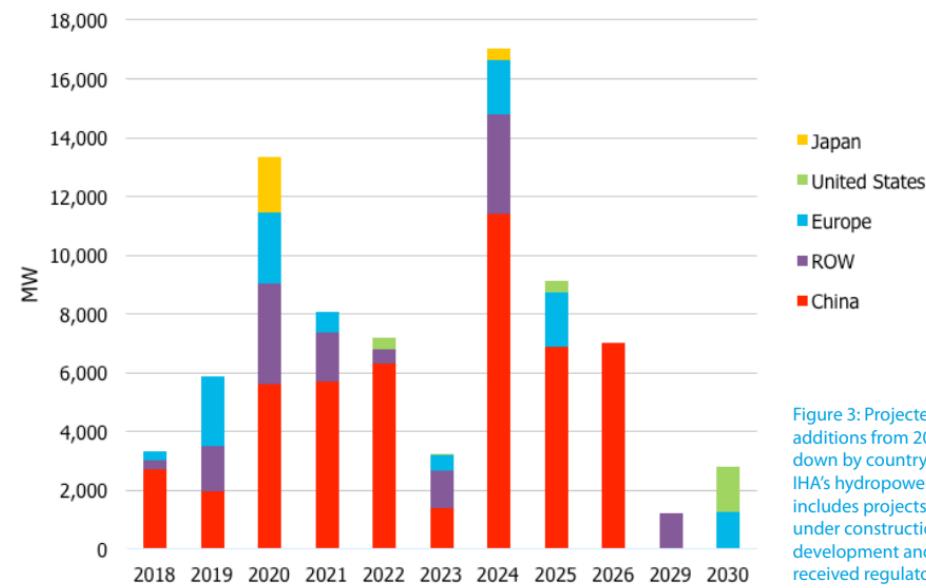


Figure 3: Projected installed capacity additions from 2018 to 2030 broken down by country and region. Source: IHA's hydropower database and includes projects which are either under construction or planned for development and have sought or received regulatory approval.

Sumário

- ▶ Conceitos
- ▶ **Experiência internacional**
- ▶ Projeto de P&D ANEEL
- ▶ Conclusões

Experiência da EDF com UHR na França

SIX MAJOR PUMPED
STORAGE PLANTS IN
FRANCE

-BUILT, OWNED AND
OPERATED-



	Montézic	Revin	G. Maison	S.Bissorte	La Coche	Le Cheylas	Total
Operating year	1982	1976	1985	1987	1977	1979	
Capacity in turbine	910 MW	720 MW	1790 MW	730 MW	330 MW	460 MW	4940 MW
Capacity in pump	870 MW	720 MW	1160 MW	630 MW	310 MW	480 MW	4170 MW
Number of pumps	4	4	8	4	2	2	
Time constant	40 h	5 h	30 h	5 h	3 h	6 h	
Productible	pure PSPP	pure PSPP	216 GWh	250 GWh	426 GWh	670 GWh	

Experiência da EDF com UHR na França

► OUR APPROACH

EDF has designed, owns, and operates 12 pumped storage power stations (PSPS), with a combined capacity of 4,300 MW.

EDF has also been involved in more than 26,700 MW of PSPS studies worldwide, of which more than 10,000 MW are in operation.

Anticipating changes in the markets, EDF has contributed significantly to the development of PSPS in the world, in particular by:

- + developing specific economic and financial analysis tools, including evaluation of the dynamic benefits to the electrical system,
- + investing in design, project management, contractual and operation skills,
- + installing in 1982 the world's first prototype adjustable double-stage pump-turbine (38 MW), in Le Pouget-Truel, France, followed by another, with a capacity of 4x270 MW, in Yang Yang, South Korea,
- + replacing fixed speed reversible units by variable speed units in Le Cheylas,
- + adapting maintenance of the installation to the new wave of operation,
- + commissioning in 1976 the world's first prototype of high head multi-stage pump-turbines in La coche, France (four 5-stage reversible units, 80MW each)



EDF can provide the following services such as :

- + Project management,
- + Management of the tendering process (commercial & technical) within respect of standards of the main international lenders and donors,
- + Site selection,
- + Planning and inventory,
- + Economic and financial analyses,
- + Evaluation and expertise for decision-makers,
- + Design and construction supervision of new facilities,
- + Works' supervision
- + Testing and commissioning,
- + Renovation & uprating of existing facilities,
- + Autorisation and modernization of the operation of the plants,
- + Maintenance of facilities and equipment and
- + Improvement of their performance and,
- + Training and transfer of know-how.



Grand Molain Power Plant (France)

Sumário

- ▶ Conceitos
- ▶ Experiência internacional
- ▶ **Projeto de P&D ANEEL**
 - Revisão da literatura
 - Abordagem Bottom-up
 - Abordagem Top-down
- ▶ Conclusões

Proposta de P&D

- ▶ A PSR está iniciando um projeto de P&D de 24 meses em parceria com a EDF UTE Norte Fluminense, CTG Brasil, Brookfield e Light para estudar UHR em escala nacional.
- ▶ UHR e outros recursos (hidrelétricas tradicionais, eólicas ou solares fotovoltaicas, usinas a biomassa, etc.) poderiam contribuir para baixíssimas emissões de gases de efeito estufa do SIN.
- ▶ As UHR seriam distribuídas em diferentes partes do SIN e com as redes elétricas dariam suporte à operação do SIN (estabilidade, confiabilidade, resiliência e flexibilidade).



Brookfield



Análise da literatura mostra oportunidades de inovações

- ▶ Estudos utilizam certo tipos de reservatórios (restrição de topologia).
- ▶ Hipótese sobre a geometria do reservatório (ex. profundidade ou área constantes)
- ▶ Estimativas simplificadas sobre capacidade de armazenamento e potência.
- ▶ Cálculos simplificados para o dimensionamento e orçamento das estruturas hidráulicas e equipamentos eletromecânicos.
- ▶ Análise de viabilidade simplificada, por relação Benefício/Custo com e sem projeto
- ▶ Geologia usualmente ignorada.
- ▶ Abordagem socioambiental simplificada.
- ▶ Infraestrutura existente ignorada na seleção de projetos.

Publicações recentes

- Trabalho da Universidade Nacional da Austrália identificou 530 mil locais para instalação de UHR em sistemas fechados com base na topografia (o potencial real é certamente bem menor).

<https://www.anu.edu.au/news/all-news/anu-finds-530000-potential-pumped-hydro-sites-worldwide>

- The world's water battery: Pumped hydropower storage and the clean energy transition* (IHA, 2019).

<https://www.hydropower.org/publications/the-world-s-water-battery-pumped-hydropower-storage-and-the-clean-energy-transition>

- Diversas outras instituições vem publicando estudos sobre UHR, como NREL/DOE, IRENA e a NHA.
- Artigos científicos: *Global resource potential of seasonal pumped hydropower storage for energy and water storage* (Hunt et al, Nature Communications)

The world's water battery:
Pumped hydropower storage
and the clean energy transition

IHA working paper
December 2018

Key messages and findings

- Pumped hydropower storage (PHS), the world's 'water battery' accounts for over 94 per cent of installed global electricity storage capacity and retains several advantages such as lifetime cost, levels of sustainability and reliability. At 130,000 megawatts (MW) of pumped storage capacity supports power generation, transmission system costs and sector emissions.
- A bottom-up analysis of energy stored in the world's pumped storage reservoirs using IHA's state-of-the-art methodology indicates storage to be up to 9,000 gigawatt hours (GWh).
- PHS operations and technology are adapting to the changing power system requirements incurred by variable renewable resources (VRE). Variable-speed and terrain PHS systems allow for faster and wider operating ranges, providing additional flexibility at all timescales, enabling higher penetrations of VRE at lower system costs.
- As traditional revenue streams become more unpredictable and markets are slow to appropriately reward investment, it is critical to secure new sources of reliable and long term revenue in order to attract investment, particularly in liberalised energy markets.
- Driven by the increasing penetration of wind and solar, reduced dispatchable generation and the need for system flexibility, an additional 78,000 MW or an increase of nearly 50 per cent of global pumped storage needs to be commissioned by 2030. This could further increase with the right policy settings and market rules.

International Hydropower Association
Chancery House, St Nicholas Way,
Southgate, London NW11 0UB, United Kingdom
T: +44 20 8652 5290
F: +44 20 8643 5600
E: iha@hydropower.org
hydropower.org

2018 Pumped Storage Report

NHA
National Hydropower Association

ANU finds 530,000 potential pumped-hydro sites worldwide

1 APRIL 2019

A snapshot of the world map with prospective short lists of new pumped hydro energy storage (PHES) sites can be downloaded by clicking on the image icon below. Credit: Matthew Stucke and ANU colleagues, ANU

ANU has completed a global audit of 530,000 potential sites for pumped-hydro energy storage that can be used to support low-carbon power systems with 100 per cent renewable electricity grids.

The zero-emission grids would mainly rely on solar photovoltaic (PV) and wind technology, with pumped-hydro storage being paired with high voltage transmission between regions. Solar PV and wind constitute the largest and second largest respectively annual global net capacity additions.

Only a small fraction of the 530,000 potential sites we've identified would be needed to support a 100 per cent renewable global electricity system. We identified so many potential sites that

For journalists

MEDIA TEAM CONTACT
Will Wright
+61 2 6125 7879

ELECTRICITY STORAGE AND RENEWABLES: COSTS AND MARKETS TO 2030

IRENA

Trabalhos técnicos no Brasil

► P&D GESEL (2019)

- Aspectos econômicos das UHR
- Aspectos regulatórios
- Estudos de casos selecionados

► NT EPE_DEE-NT-006-2019-R0 (inventário de UHR)

- Motivação: PDE 2027 → necessidade de 13 GW de potência a partir de 2023 para atender a ponta e mitigar a variabilidade das fontes renováveis
- Uso de modelo digital de terreno
- Filtros (ex. $H > H_{min}$ e $L/H < 10$)
- Circuito fechado (curso d'água e reservatório isolado)
- Aplicação para o Estado do Rio de Janeiro
- Algoritmos de busca em ArcGIS (GeoUHR)



GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MME/SPE

Ministério de Minas e Energia
Ministro
Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretaria Executiva
Marielle Pátmia Dacalá Pereira

Secretário de Planejamento e
Desenvolvimento Energético
Reiwe Barros dos Santos

Secretário de Energia Elétrica
Ricardo da Abreu Sampayo Cyriño

Secretário de Petróleo, Gás Natural e
Bicoombustíveis
Hélio Félix Carvalho Bezerra

Secretário de Geologia, Mineração e
Transformação Mineral
Alexandre Vidal de Oliveira

ESTUDOS DE
INVENTÁRIO DE USINAS
HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS
(UHR)

METODOLOGIA E RESULTADOS
PRELIMINARES PARA O ESTADO DO
RIO DE JANEIRO



Energia pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia,
estabelecida nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de maio de 2004,
a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e
pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor
energético, bem como energia elétrica, petróleo e gás natural e
seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e
eficiência energética, dentre outras.

Coordenação Geral
Antônio Gonçalves Guerreiro

Coordenação Executiva
Bernardo Poly de Aguiar

Equipe Técnica
Superintendência de Projetos de Geração - SEG
André Nakash
Felipe Monteiro Gonçalves
Maria Regina Toledo Capelli

Superintendência de Meio Ambiente - SMA
Ana Dantas Mendes de Mattos
Guilherme de Paula Salgado
Hernani de Moraes Vieira
Gustavo Fernando Schmidt

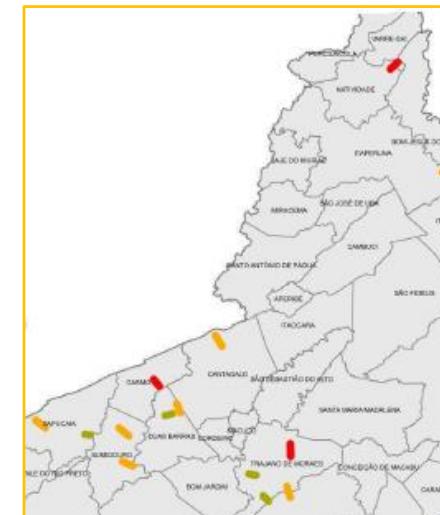
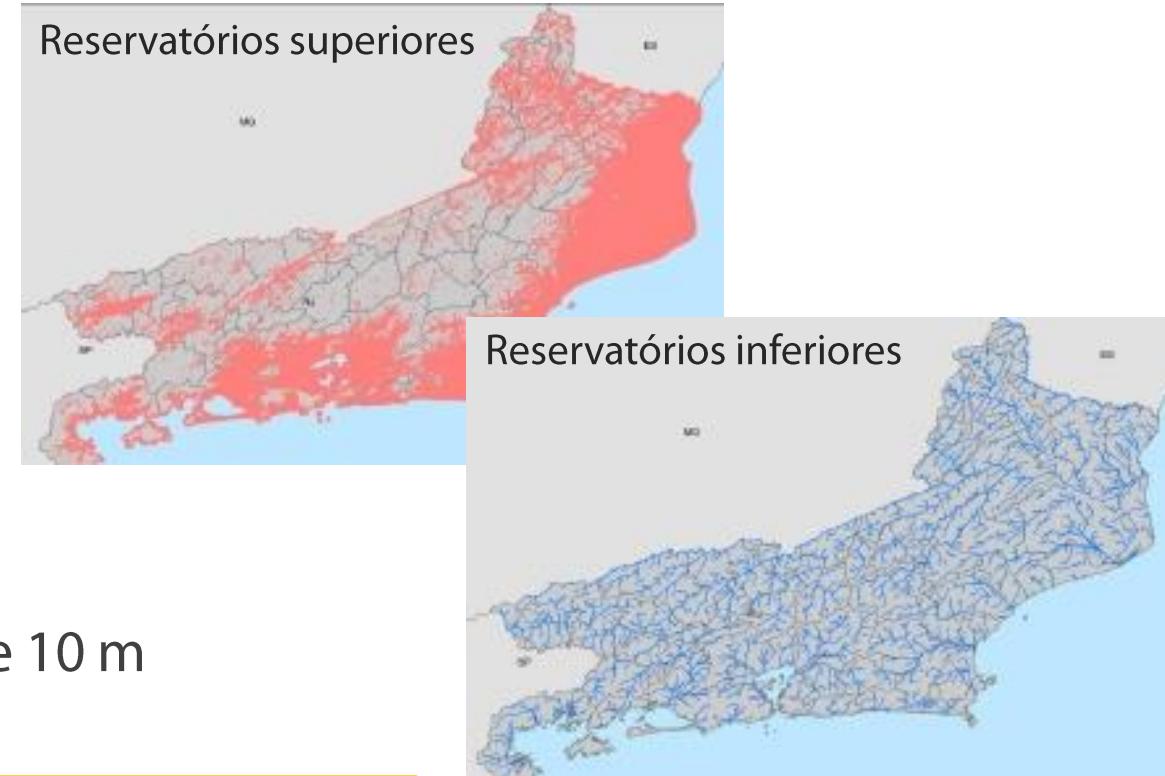
Presidente
Thiago Vasconcelos Barbal Pereira
Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e
Ambientais
Thiago Vasconcelos Barbal Pereira
Diretor de Estudos de Energia Elétrica
Antônio Gonçalves Guerreiro
Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e
Bicoombustíveis
Joel Mauro Ferreira Coelho
Diretor de Gestão Corporativa
Alvaro Henrique Matos Pereira

URL: <http://www.epe.gov.br>
Sede
Esplanada dos Ministérios Bloco "U" - Ministério de Minas e
Energia - Sala 744 - 7º andar
70865-900 - Brasília - DF
Escritório Central
Av. Rio Branco, 01 – 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro - RJ

Nº. EPE-DEE-NT-006/2019-r0
Data: 13 de fevereiro de 2019

GeoUHR (EPE)

- ▶ Base cartográfica: IBGE, 1:25.000
- ▶ Critérios
 - Queda (H) >300m e relação L/H <10
 - Armazenamento: 3h de capacidade máxima
 - Deplecionamento máximo dos reservatórios de 10 m
- ▶ Resultados
 - Locais: 15
 - Capacidade instalada: 21 GW
 - Armazenamento: 63 GWh
 - Volume útil: 71 hm³



Artigo Kelman & Harrison

Integrating Renewables with Pumped Hydro Storage in Brazil: a Case Study

Rafael Kelman¹ and David L. Harrison²

June 4th, 2019

Abstract

The share of Variable Renewable Electricity (VRE) is expected to increase in the Brazilian power grid in the next few years due to favorable conditions which include economic performance and resource availability. Wind and solar photovoltaic projects will likely lead new capacity investments. While existing hydropower can support this growth, in the long run, difficulties for the development of new hydro plants will make it harder for the power system to integrate VRE. The standard option is to build new open cycle gas turbine plants, which provide capacity to supply peak demand and reserves, but at the expense of increasing the emission of greenhouse gases. An alternative is to develop another flexible resource: Pump Hydro Storage (PHS). We advocate the following process to examine this alternative: (1) the use of specialized geoprocessing algorithms that operate on a digital terrain model to screen for most promising sites for the construction of PHS; (2) the use of an engineering module to design PHS candidate projects in the selected sites and calculate their costs; (3) the use of an Integrated Resource Planning optimization model a study to evaluate the set of candidates that are selected. In addition, at the project-specific level, hybrid PHS + solar PV projects can be optimized and then integrated into the grid as a “system of systems” to improve grid stability, reliability, robustness and resiliency.

1. Introduction

It is an interesting time, globally, in the energy industry, as the world faces the dual challenge of increasing the availability of electrical energy while reaching toward a zero-carbon future – and to do so in a way that minimizes any negative impacts on people and environment. The importance

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02147740/document>

Sumário

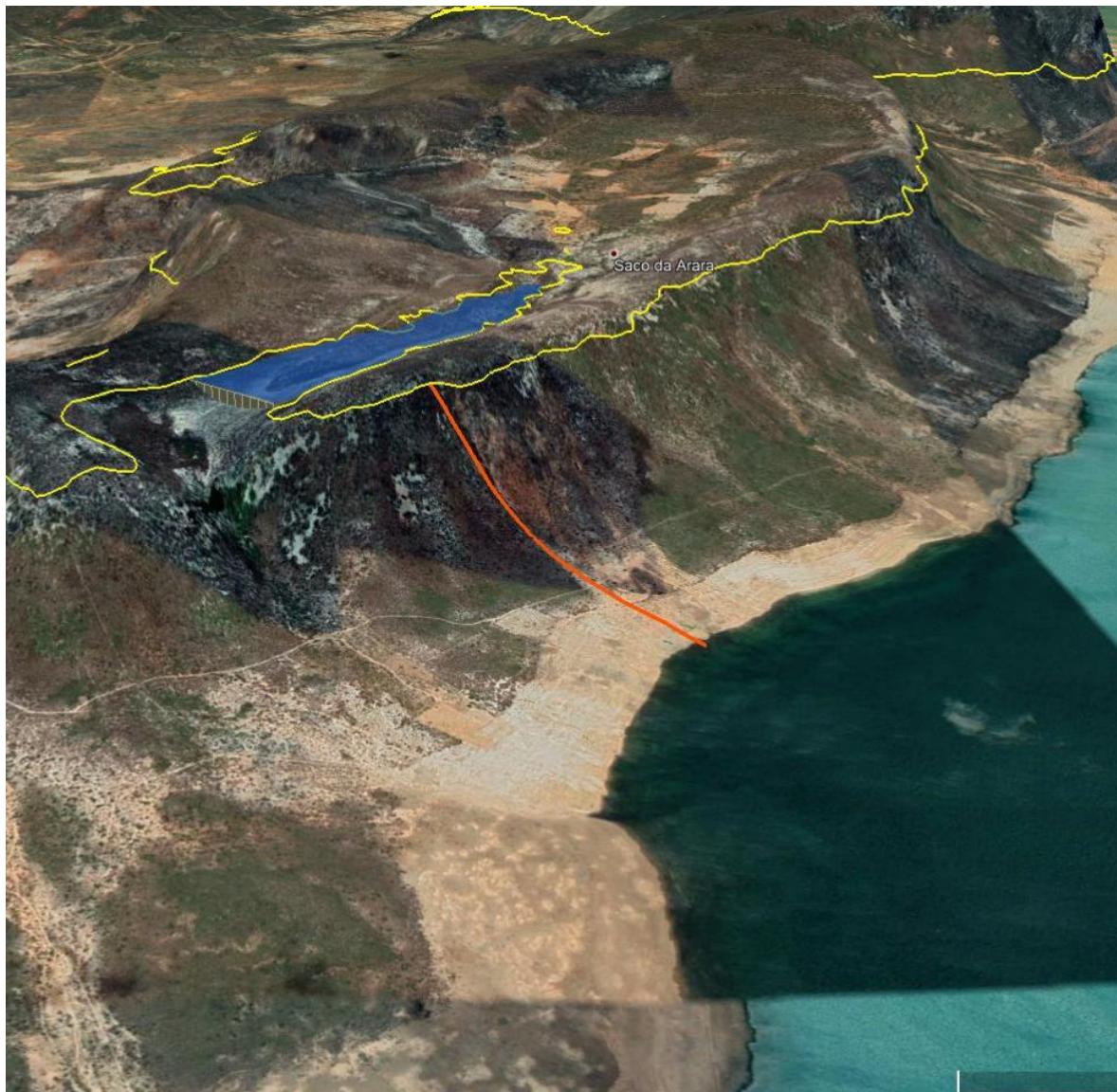
- ▶ Conceitos
- ▶ Experiência internacional
- ▶ **Projeto de P&D ANEEL**
 - Revisão da literatura
 - **Abordagem Bottom-up**
 - Abordagem Top-down
- ▶ Conclusões

Abordagem geral do P&D

A. ***Bottom up:*** investiga locais promissores com algoritmos especializados.

1. Algoritmo de geoprocessamento para seleção inicial de áreas a partir de um Modelo Digital de Terreno e filtros (ex. queda mínima, distância da rede, aspectos socioambientais etc.)
2. Modelo de otimização baseado em programação inteira mista (MIP) para selecionar UHR a partir de fórmulas de engenharia e estimativa de custo das barragens, bombas/geradores, escavação e outros.
3. Um módulo de engenharia detalhado que projeta as UHR pré-selecionadas, refinando estimativas orçamentárias e soluções de engenharia.

Reservatório superior junto de Sobradinho



- ▶ Reservatório superior na cota 540m
- ▶ Queda bruta de ~145m
- ▶ Uma barragem com $0,20 \text{ Mm}^3$
- ▶ Volume armazenado: $1,29 \text{ Mm}^3$
- ▶ Área alagada: 35 hectares
- ▶ Tempo de operação de 500 MW: 0,8 h

Reservatório superior junto de Sobradinho



- ▶ Reservatório superior na cota 560m
- ▶ Queda bruta de ~165m
- ▶ Uma barragem com $0,76 \text{ Mm}^3$
- ▶ Volume armazenado: $12,68 \text{ Mm}^3$
- ▶ Área alagada: 179 hectares
- ▶ Tempo de operação de 500 MW: 8h

Reservatório superior junto de Sobradinho



- ▶ Reservatório superior na cota 580m
- ▶ Queda bruta de ~ 185m
- ▶ Uma barragem com $3,25 \text{ Mm}^3$
- ▶ Volume armazenado: $33,73 \text{ Mm}^3$
- ▶ Área alagada: 253 hectares
- ▶ Tempo de operação de 500 MW: 21h

Reservatório superior junto de Sobradinho



- ▶ Reservatório superior na cota 600m
- ▶ Queda bruta de ~ 205m
- ▶ Três barragens com $12,10 \text{ Mm}^3$
- ▶ Volume armazenado: $88,56 \text{ Mm}^3$
- ▶ Área alagada: 303 hectares
- ▶ Tempo de operação de 500 MW: 56h

Reservatório superior às margens de Sobradinho: resumo

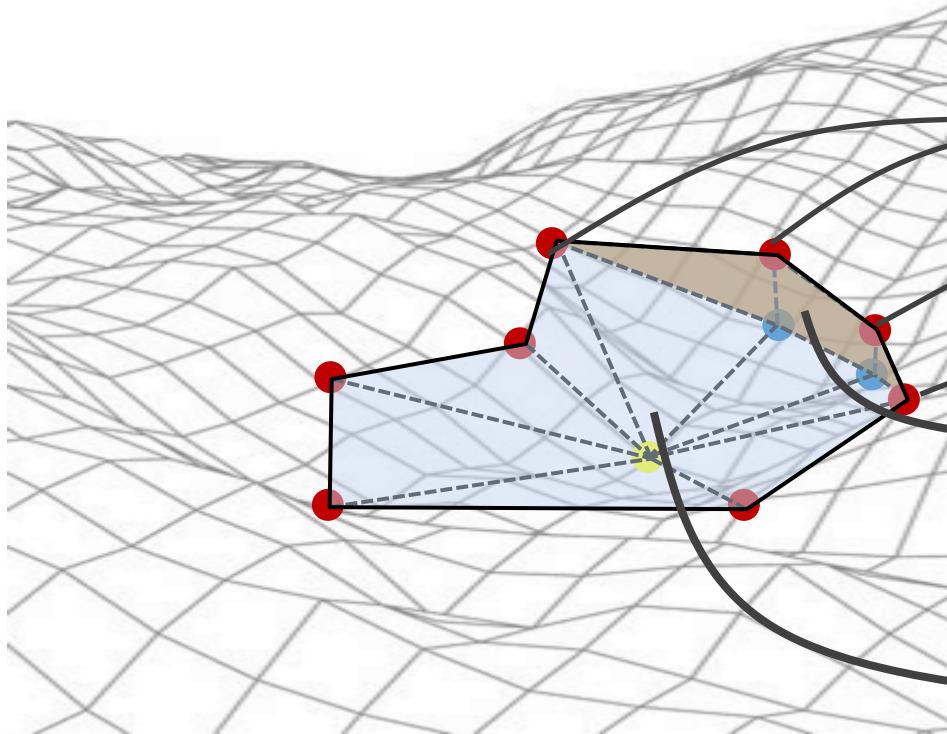
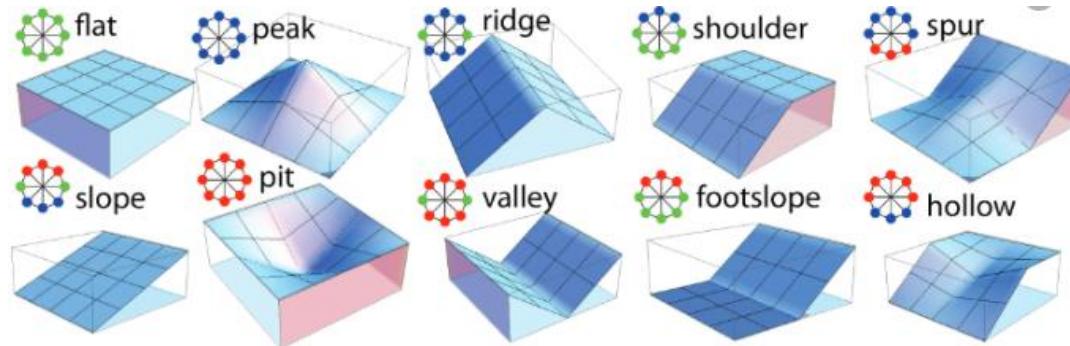
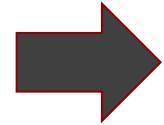
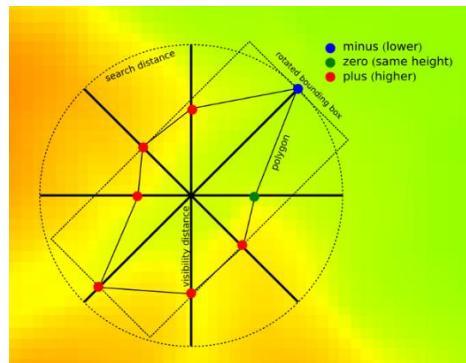
Cota (m)	Queda (m)	Volume (Mm ³)	Área (ha)	Profundidade (m)	Diques (Mm ³)	Operação (horas)
540	145	1.29	353	3.67	0.20	0.8
560	165	12.68	179	7.10	0.76	8.0
580	185	33.73	253	13.33	3.25	21.3
600	205	88.56	303	29.22	12.10	55.9

- ▶ Num local existem muitas alternativas para UHR. Entretanto, existem muitos locais!
- ▶ Quais escolher? Torna-se importante uma busca sistemática de locais “promissores”.

Busca automática

- ▶ Pesquisar modelo de terreno digital para áreas promissoras (antes da engenharia)
- ▶ Filtros podem ser aplicados ao modelo digital de terreno e camadas de informação para reduzir a área a ser avaliada, assim como o esforço computacional.
- ▶ Filtros comuns
 - Queda mínima → A capacidade instalada é muito dependente da queda (200-900m). Na maioria dos casos, quanto maior a queda menor o custo da UHR.
 - Relação $L/H <$ valor, onde L é a distância entre os reservatórios e H é a queda
 - Distância máxima da rede elétrica
 - Áreas ambientalmente protegidas ou socialmente sensíveis
 - Disponibilidade de água nas proximidades

Algorítmos de busca: geomorphons

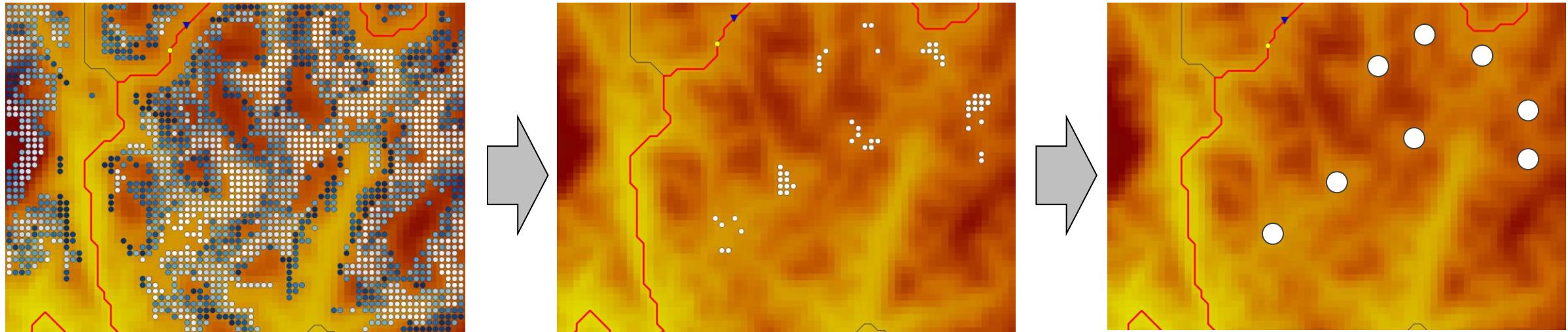


Busca por cotas elevadas em cada direção

Estimativa do volume de diques

Estimativa de armazenamento

Algoritmos de busca: geomorphons



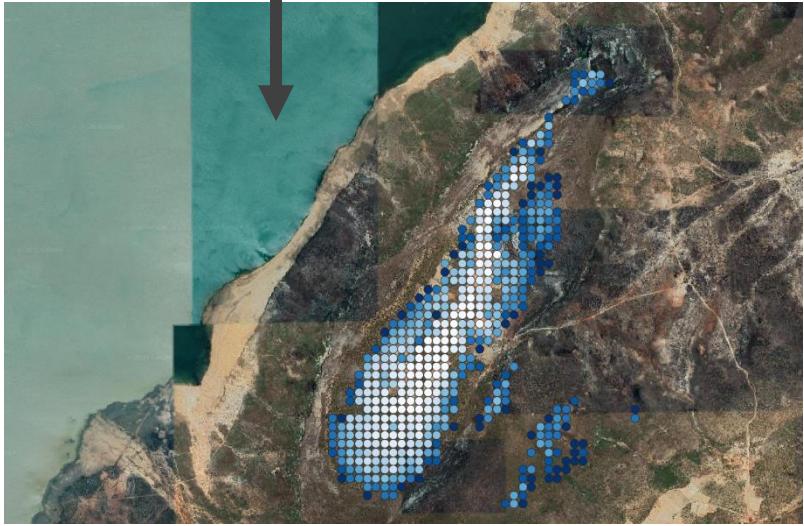
1. Estimativa simples do custo para as células

2. Seleção de locais mais promissores

3. Agrupamento de sites (clusters)

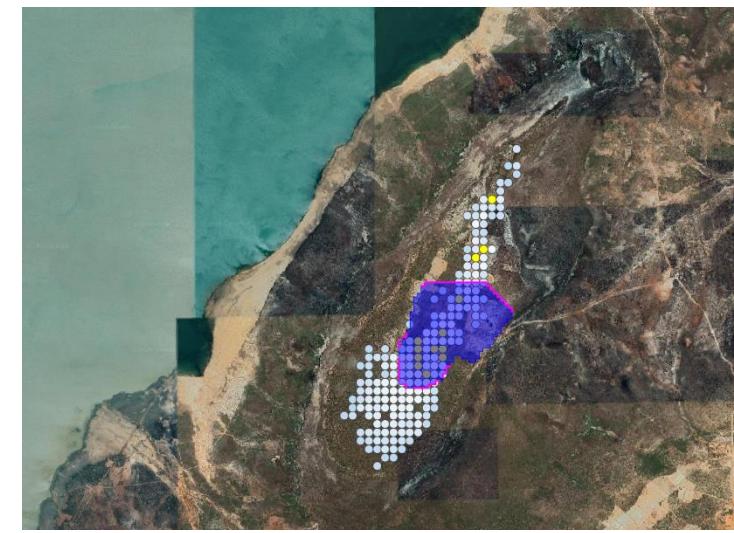
Aplicação

Sobradinho (reservatório inferior)



Pontos amarelos = locais interessantes pelo algoritmo Geomorphon

Exemplo: reservatórios com 5 milhões de m³ e desnível de ~200m até Sobradinho



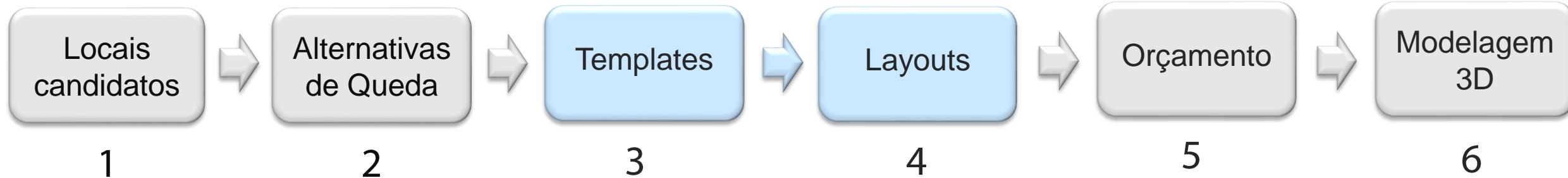
Otimização de sites

- ▶ Os sites selecionados da etapa anterior agora são avaliados em maior detalhe.
- ▶ Formulação de um modelo de programação de inteira mista (MIP) para otimizar projetos em sites previamente selecionados pelo algoritmo Geomorphon.
- ▶ A função objetiva inclui o custo de barragem, equipamentos eletromecânicos e transporte de água (túnel) entre os reservatórios.
- ▶ Requisitos mínimos de armazenamento são informados, bem como o Modelo Digital de Terreno Digital.
- ▶ Complexidade do problema relacionada à resolução de DTM (número de células avaliadas). Abordagem da solução: resolver com resolução menor, reduzir área, aumentar a resolução, resolver novamente...
- ▶ Os melhores sites são usados em um módulo de engenharia completo e detalhado (próximo passo do procedimento)

Detalhamento de custos de engenharia

- ▶ O HERA atualmente simula projetos de usinas hidrelétricas convencionais, calcula os custos relacionados à construção, equipamentos e custos relacionados aos impactos do projeto, como reassentamento populacional, remoção de estradas, aquisição de terrenos devido a áreas alagadas. Mais sobre <https://www.psr-inc.com/hera>
- ▶ O HERA será expandido com a inclusão de um módulo específico para UHR.
 - Ampliação do Manual de Inventário
 - Inclusão de estruturas e equipamentos específicos
 - Inclusão de modelos de arranjo característicos
 - Análise dos aspectos geológico-geotécnicos e socioambientais

Detalhamento de custos de engenharia



1

2

3

4

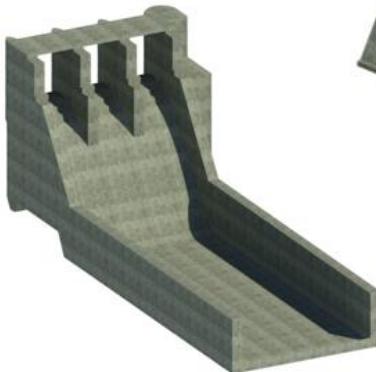
5

6

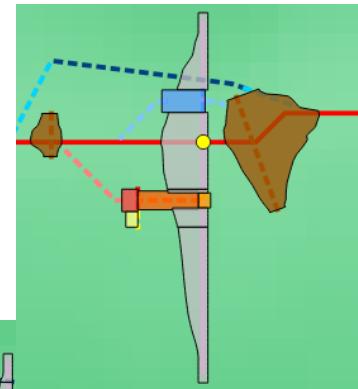
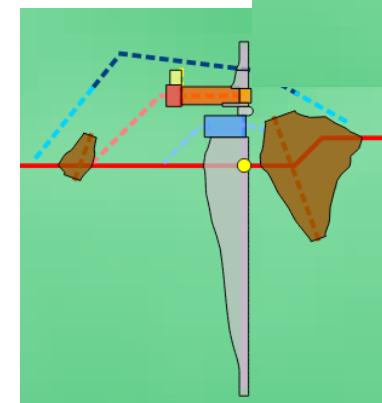
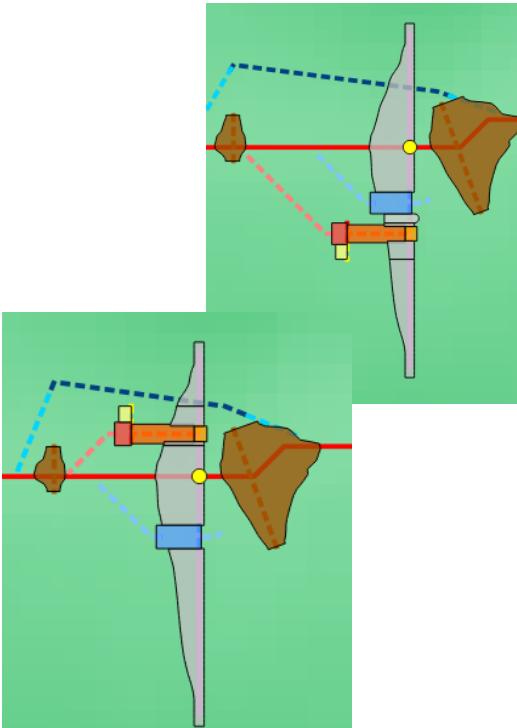
Tomada d'água para casa de força com Francis vertical



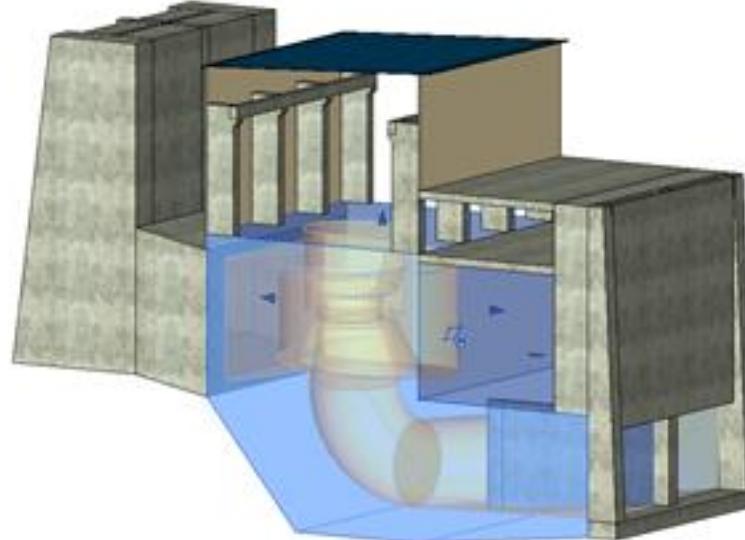
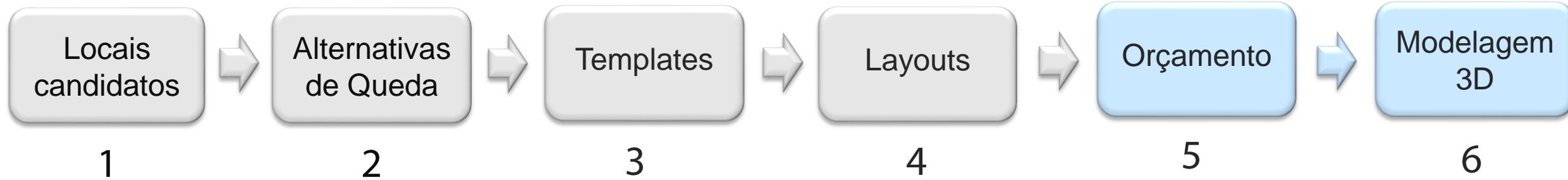
Barragem de concreto



Vertedouro com bacia de dissipação



Detalhamento de custos de engenharia

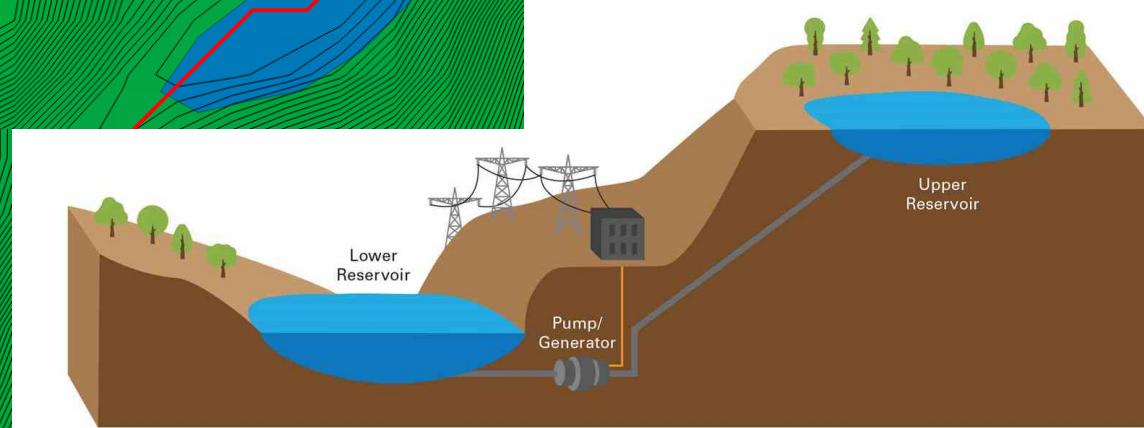
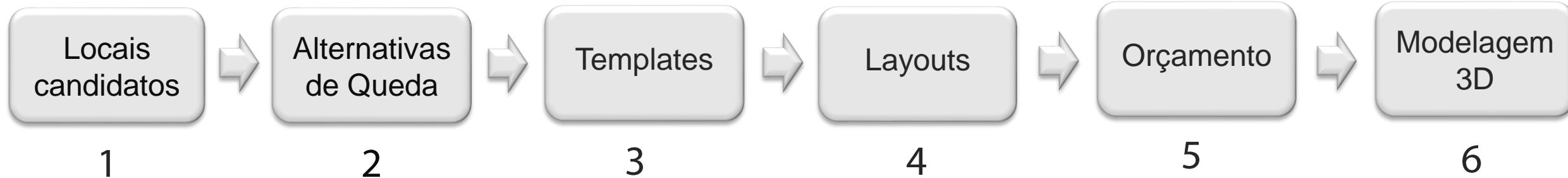


TURBINES E GENERATORS

Fixed wheel gates	un	2	84.000	48,146.40
Crane	un			0.00
Turbines	un	2	7.180.000	14.360.00
Generators	un	2	12.580.000	25.160.00
Other embedded parts	ql	1	434.000	434.00



Expansão do HERA para incluir UHR

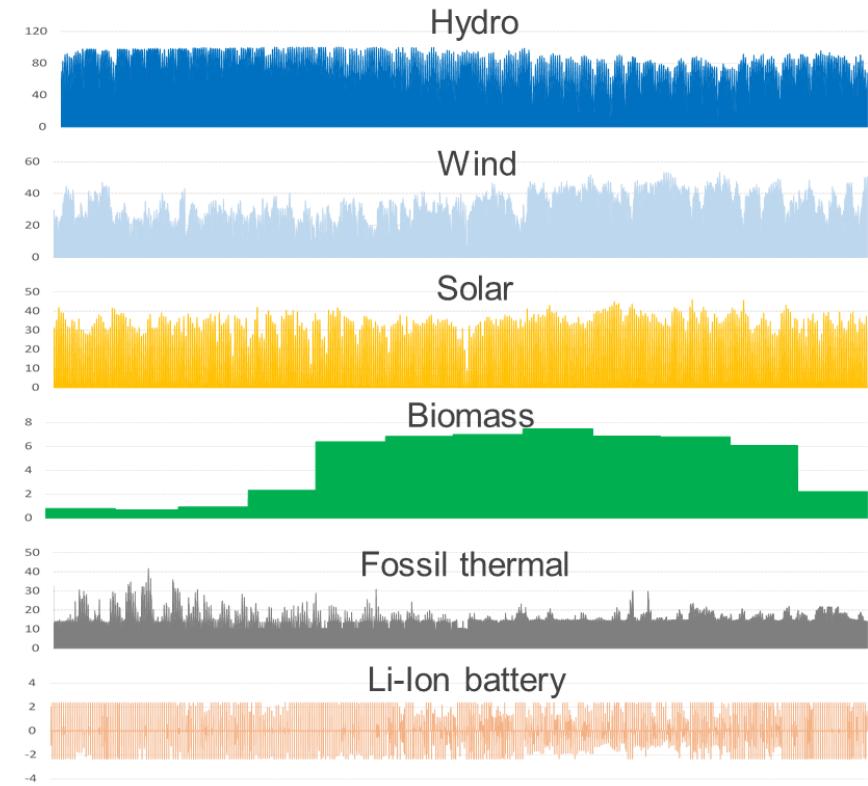


Sumário

- ▶ Conceitos
- ▶ Experiência internacional
- ▶ **Projeto de P&D ANEEL**
 - Revisão da literatura
 - Abordagem Bottom-up
 - **Abordagem Top-down**
- ▶ Conclusões

Planejamento integrado

- **Otimização do portfólio:** qual combinação de tecnologias fornece os requisitos do SIN (energia, demanda máxima, reservas, etc.) para período de planejamento de forma a minimizar o valor presente dos custos de investimento e operação?

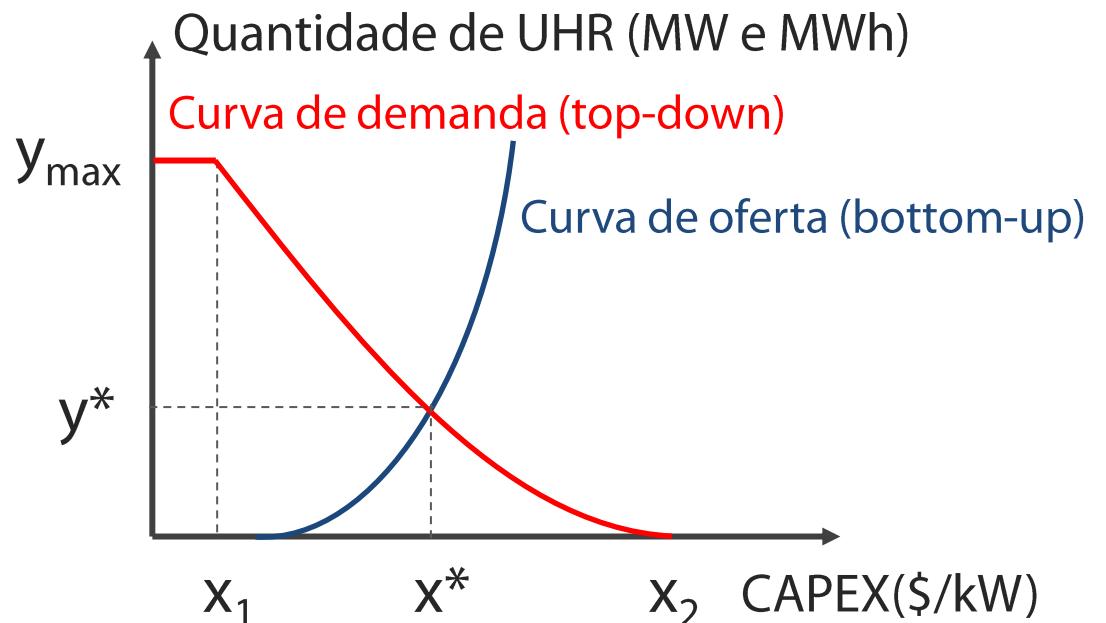


Integração de renováveis

- ▶ As fontes renováveis precisam ser avaliadas conjuntamente (“efeito portfólio”) no SIN
 - Energia eólica aumenta durante o período seco (baixa hidrologia).
 - Cogeração com bagaço de cana-de-açúcar durante a colheita (baixa hidrologia).
 - Energia eólica maior a noite, quando a solar não produz.
 - Energia hidrelétrica e solar tem correlações levemente negativas.
 - Hidros do Norte tem baixa correlação com Sul. Hidros do Sudeste tem alta correlação com Nordeste.
- ▶ A otimização das UHR precisa ser considerada neste contexto de inserção de renováveis
- ▶ A PSR desenvolveu o Time Series Lab (TSL) que:
 - Identifica áreas de promissoras para as fontes renováveis
 - Gera cenários multivariados de produção combinando modelos hidrológicos, redes bayesianas e métodos estatísticos para produção horária das fontes.

Top down approach: Integrated Resource Planning

- ▶ O modelo OPTGEN* avalia a competitividade de candidatos de UHR genéricos (tipologia e custos informados por sistema) no planejamento da expansão do SIN
- ▶ Metodologia
 - Projetos genéricos para diferentes aplicações. Repetição de rodadas variando os custos unitários de investimento das UHR.
- ▶ O resultado é uma curva de demanda.
- ▶ Quantidade de UHR selecionada:
 - Máxima y_{\max} para $\text{CAPEX} \leq x_1$
 - Variável entre $x_1 \leq \text{CAPEX} \leq x_2$
 - Zero para $\text{CAPEX} (\$/\text{kW}) \geq x_2$



* www.psr-inc.com/softwares-en/?current=p4040

Sumário

- ▶ Conceitos
- ▶ Experiência internacional
- ▶ **Projeto de P&D ANEEL**
 - Revisão da literatura
 - Abordagem Bottom-up
 - Abordagem Top-down
- ▶ **Conclusões**

Conclusões

Neste P&D propomos a seguinte abordagem:

1. Encontre limites econômicos de projetos genéricos de PHS (top-down)
 - Use o OPTGEN para encontrar curva de demanda de UHR desejáveis (armazenamento e potência).
 - A quantidade desses projetos com atributos diferentes depende da competitividade.
2. Varredura de projetos viáveis usando um DTM e outros (bottom-up).
 - Diversos locais possíveis, níveis de água e soluções de engenharia → Algoritmos especializados.
 - Estimativas de custos indicam possível viabilidade → motivação para fases seguintes.
 - A ferramenta HERA será expandida para projetar alternativas e estimar orçamentos.
3. Embora UHR possam ser competitivas considerando os benefícios ao SIN, isso não significa que as receitas serão suficientes para viabilizar os projetos, dadas as regras de mercado.
 - Como remunerar adequadamente as UHR pelos serviços prestados?
 - Nota: questão global, ainda mais considerando preços de mercado decrescentes nos mercados.

ETAPAS DO PROJETO - P&D UHR	2020						2021												2022						
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
PLANO DE TRABALHO E PESQUISA																									
Plano de trabalho detalhado	■																								
Pesquisa Bibliográfica		■																							
Critérios para identificação de locais			■																						
Aspectos regulatórios				■																					
Aspectos da operação dos reservatórios					■																				
Sistemas híbridos						■																			
Estado da Arte de UHR		■					■																		
Estruturas civis			■					■																	
Equipamentos eletromecânicos				■					■																
Gerenciamento da base de dados da pesquisa					■					■															
METODOLOGIA																									
Desenvolvimento de algoritmos							■																		
Identificação dos locais candidatos								■																	
Com reservatórios existentes									■																
Em circuitos semi-abertos										■															
Em circuitos fechados											■														
Otimização dos limites dos reservatórios											■														
Projetos de engenharia												■													
Volumes e custos													■												
Critérios Gerais													■												
Cenários regulatórios														■											
Regras de operação para os reservatórios															■										
Dimensionamento de energia e armazenamento																■									
Otimização para estudos de alternativas																	■								
Avaliação ambiental integrada																	■								
Desenvolvimento de índice ambiental																		■							
Definição de métricas																			■						
Arranjos de engenharia																			■						
Tipos de estruturas e equipamentos																				■					
Planilhas de dimensionamento																					■				
Volumes de estruturas civis																						■			
Estimativa de custos																							■		
MODELO COMPUTACIONAL																									
GIS																									
Meio Ambiente																									
Engenharia																									
Otimização																									
Manual do usuário																									
ESTUDOS DE CASO																									
Coleta de dados para estudos de caso																									
Desenvolvimento dos estudos																									
Análise de resultados																									
WORKSHOPS E RELATÓRIOS																									
Workshops com ANEEL																									
Planejamento do Projeto																									
Relatórios trimestrais																									
Relatório final																									

1 Plano de trabalho e pesquisas

1.1 Plano de Trabalho

Detalhamento das atividades e cronograma detalhado, com distribuição de responsabilidades e estabelecimento de metas.

- ▶ **1.2 Pesquisa de referências bibliográficas**
- ▶ Critérios para identificação de locais - Pesquisa dos métodos utilizados para identificar locais adequados para as usinas reversíveis, com ênfase nas técnicas (algoritmos) de busca de uma topografia favorável para os reservatórios, minimizando os custos gerais de construção e ambientais.
- ▶ Aspectos regulatórios - Práticas regulatórias no mundo, cenários já estudados para o mercado brasileiro e novas propostas, a serem consideradas nos critérios de otimização das alternativas.
- ▶ Aspectos da operação dos reservatórios - Ciclos operacionais, critérios para definição da capacidade dos reservatórios e restrições relacionadas a operação de reservatórios existentes em usinas reversíveis no mundo.
- ▶ Sistemas híbridos - Estudos atuais e experiências reais da produção de energia proveniente de fontes renováveis (parques eólicos e solares) associada a reversíveis no mundo.

1 Plano de trabalho e pesquisas

1.3 Estado da Arte de UHR

- ▶ **Estruturas civis**

Pesquisa sobre tipos de estruturas e suas funções específicas em usinas reversíveis, comparadas a hidrelétricas convencionais, e análise do ajuste necessário para conceber planilhas de dimensionamento a nível de pré-viabilidade tais como as utilizadas no Manual de Inventário de Usinas Hidrelétricas

- ▶ **Equipamentos eletromecânicos**

Pesquisa sobre tipos de equipamentos e suas especificidades, análise dos ajustes necessários para conceber planilhas de dimensionamento equivalentes às do Manual de Inventário de Usinas Hidrelétricas e busca de referências de custos.

- ▶ **Gerenciamento da base de dados da pesquisa**

Uso de ferramentas para lidar com a quantidade de informações coletadas durante essas pesquisas.

2 Desenvolvimento da metodologia

2.1 Desenvolvimento de algoritmos

a) Identificação dos locais candidatos

- ▶ Com reservatórios existentes - Encontrar a melhor localização para o reservatório superior, considerando um reservatório inferior existente a partir de parâmetros como a queda hidráulica e o volume de armazenamento necessário.
- ▶ Em circuitos semi-abertos - Encontrar a melhor localização para o reservatório superior e rios a serem utilizados como reservatório inferior a partir de parâmetros como vazão, a queda hidráulica e o volume de armazenamento necessário.
- ▶ Em circuitos fechados - Encontrar os melhores locais para construir dois reservatórios com uma boa relação entre a queda e a distância entre eles. Ambos os reservatórios devem ter uma capacidade de armazenamento de volume semelhante. O algoritmo deve considerar diferentes combinações de diferença de volume e elevação.

b) Otimização dos limites dos reservatórios –

Busca automática dos limites de um reservatório, considerando um local específico e um volume de armazenamento. Entre as muitas opções de limites para armazenar esse volume, o algoritmo deve poder escolher um que minimize o volume de material necessário para construir a(s) barragem(ns). Em outras palavras, o algoritmo tentará usar a topografia existente da melhor maneira possível, para que o custo de construção das barragens necessárias seja minimizado. O algoritmo terá acesso ao modelo digital de elevação da região em formato raster.

▶

2 Desenvolvimento da metodologia

2.1 Desenvolvimento de algoritmos

c) Projetos de engenharia

Uma vez que os reservatórios de água superior e inferior tenham seus limites definidos, um algoritmo definirá o melhor traçado para o circuito hidráulico e a localização de algumas estruturas. O objetivo principal é encontrar traçados que minimizem os custos de construção.

d) Volumes e custos

Definição de soluções para os cálculos de volumes e orçamentos.

2 Desenvolvimento da metodologia

2.2 Critérios Gerais

a) Cenários regulatórios

Com base em cenários identificados durante pesquisas bibliográficas e discussões com importantes atores do setor energético brasileiro, definição dos serviços a serem remunerados e critérios a serem utilizados na ferramenta de otimização.

b) Regras de operação para os reservatórios

Com base em pesquisas anteriores, definição de regras típicas para a operação de cada reservatório de uma usina reversível, considerando as restrições dos existentes e diferentes ciclos de operação para os novos, com o objetivo de oferecer um menu de alternativas para o planejamento do setor energético.

c) Dimensionamento de energia e armazenamento

Definição de critérios específicos para o cálculo das dimensões do reservatório para minimizar o volume morto e os quantitativos das barragens e também a capacidade instalada de cada usina, observando os aspectos regulatórios.

d) Otimização para estudos de alternativas

2 Desenvolvimento da metodologia

2.3 Avaliação ambiental integrada

a) Desenvolvimento de índice ambiental

Avaliação de trade-offs entre as vantagens das usinas reversíveis e os impactos causados por elas para definir um conjunto de índices específicos, como os já utilizados na Avaliação Integrada Ambiental e nas experiências em estudos com a TNC.

b) Definição de métricas

Seleção de métricas já utilizadas em estudos de hidrelétricas convencionais e definição de métricas específicas com base nas características e atributos das reversíveis, visando melhorias nas comparações e análises quantitativas

2 Desenvolvimento da metodologia

2.4 Arranjos de engenharia

a) Tipos de estruturas e equipamentos

Com base nas pesquisas anteriores, seleção de estruturas típicas e avaliação de diferentes layouts para o posicionamento das estruturas de um determinado modelo.

b) Planilhas de dimensionamento

Com base nas pesquisas anteriores, desenvolvimento de um conjunto de planilhas para dimensionamento de cada modelo e definição dos workflows para integração dessas planilhas.

c) Volumes de estruturas civis

Com base em experiências anteriores, ajustes no cálculo de volumes das estruturas existentes e criação de métodos específicos para as novas.

d) Estimativa de custo

Com base em pesquisas anteriores, ajuste dos métodos para definição de custos de equipamentos e, se necessário, desenvolvimento de soluções específicas para as usinas reversíveis. Inclusão da conta socioambiental no orçamento final levando em conta as especificidades das UHR.

3 Estudo de caso

3.1 Coleta de dados para estudos de caso

Coleta de informações básicas, incluindo dados topográficos, geológicos e hidrológicos nas áreas escolhidas pelos contratantes para o desenvolvimento de estudos de caso, estudos anteriores nessas áreas e seus relatórios técnicos, além de visitas de campo complementares para obter uma melhor caracterização através do mapeamento geológico em sites selecionados.

3.2 Desenvolvimento dos estudos

Simulação de estudos alternativos no sistema LIGHT no Rio e na bacia de São Francisco, no nordeste do Brasil, utilizando o modelo desenvolvido.

3.3 Análise de resultados

Avaliação dos resultados obtidos nos estudos de caso e recomendações sobre melhorias na metodologia.

4 Modelo computacional

4.1 GIS

Preparação do módulo de geoprocessamento

4.2 Meio Ambiente

Elaboração do módulo de meio ambiente – avaliação ambiental integrada

4.3 Engenharia

Elaboração do módulo de engenharia

4.4 Otimização

Elaboração do módulo de otimização

4.5 Manual do usuário

Elaboração do Manual do usuário

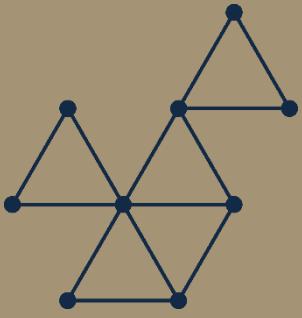
5 Workshops e relatórios

5.1 Workshops com ANEEL

Apresentações para os contratantes, ANEEL e EPE, visando acompanhamento, contribuições e recomendações.

5.2 Relatórios

- ▶ **Planejamento do Projeto**
- ▶ **Relatórios trimestrais**
- ▶ **Relatório final**



-  www.psr-inc.com
 -  psr@psr-inc.com
 -  +55 21 3906-2100
-

-  [/psrenergy](#)
-  [@psrenergy](#)
-  [@psrenergy](#)

Obrigado.

