



Gptech - Gestão e Pesquisas Tecnológicas

Projeto de P&D:
**Viabilidade da Introdução de Usinas Hidrelétricas Reversíveis
no Sistema Interligado Nacional**

Apresentação de Sergio Valdir Bajay em 12 de agosto de 2019 no auditório do ONS

Sumário



- 1. UHRs como forma de armazenamento indireto de energia elétrica**
- 2. Componentes de uma UHR**
- 3. Formas de operação de UHRs**
- 4. Exemplos de UHRs no mundo**
- 5. Projetos de UHRs no Brasil**
- 6. Etapas, cronograma e divisão de trabalho entre as equipes do projeto**

Capacidade instalada, em GW, por tipo de armazenamento

	Electro-mechanical	Electro-chemical	Thermal Storage	Pumped hydro storage	Grand Total
China		0.1	0.1	32.0	32.1
Japan		0.3		28.3	28.5
United States	0.2	0.7	0.8	22.6	24.2
Spain	0.0	0.0	1.1	8.0	9.1
Germany	0.9	0.1	0.0	6.5	7.6
Italy		0.1	0.0	7.1	7.1
India		0.0	0.2	6.8	7.0
Switzerland	0.0	0.0		6.4	6.4
France	0.0	0.0	0.0	5.8	5.8
Republic of Korea		0.4		4.7	5.1
Grand Total	1.1	1.6	2.3	128.1	133.1

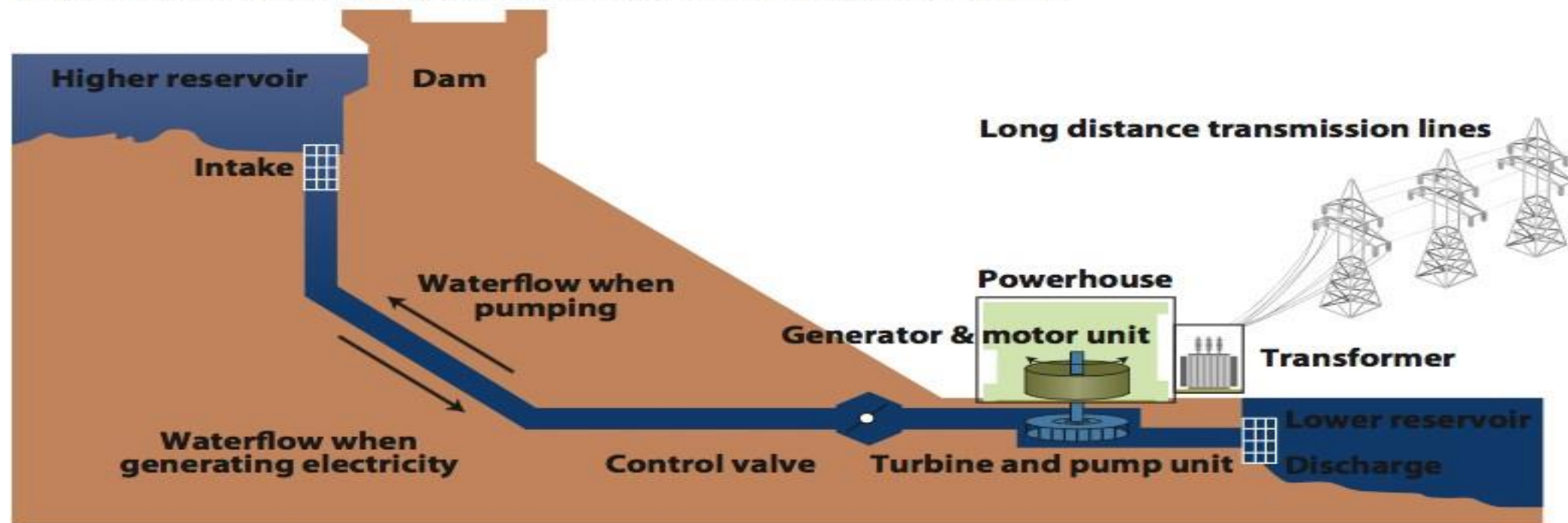
Fonte: DOE, 2017

Obs1. Verifica-se, na tabela acima, que as usinas hidrelétricas reversíveis respondem por 96,2% do total de armazenamento de energia elétrica em nível mundial.

Obs2. Com base nos estudos de HEDAIDI Engenharia (2014), o potencial técnico de armazenamento no Brasil via usinas reversíveis é de aproximadamente 409.000 GW-mes

Esquema típico

Figure 15 : Schematic of a typical conventional pumped hydro storage system



Source: Luo et al., 2015.

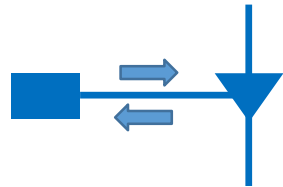
Obs1. O esquema típico admite muitas variações quanto ao: aproveitamento de lagos já existentes; estruturas na forma de túneis ou condutos forçados; número e tipos de máquinas turbo-bomba, dentre outras opções. Estas características devem ser otimizadas visando competitividade econômica e sustentabilidade ambiental

Obs2. O modo tradicional (bombear de madrugada e turbinar na ponta) vem mudando completamente na presença de geração Intermitente. Como exemplo, a Usina de Goldisthal na Alemanha opera com mais de 100 ciclos de alternância por dia

UHR - Diferentes arranjos

Diária e semanal

Ciclo aberto

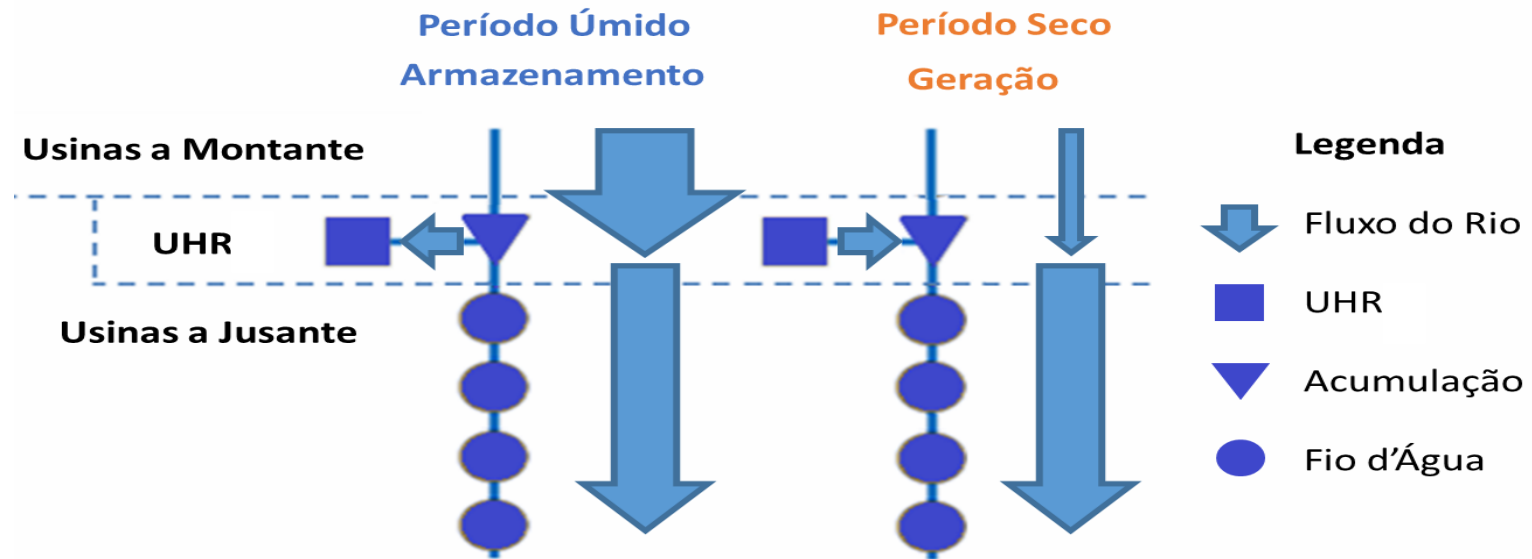


Ciclo fechado



Mensal, sazonal e pluri-anual

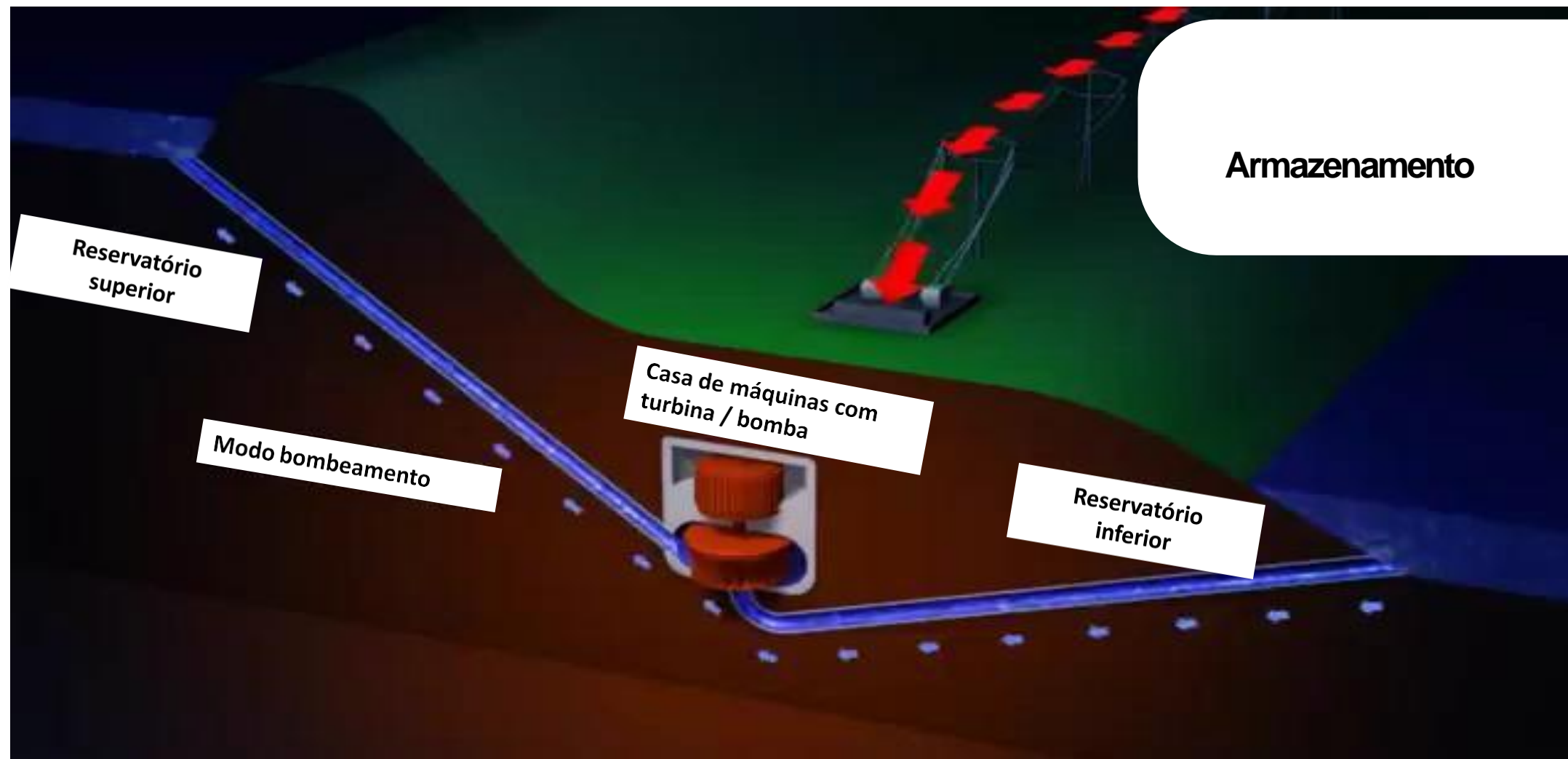
UHR combinada com cascata



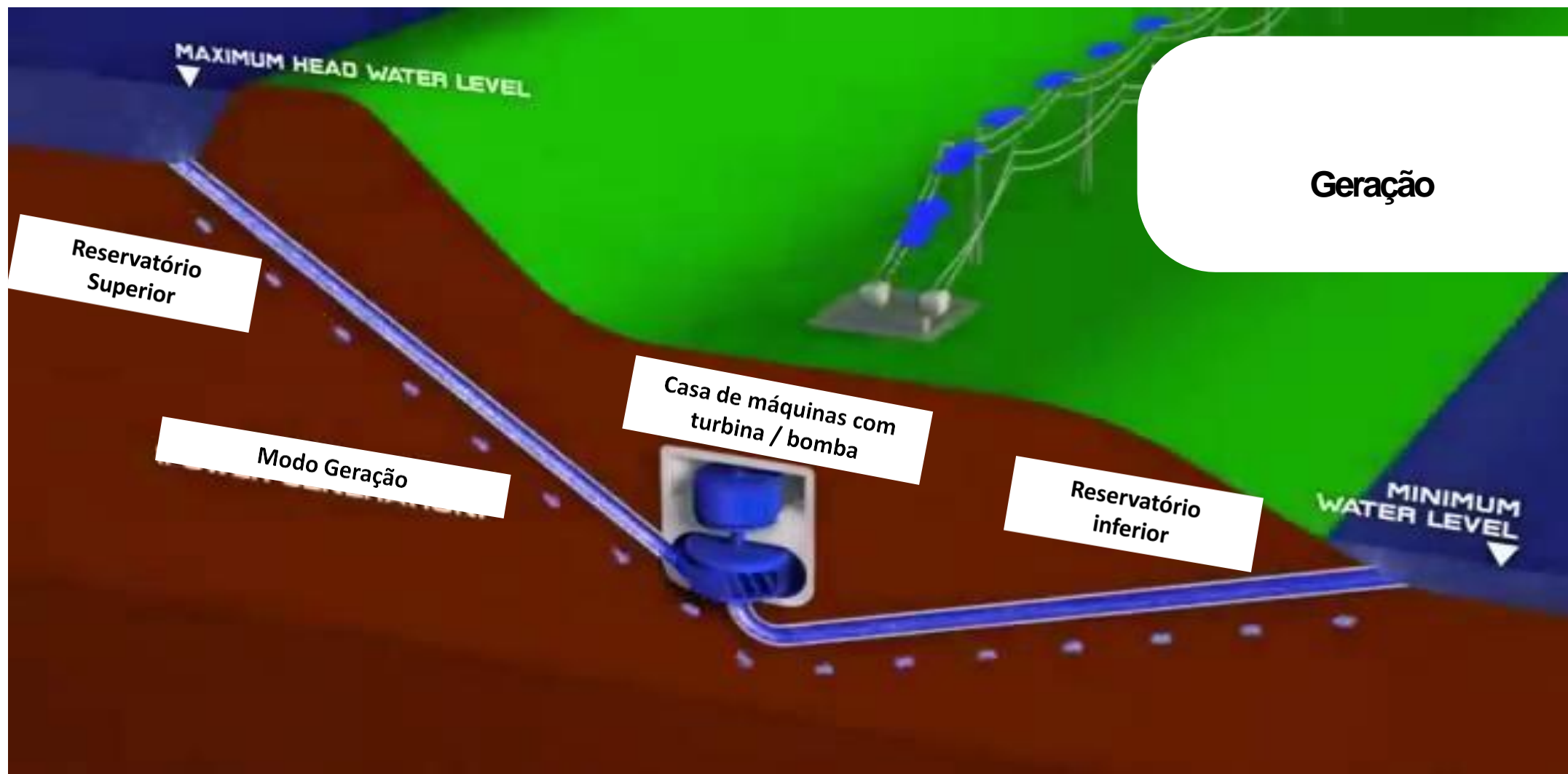
Fator de capacidade

- O fator de capacidade de uma UHR varia consideravelmente com sua necessidade de armazenamento
- Para um ciclo de armazenamento sazonal, o fator de capacidade se situa na faixa de 50 a 70%.
- Para armazenamento intermitente de energia, a faixa é de 30 a 60%
- Para um ciclo de armazenamento diário, o fator de capacidade é de 20 a 40%.
- **A combinação de ciclos de armazenamento sazonal, semanal e diário pode resultar em fatores de capacidade de até 80%.**
- Quanto maior for o fator de capacidade de um projeto de UHR, maior a chance dele se viabilizar
- O fator de capacidade de uma UHR leva em conta a sua operação tanto no modo de geração como de bombeamento

Usinas Hidrelétricas Reversíveis - Armazenamento

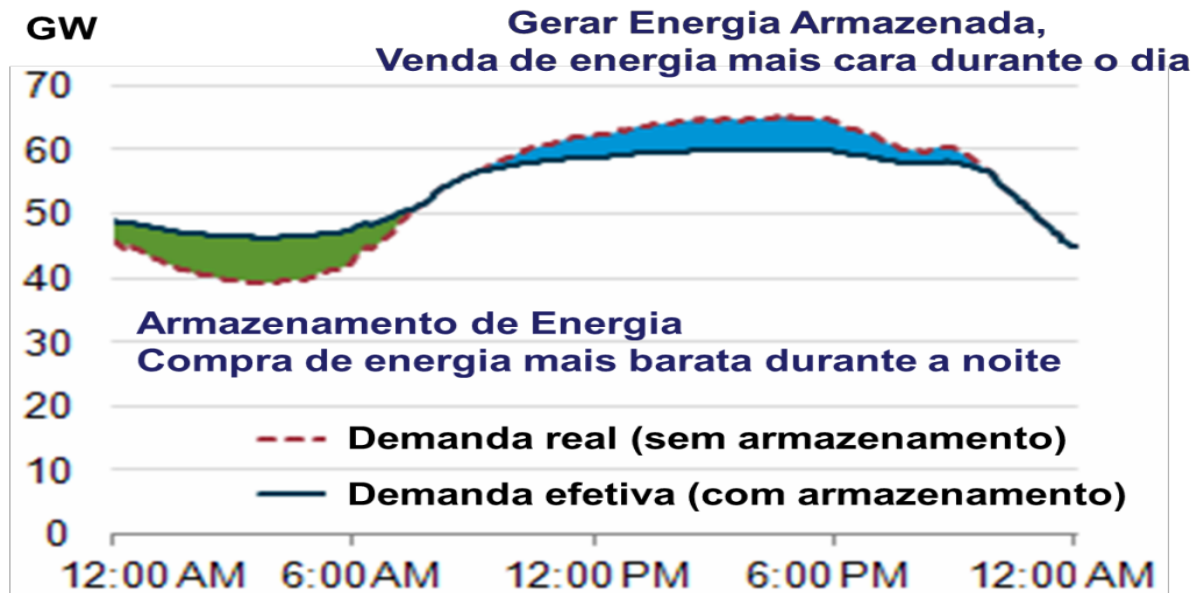


Usinas Hidrelétricas Reversíveis - Geração

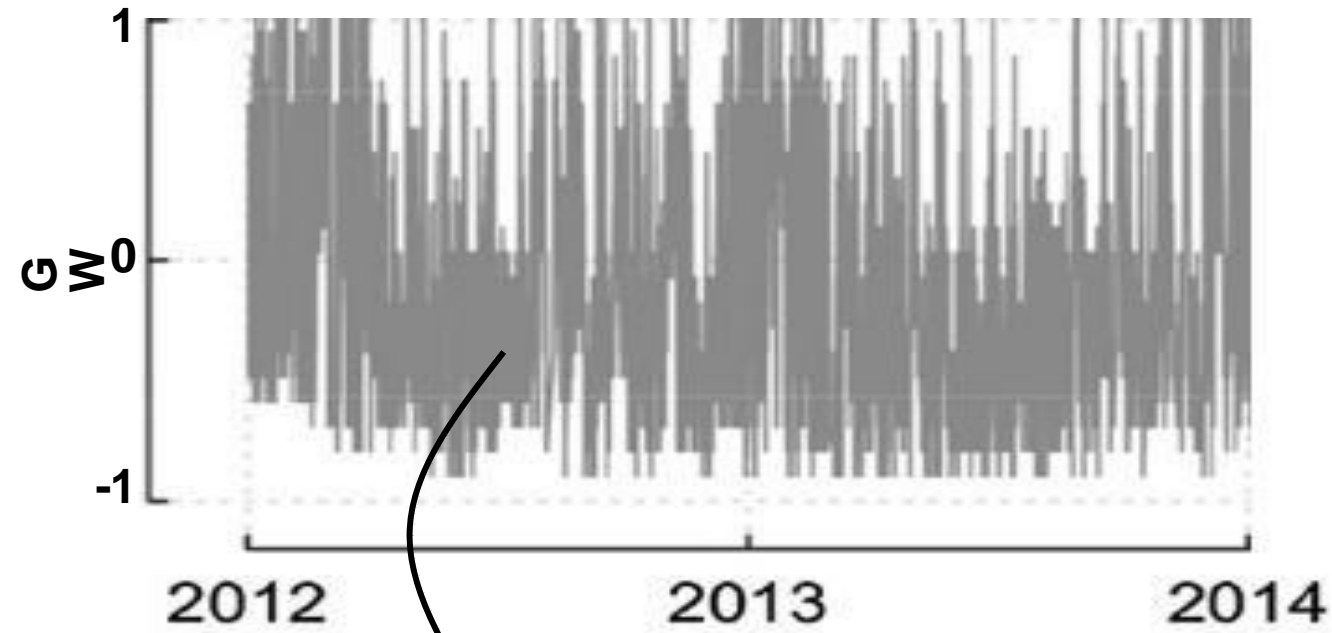


UHR - Operação

Diária e Semanal

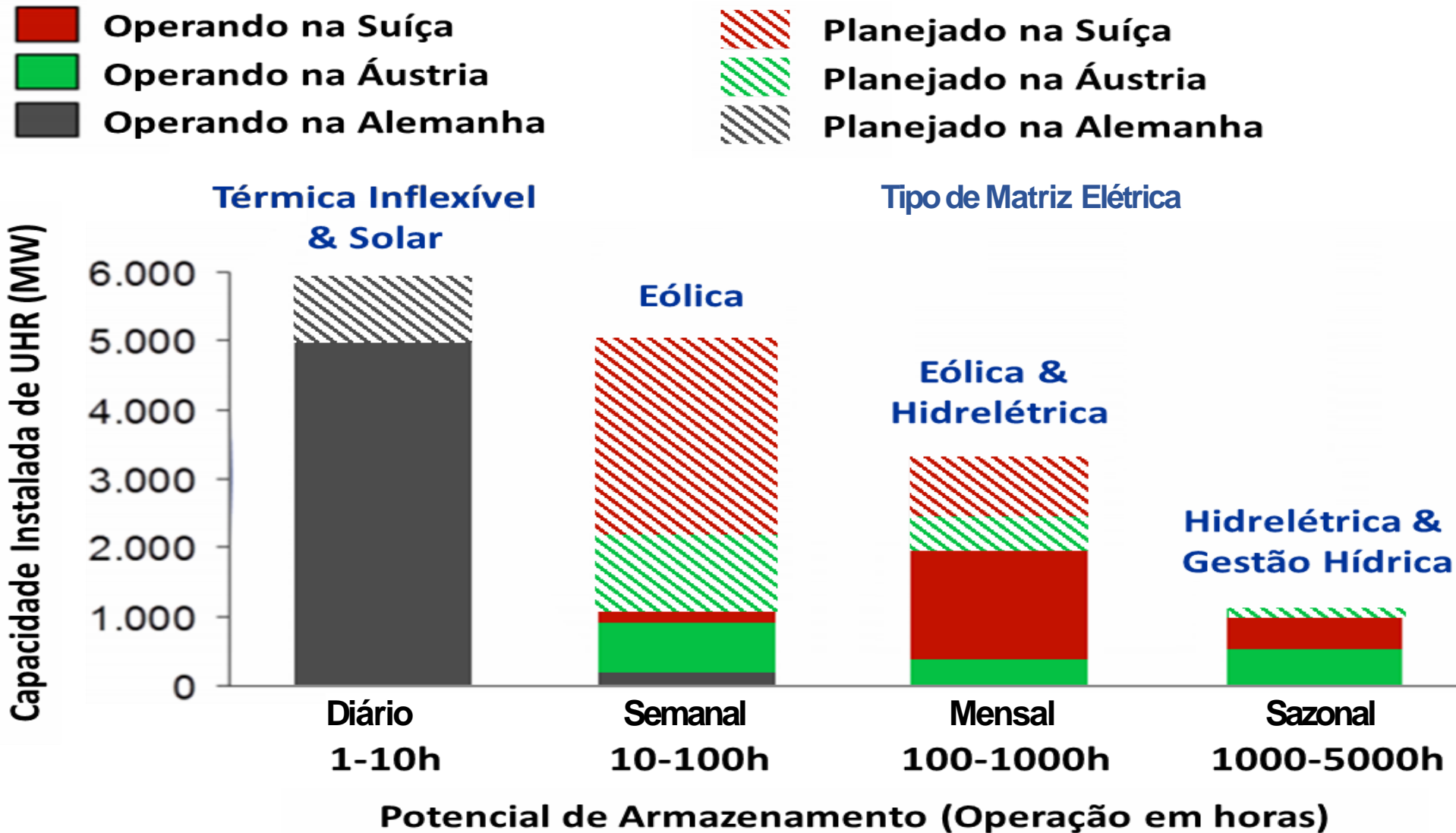


Mensal, Sazonal e Pluri-Anual



A operação combina ciclo horários, diários, semanais, mensais, sazonais e pluri-anuais na mesma usina.

UHR – No mundo



UHR – No mundo

Diária: Alemanha - Goldisthal



Semanal: Espanha – La Muela



Sazonal: Áustria - Limberg II




Pluri Anual: Noruega - Saurdal




Exemplos de usinas reversíveis de baixa queda

Ano	País	Queda (m)	Pot/Maq (MW)	Unidades
2007	India	25	4	3
2007	India	42	12	3
2009	China	18	7	4
2009	China	17	6	4
2009	Portugal	32	17	2
2010	Uzbequistão	36	12	2

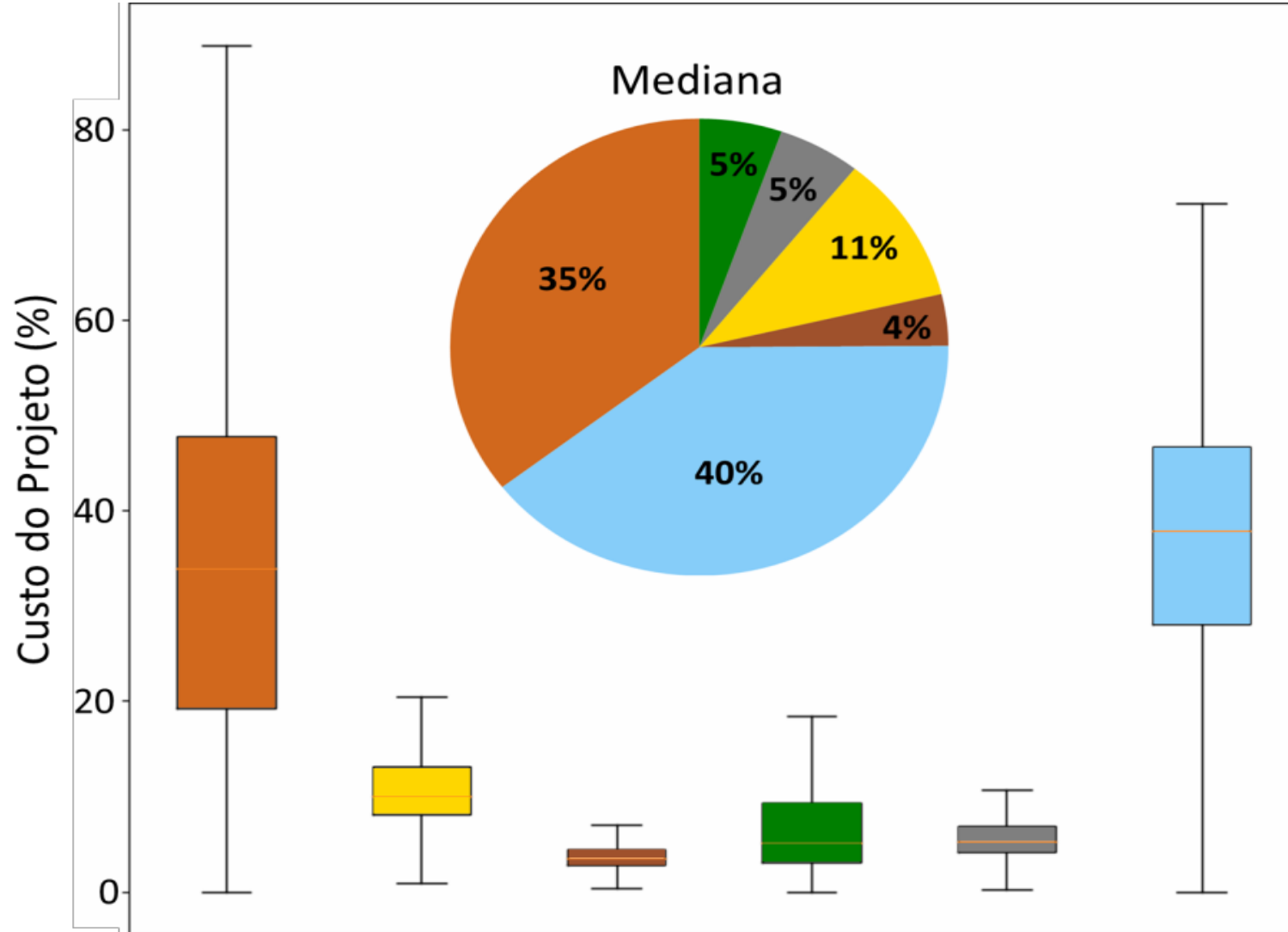
	Name	Technology	Power (kW)	Duration (HH:MM)	Status	Date
	Lepenica Pumped Hydro Power Station Fužine, Primorje-Gorski Kotar County, Croatia Description ▾	Open-loop Pumped Hydro Storage	1,140	n/a	Operational	Jan 01, 1985

H=18m

	Name	Technology	Power (kW)	Duration (HH:MM)	Status	Date
	Tods Corner Power Station Great Lake, Tasmania, Australia Description ▾	Open-loop Pumped Hydro Storage	1,700	n/a	Operational	Jan 01, 1966

H = 41m

Custo do armazenamento com UHRs



— Barragem

— Gerador

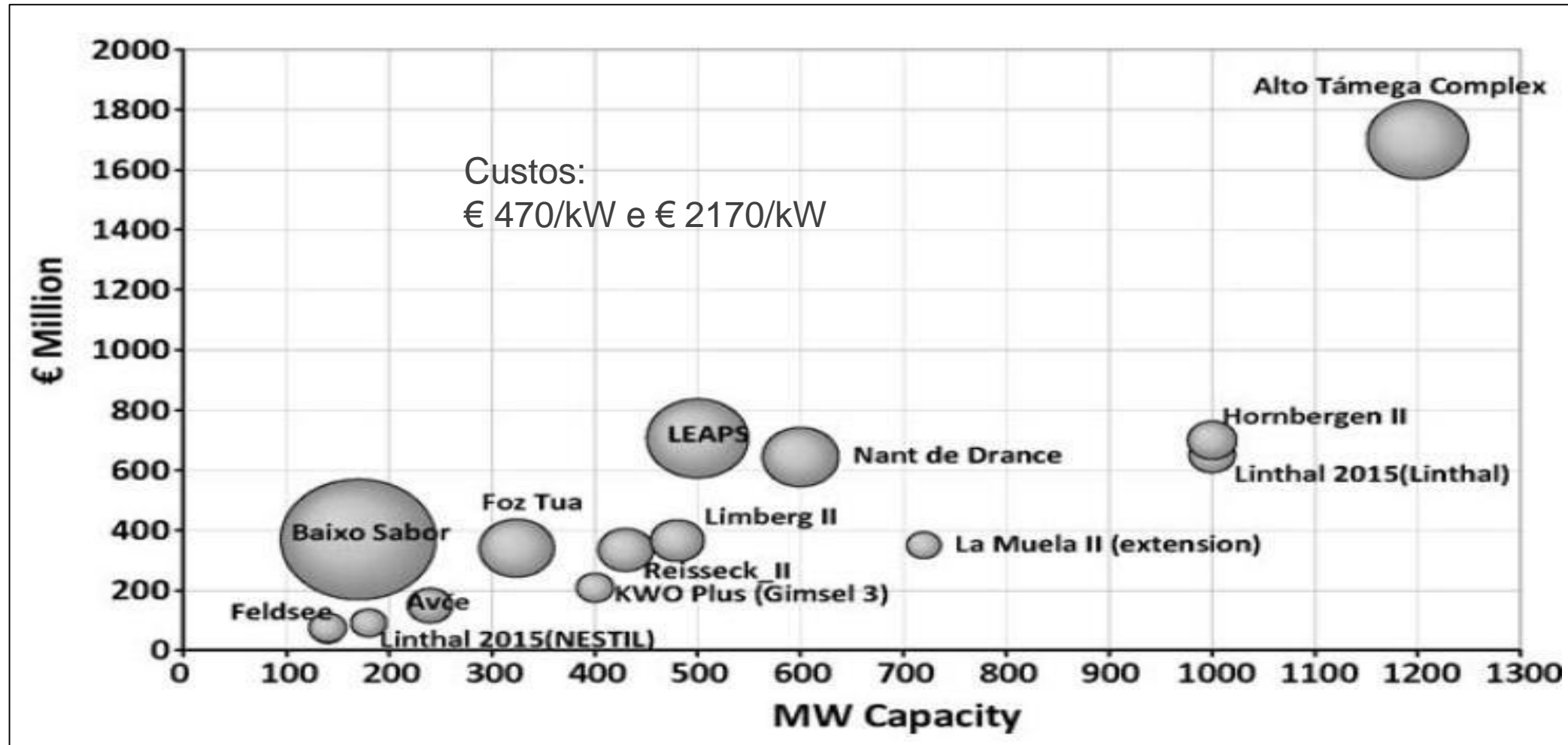
— Escavação

— Área alagada

— Turbina

— Túnel

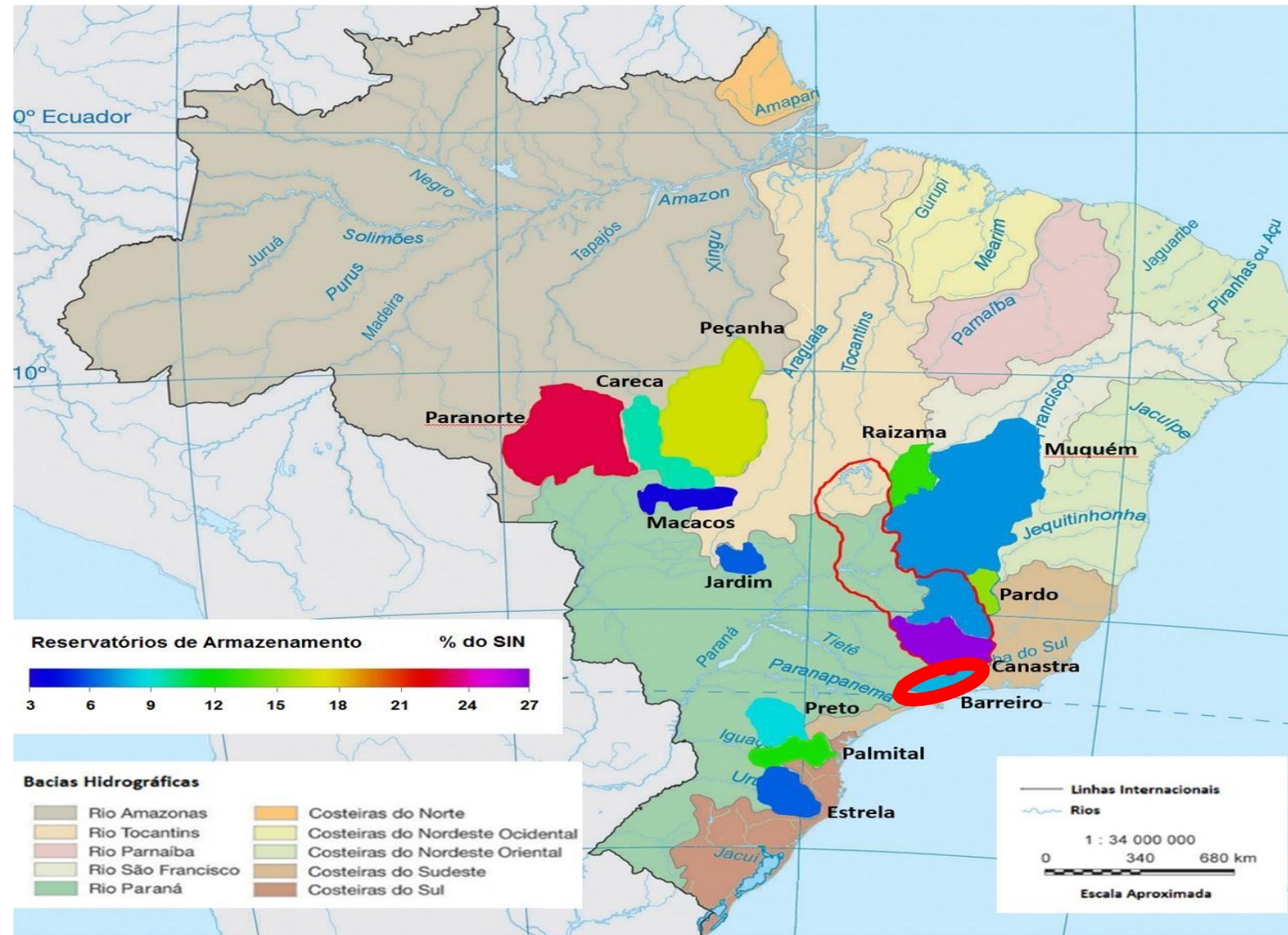
Análise técnica e econômica – Novos projetos na Europa e EUA



UHR no Brasil

Localização das áreas de captação de possíveis projetos de UHR

- Aumentam o potencial de armazenamento energético.
- Descentralizam o potencial de armazenamento energético do Brasil, aumentando segurança energética e reduzindo o risco de racionamento.

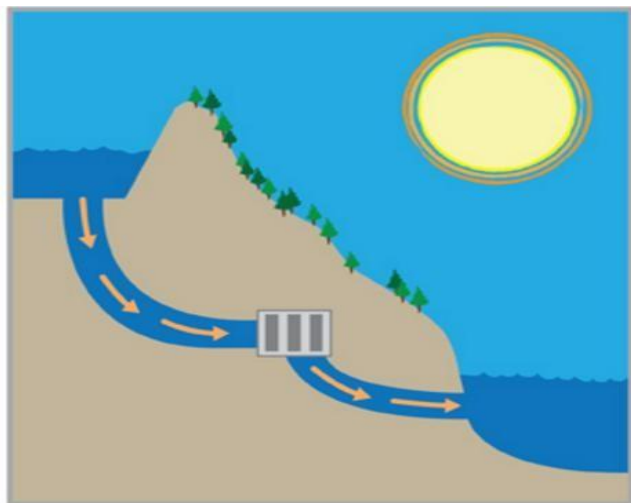


UHR no Brasil: Resumo de projetos

Nome	Rio	Volume Útil (hm ³)	Área Alagada (km ²)	Índice (GWmed/km ²)	Barragem (m)	Tubo (km)	Cota (m) Mínima/Máxima	Cota Inferior (m)	Vazão de Bomb. (m ³ /s)	Armaz. (GWmed/% do SIN)	Área de Drainagem (km ²)	Eficiência (%)
Palmital	Iguaçu	13.700	177	0,187 (7)	220	4	850/1.000	742	868,8	33,1 / 11,4	30.100	111%
Estrela	Uruguai	5.100	85	0,124 (5)	190	12 / 10	800 / 900	647	323,4	10,5 / 3,6	27.300	119%
Preto	Ivaí e Tibagi	7.280	104	0,176 (7)	250	40	900/1.000	430 / 475	461,7	18,3 / 6,3	34.500	137%
Raizama	Paranã	12.130	286	0,121 (5)	100	14	830 / 870	386	769,3	34,7 / 11,9	31.245	128%
Jardim	Verde e Claro	5.551	61	0,164 (7)	155	13 / 11	700/830	560/550	352,0	10,0 / 3,4	15.700	123%
Canastra	Grande	28.110	168	0,482 (19)	300	12	1050/1250	660	1782,7	80,9 / 27,7	59.500	92%
Barreiro	Paraíba do Sul	4.000	29	0,548 (22)	260	12	1200/1450	460	253,7	15,89 / 5,5	13.400	89%
Muquém	São Francisco	7.800	52	0,267 (11)	230	9	550 / 700	411	494,7	13,9 / 4,8	326.000	95%
Pardo	Velhas	16.500	150	0,283 (11)	175	10	950/1100	540	1046,4	42,5 / 14,5	19.000	92%
Peçanha	Xingu	36.400	615	0,077 (3)	122	9	440 / 530	260	2314,8	47,2/16,6	169.000	129%
Careca	Teles Pires	21.390	508	0,045 (2)	102	17	350 / 420	302/292	1368,8	22,7 / 7,8	37.400	125%
Paranorte	Tapajós	61.250	875	0,078 (3)	100	14	350 / 450	217	3938,4	68,2/23,3	156.000	128%
Macacos	Mortos	8.400	204	0,055 (2)	100	9	550 / 620	480	540,1	11,2 / 3,9	16.000	115%
Total		215.493	3314	0,123 (5)						409 / 140	935.145	

Potencial de usinas reversíveis

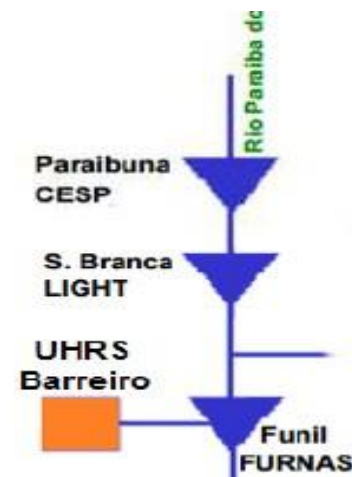
Usinas reversíveis podem ser construídas em locais com relevo apropriado, aproveitando-se de um reservatório já construído.



A construção de usinas reversíveis pode ser estimulada pelo

PREÇO HORÁRIO

Exemplos

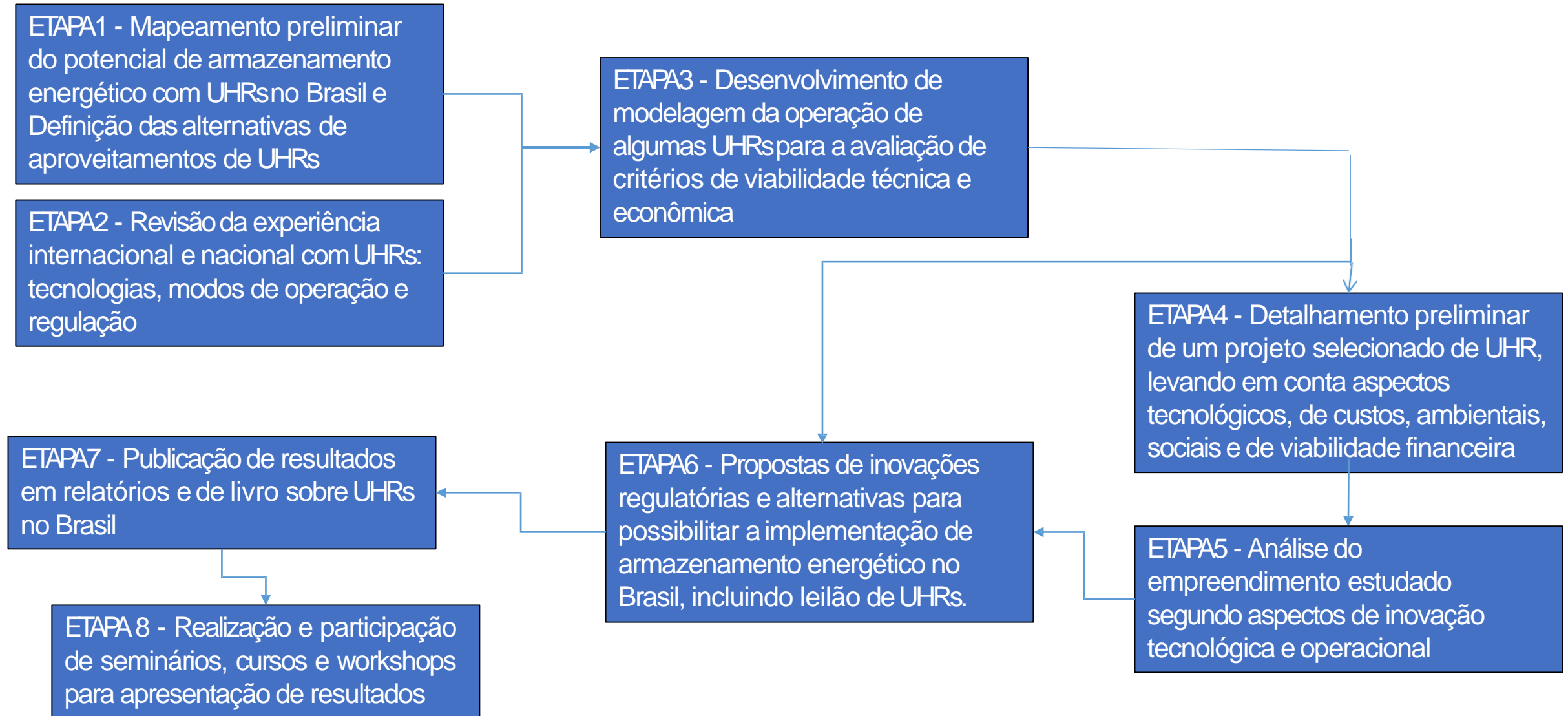


O potencial de armazenamento em usinas reversíveis no Brasil é de **409.000** MWh/mês

(fonte: Hedaide Engenharia)

Este valor é superior ao armazenamento máximo atual nas usinas hidroelétricas, **295.000** MWh/mês.

Metodologia



Cronograma para execução do projeto

ETAPAS	ATMIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	Planejamento geral das atividades	■																							
1	Mapeamento preliminar do potencial de armazenamento energético com UHRs no Brasil e Definição das alternativas aproveitamentos de UHRs		■	■	■	■	■																		
2	Revisão da experiência internacional e nacional de UHRs																								
2.1	Aspectos tecnológicos e operativos		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
2.2	Aspectos regulatórios		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
3	Desenvolvimento de modelagem da operação de algumas UHRs para a avaliação de critérios de viabilidade técnica e econômica.				■	■	■	■	■	■	■	■	■												
4	Detalhamento preliminar de um projeto de UHRs levando em conta aspectos tecnológicos, de custos, ambientais, sociais e de viabilidade financeira.													■	■	■	■	■							
5	Análise do empreendimento estudado segundo aspectos de inovação tecnológica e operacional.													■	■	■	■	■	■	■					
6	Propostas de inovações regulatórias e alternativas para possibilitar a implementação de armazenamento energético no Brasil, incluindo leilão de UHRs.													■	■	■	■	■	■	■	■				
7	Publicação de resultados em relatórios e de livro sobre UHRsno Brasil																		■	■	■	■	■		
8	Realização e participação de seminários, cursos e workshops para apresentação de resultados																							■	■

Divisão de participações das equipes nas etapas do projeto

ETAPAS	ATIVIDADES	GESE e COPPE/ UFRJ	GPTECH, HEDAIDI e MCPAR
0	Planejamento geral das atividades	Lidera (L)	L
1	Mapeamento preliminar do potencial de armazenamento energético com UHRs no Brasil e Definição das alternativas aproveitamentos de UHRs	L	Apoia (A)
2	Revisão da experiência internacional e nacional de UHRs		
	2.1 Aspectos tecnológicos e operativos		L
	2.2 Aspectos regulatórios	L	
3	Desenvolvimento de modelagem da operação das UHRs para a avaliação de critérios de viabilidade técnica e econômica.	L	
4	Detalhamento preliminar de um projeto selecionado de UHRs levando em conta aspectos tecnológicos, de custos, ambientais, sociais e de viabilidade financeira	A	L
5	Análise do empreendimento estudado segundo aspectos de inovação tecnológica e operacional.		L
6	Propostas de inovações regulatórias e alternativas para possibilitar a implementação de armazenamento energético no Brasil, incluindo leilão de UHRs.	L	
7	Publicação de resultados em relatórios e livro sobre UHRs no Brasil	L	L
8	Realização e participação de seminários, cursos e workshops para apresentação de resultados	L	L

Contatos:

Prof. Paulo S. Franco Barbosa (franco.barbosa@gmail.com)

Mirian Adelaide R. Costa Pinto (mirian.hedaidi@gmail.com)

Prof. Sergio Valdir Bajay (sergiovaldirbajay@gmail.com)