

# ARMAZENAMENTO DE ENERGIA



*FASE*

16/06/2020





# ARMAZENAMENTO: USO NO GRID (FRENTE DO MEDIDOR)

	DESCRIPTION	SELECTED RELEVANT TECHNOLOGIES	SELECTED CONVENTIONAL ALTERNATIVES <sup>(a)</sup>
TRANSMISSION SYSTEM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Large-scale energy storage system to improve transmission grid performance and assist in the integration of large-scale renewable generation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Sodium, Flow Battery, Lithium-Ion, Zinc, Pumped Hydro, CAES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transmission line upgrade</li> <li>Gas turbine</li> </ul>
PEAKER REPLACEMENT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Large-scale energy storage system designed to replace peaking gas turbine facilities</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Sodium, Zinc, Lithium-Ion, Flow Battery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gas turbine</li> <li>Diesel reciprocating engine</li> </ul>
FREQUENCY REGULATION	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy storage system designed to balance power to maintain frequency within a specified tolerance bound (i.e., ancillary service)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flywheel, Lithium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gas turbine</li> </ul>
DISTRIBUTION SERVICES	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy storage system placed at substations to provide flexible peaking capacity and mitigate stability problems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Sodium, Zinc, Lithium-Ion, Flow Battery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distribution system upgrade</li> <li>Gas turbine</li> </ul>
PV INTEGRATION	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy storage system designed to reduce potential integration challenges or improve the value of solar generation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Sodium, Zinc, Lithium-Ion, Flow Battery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gas turbine</li> <li>Diesel reciprocating engine</li> <li>Alteration of solar production profile</li> </ul>

5 | LAZARD <sup>(a)</sup> Denotes an illustrative set of “base case” conventional alternatives for a given use case. Actual projects may displace a number of conventional alternatives, in certain scenarios.  
Copyright 2015 Lazard.

# ARMAZENAMENTO: USO NO CONSUMIDOR (ATRÁS DO MEDIDOR)

	DESCRIPTION	SELECTED RELEVANT TECHNOLOGIES	SELECTED CONVENTIONAL ALTERNATIVES <sup>(a)</sup>
<b>MICROGRID</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy storage system used to enhance the stability and efficiency of a microgrid electricity system with specific local goals, such as reliability, diversification of energy sources and/or cost reduction, especially in the context of ramp control/mitigation (i.e., relatively short discharge profile)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Sodium, Zinc, Lithium-Ion, Flow Battery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diesel reciprocating engine</li> <li>Gas turbine</li> <li>Load profile alteration</li> </ul>
<b>ISLAND GRID</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy storage system used to support the stability and efficiency of an isolated electricity system with specific local goals, such as reliability, diversification of energy sources and/or cost reduction, especially in the context of renewables integration (i.e., long discharge profile)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Sodium, Zinc, Lithium-Ion, Flow Battery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diesel reciprocating engine</li> <li>Gas turbine</li> <li>Load profile alteration</li> </ul>
<b>COMMERCIAL &amp; INDUSTRIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy storage system primarily designed to provide peak shaving and demand charge reduction for commercial or industrial applications</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Sodium, Zinc, Lithium-Ion, Flow Battery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diesel reciprocating engine</li> <li>Gas turbine</li> <li>Utility service upgrade</li> <li>Load profile alteration</li> </ul>
<b>COMMERCIAL APPLIANCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy storage system designed to provide demand charge reductions on a smaller scale and at a lower duration than commercial and industrial use cases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Zinc, Lithium-Ion, Flow Battery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diesel reciprocating engine</li> <li>Utility service upgrade</li> <li>Load profile alteration</li> </ul>
<b>RESIDENTIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy storage system for residential home use designed to provide backup power and self-generation augmentation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lead-Acid, Lithium-Ion, Flow Battery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Load profile alteration</li> <li>Backup generator</li> </ul>

LAZARD <sup>(a)</sup>  
Copyright 2015 Lazard.

Denotes an illustrative set of "base case" conventional alternatives for a given use case. Actual projects may displace a number of conventional alternatives, in certain scenarios.

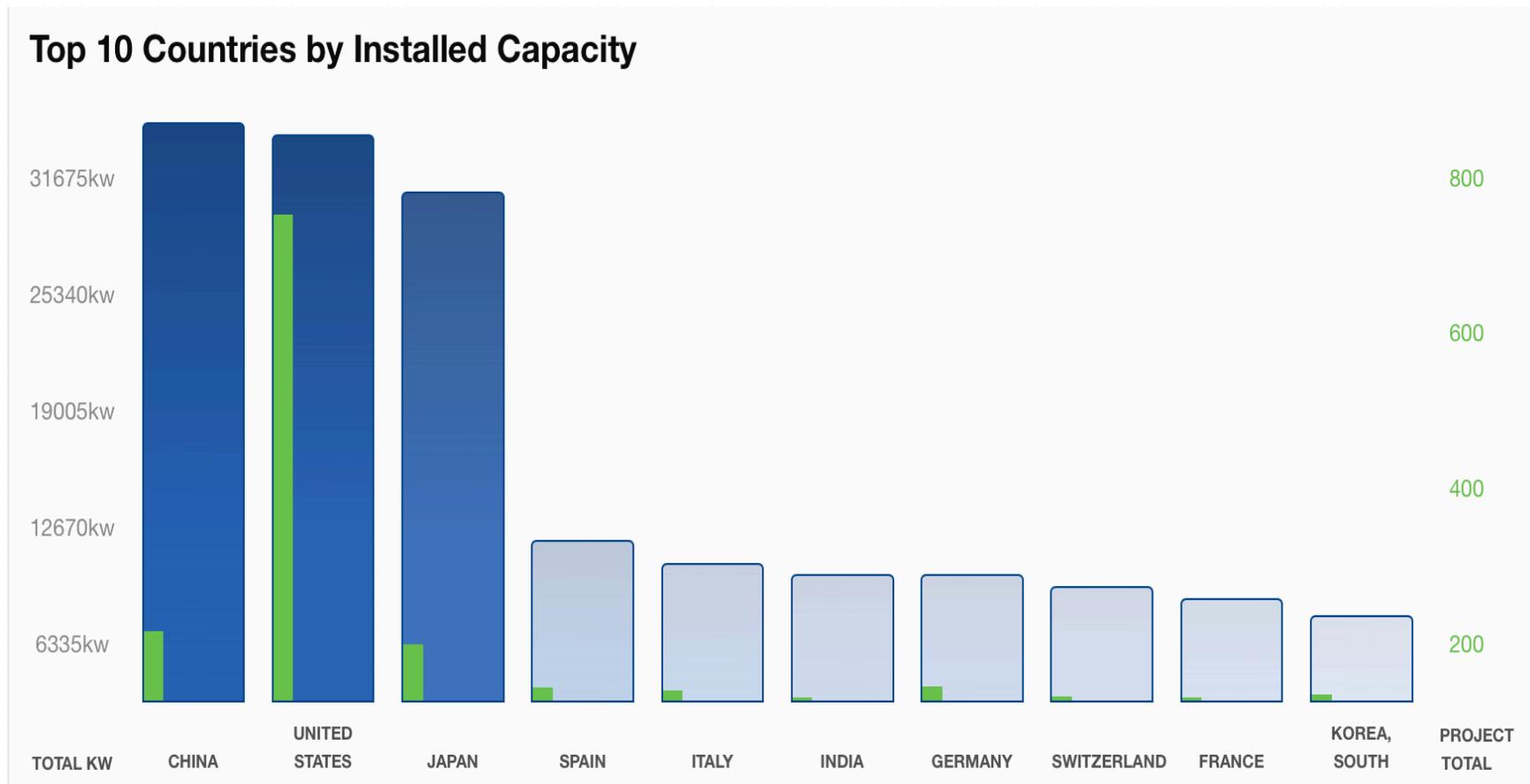
# DISTRIBUIÇÃO DE TECNOLOGIAS

Tipo de Tecnologia	Projetos	Potência (MW)
<b>Bombeamento reverso</b>	<b>350</b>	<b>179.740</b>
· Sistemas abertos (open-loop)	333	169.847
· Sistemas fechados (closed-loop)	14	7.956
· outros	3	1.937
<b>Armazenamento térmico</b>	<b>202</b>	<b>3.615</b>
· Armazenamento em água gelada	21	137
· Armazenamento de calor	21	30
· Armazenamento de gelo	113	105
· Armazenamento em sal fundido	41	2.752
· outros	6	591
<b>Eletroquímica</b>	<b>940</b>	<b>2.899</b>
· Capacitores eletroquímicos	32	79
· Baterias de Fluxo	102	153
· Baterias chumbo-ácido	96	210
· Baterias de Íons de Lítio	592	1.828
· Baterias Metal-ai	6	20
· Baterias de Nickel	7	32
· Baterias de Sódio	76	222
· outros	29	355
<b>Eletro-mecânico</b>	<b>69</b>	<b>2.611</b>
· CAES	18	1.595
· Volantes de Inércia	50	966
· Armazenamento Gravitacional	1	50
<b>Hidrogênio</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Ar líquido (LAES)</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
<b>Total</b>	<b>1.572</b>	<b>188.880</b>

Tabela 2 – Projetos de Armazenamento de Energia por tipo de tecnologia  
 Fonte: Departamento de Energia dos Estados Unidos (01/07/2016)  
<http://www.energystorageexchange.org/>



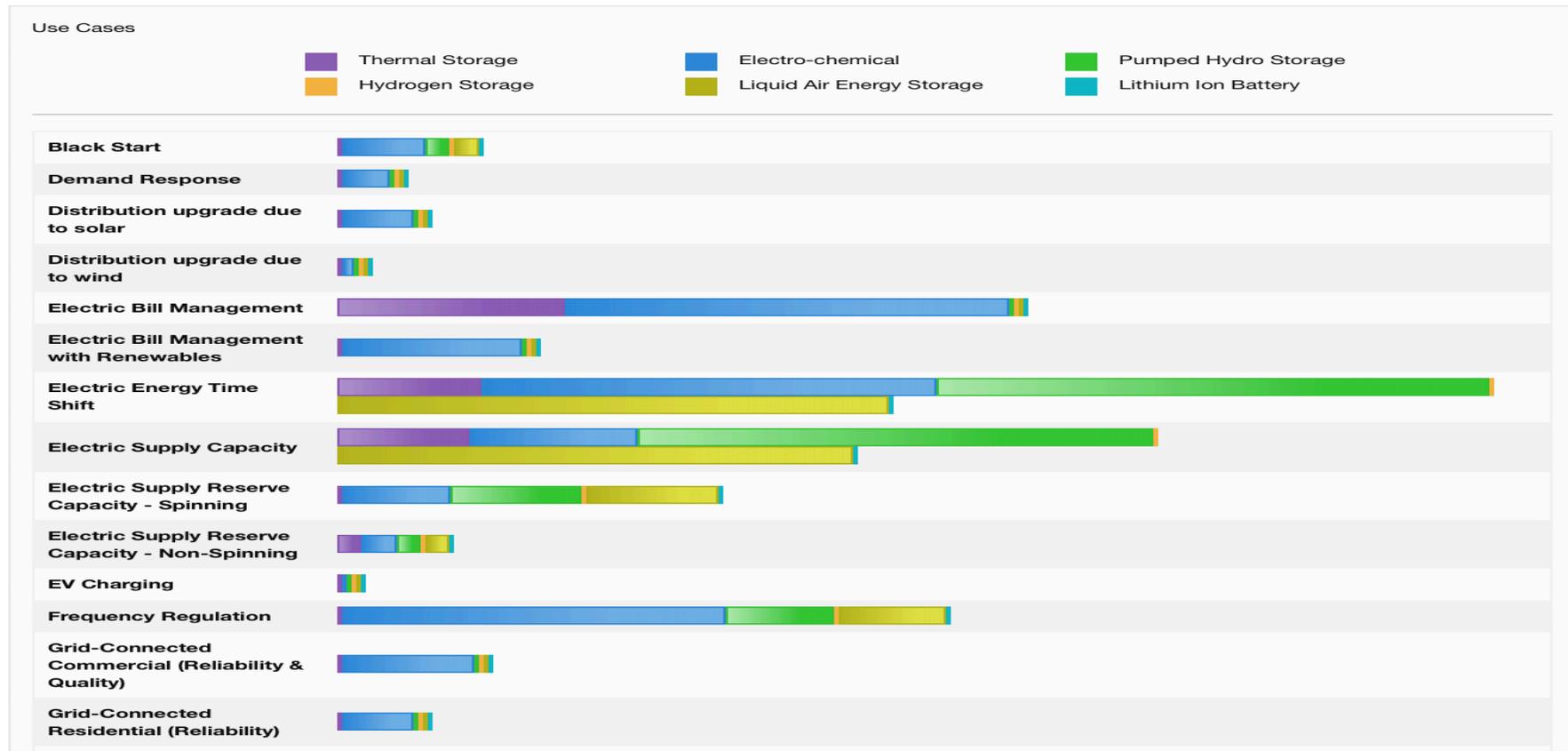
# PAISES MAIS ADIANTADOS EM TECNOLOGIA DE ARMAZENAMENTO



Fonte: DOE Data Base -<https://www.energystorageexchange.org>

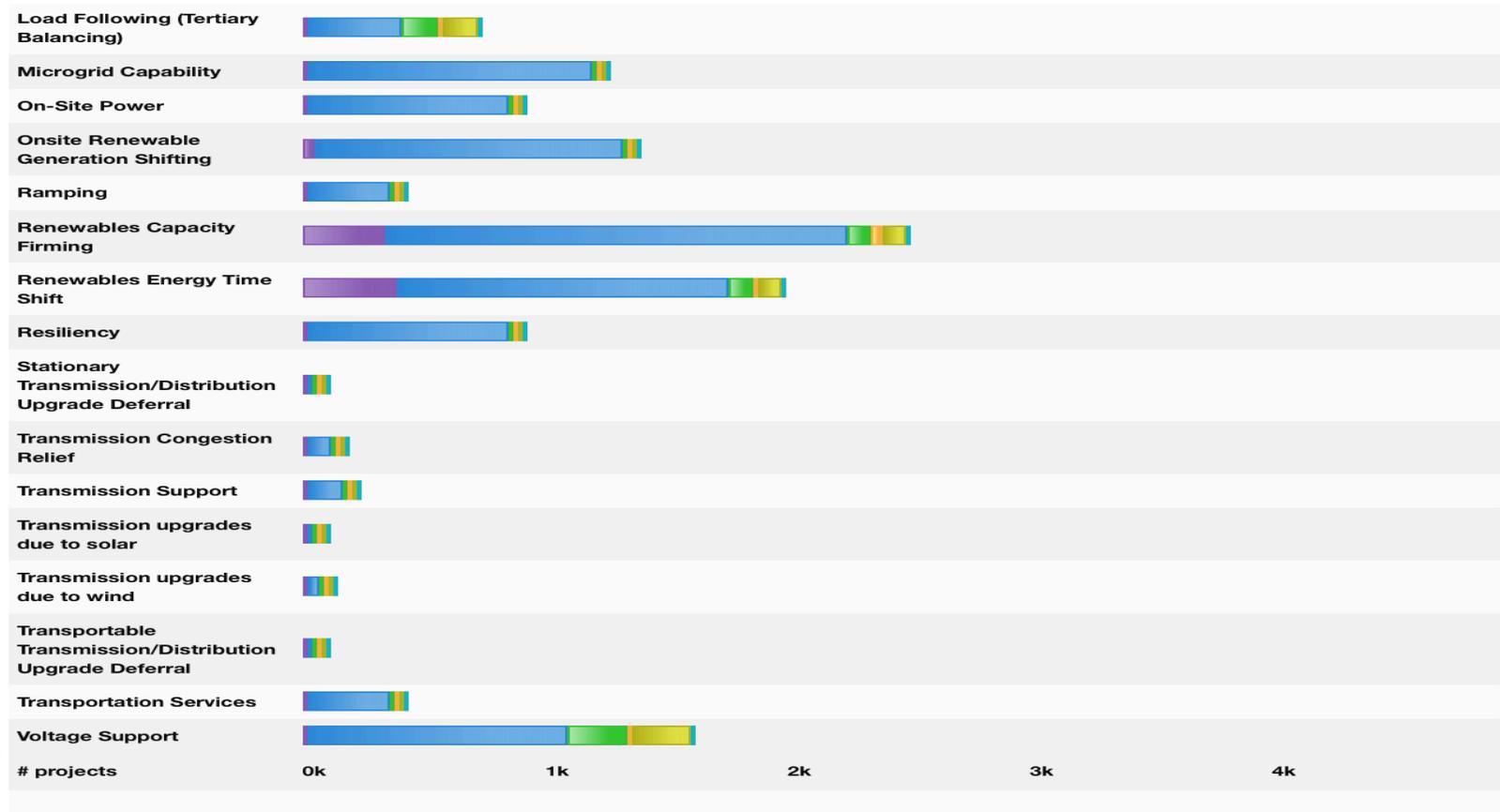


# USOS NO MUNDO



Fonte: DOE Data Base -<https://www.energystorageexchange.org>

# USOS NO MUNDO



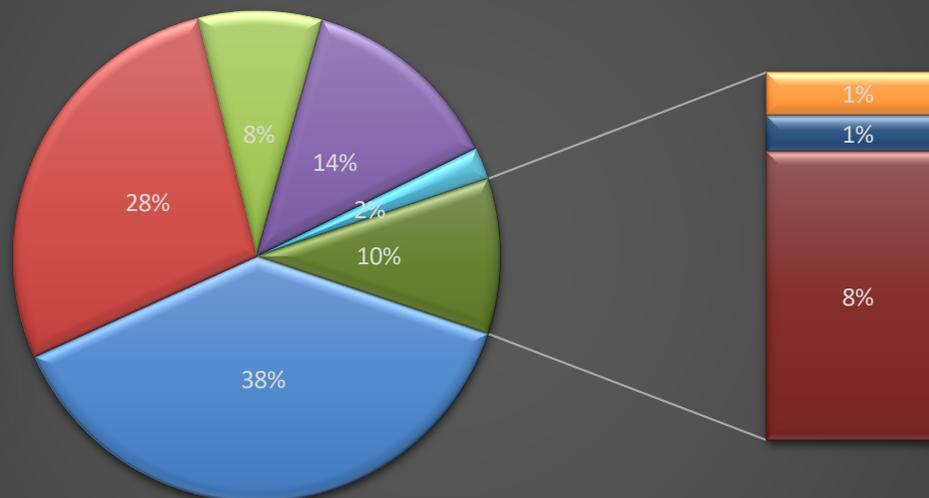
Fonte: DOE Data Base -<https://www.energystorageexchange.org>

# PRIMEIROS PASSOS NO BRASIL: ANEEL

- **CHAMADA ESTRATÉGICA 21 DA ANEEL APROVOU R\$ 405 MILHÕES EM INVESTIMENTOS PARA 23 PROJETOS.**

Uso	No. Projetos
Serv. Ancilares	7
Microgrid	6 
Loc. Isolada	4 
Arbitragem	1 
Qualidade	1 
Des. Tecnológico	2
Veículos Elétricos	1 
Outros	1 

Investimento por finalidade



■ Serv. Anc. 
 ■ Microgrid 
 ■ Loc. Iso. 
 ■ Des. Tec. 
 ■ Qualidade 
 ■ Veic. Elet. 
 ■ Arbitragem 
 ■ Outros

- ▶ 21 Projetos Aprovados
- ▶ Aprovação de **R\$ 406 milhões** em investimentos (73 % do total recebido)
- ▶ Capacidade aprovada de **15,0 MWhe 11,8 MW** em plantas de armazenamento
- ▶ **804** profissionais e pesquisadores envolvidos aprovados
- ▶ Valor médio por projeto: **R\$ 19,33 milhões** (6 vezes a media dos projetos de P&D)

# PRIMEIRO LEILÃO DE SISTEMAS HÍBRIDOS E DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NO BRASIL – A FRUSTRAÇÃO

- ▶ Leilão de Roraima
  - ▶ PORTARIA 425 DE 08 DE OUTUBRO DE 2018.
  - ▶ CP 060-MME
- ▶ Mudanças de diretrizes frustrou “novos entrantes” internacionais.
  - ▶ Foi desenvolvido muito esforço pelas empresas com base em premissas iniciais passadas pelo Governo Federal

# POR QUE O BRASIL TEVE A PRIMEIRA USINA REVERSÍVEL E NÃO CONSTRUIU MAIS?

Countries with the largest power pumped-storage hydro capacity in 2017<sup>[38]</sup>

Country	Pumped storage capacity (GW)	Total installed generating capacity (GW) <sup>[39]</sup>	Pumped storage/ total generating capacity
China	32.0	1646.0	1.9%
Japan	28.3	322.2	8.8%
United States	22.6	1074.0	2.1%
Spain	8.0	106.7	7.5%
Italy	7.1	117.0	6.1%
India	6.8	308.8	2.2%
Germany	6.5	204.1	3.2%
Switzerland	6.4	19.6	32.6%
France	5.8	129.3	4.5%
Austria	4.7	25.2	18.7%

# CASOS PARADIGMAS

- ▶ Alguns casos nacionais e internacionais estão sendo adotados pela ABAQUE para o desenvolvimento de propostas no país.
  - ▶ Todos os casos internacionais baseados em projetos comerciais.
  - ▶ Todos os casos internacionais já implantados há algum tempo e de sucesso.
  - ▶ Casos brasileiros baseados em programas de P&D.

# CASO: FERNANDO DE NORONHA

- ▶ Potência Instalada na ilha: 2,5MW.
- ▶ 450 mil litros de Diesel por mês
  - ▶ Constrangimentos Ambientais e Logística

Quem:

- Concessionária: CELPE
- Fornecedor: NEC  
(2018)

## Usina Fotovoltaica II



# CASO: FERNANDO DE NORONHA



Adequação da área, instalação dos equipamentos, adaptações da infraestrutura da subestação, geração FV e diesel foram realizados

## Sistema híbrido: Solar:

- Planta Solar 1 : 400 KWp
- Planta Solar 2: 500 KWp
  
- 2 conjuntos de baterias com 280KW.
- Geração de 510 Kwh por duas horas.
  
- Economia média de 10-13% da quantidade de Diesel consumida na ilha, podendo chegar a 20% com novos softwares.

# CASO: FERNANDO DE NORONHA

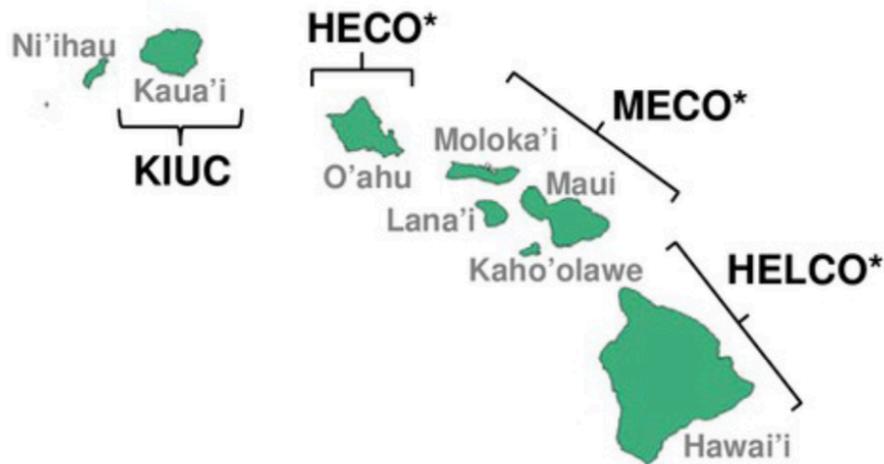


- Baterias de ion lítio com capacidade de 4.000 ciclos.
- Bateria supre a variação de geração das plantas solares.
- Motor Diesel de última geração

Quem:  
- CELPE  
- NEC

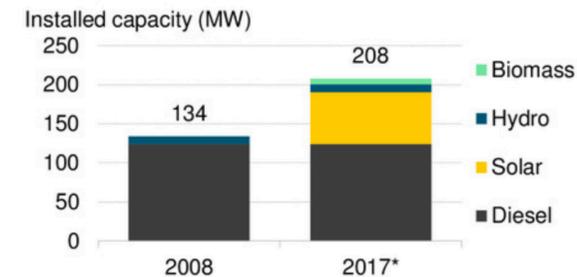
Desenvolvimento de um conversor de potência com fator de potência unitário real.

# CASO: HAVAÍ – ILHA DE KAUA



Source: Hawaii Public Utilities Commission, Bloomberg New Energy Finance

- Ilha de 73 mil habitantes + 25 mil turistas diários.
- Servida pela cooperativa KIUC, com carga de 75MW.
- Até 2003 completamente a Diesel, com meta de ter 70% de renovável até 2030



Source: KIUC, Bloomberg New Energy Finance

# CASO: HAVAÍ – ILHA DE KAUA

## Kaua'i Island Electric Cooperative Solar + Storage Peaker Plant

Jan 25, 2019 | Our Projects



# CASO: HAVAÍ – ILHA DE KAUA

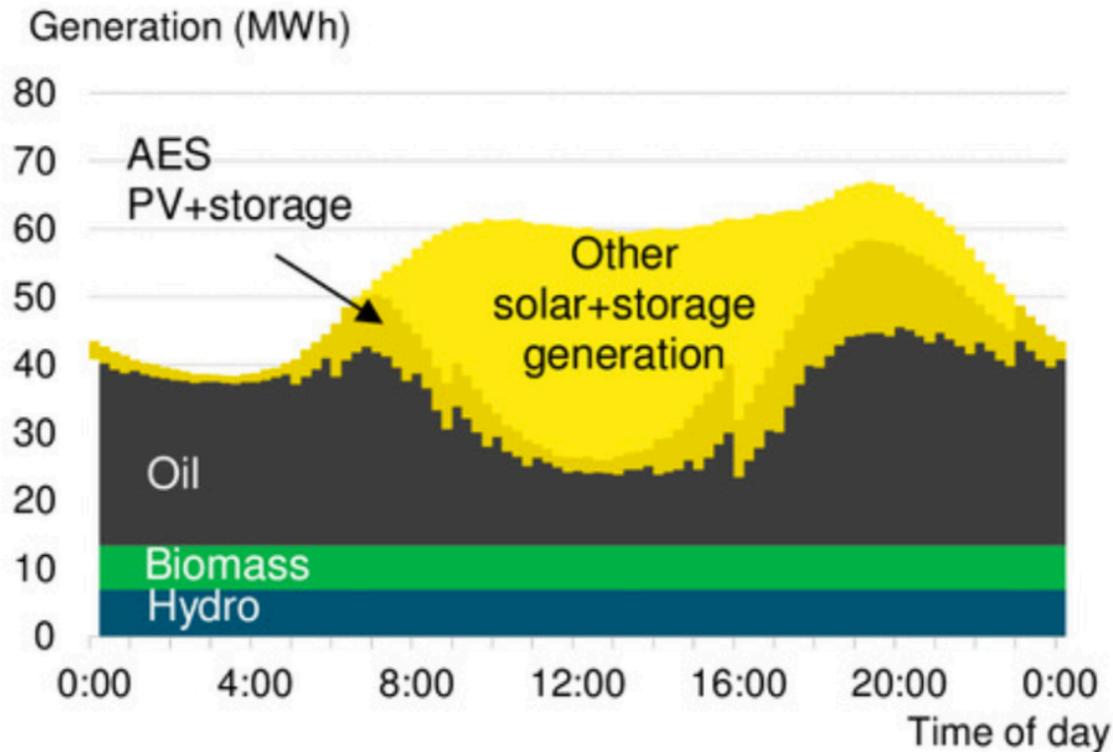
- ▶ Contrato com AES :
  - ▶ PPA de Planta Solar de 28 MW (DC)
  - ▶ 20 MW de baterias para 100 MWh (5 horas)
- ▶ Valor do Contrato: USD 110/MWh (2017)

## Selected list of U.S. solar-and-storage PPAs

Utility-IPP (state)	Description
TEP - NextEra (Arizona)	\$45/MWh, announced in May 2017 for a 100MW PV and 30MW/120MWh storage system, delivery in 2019.
NextEra - Salt River Project (Arizona)	Undisclosed price, announced in April 2017 for a 20MW(DC) PV and 10MW/40MWh storage system, delivery in 2017.
AES - KIUC (Hawaii)	\$110.8/MWh, announced in January 2017 for a 28MW(DC) PV and 20MW/100MWh storage system, delivery in 2018.
SolarCity - KIUC (Hawaii)	\$139/MWh, announced in October 2015 for a 17MW(DC) PV and 13MW/52MWh storage system, operational since January 2017.
Half Moon Ventures, ARA – Village of Minster (Ohio)	Undisclosed price, announced in October 2015 for a 4MW(AC) PV and 7MW/3MWh storage system, operational since May 2016.

Bloomberg New Energy Finance,  
June 06, 2017

# CASO: HAVAÍ – ILHA DE KAUA



Em dias de sol solar gera 77% da demanda da ilha, necessitando dar flexibilidade para a ilha.

Source: KIUC, Hawaii Public Utilities Commission

# CASO: HAVAÍ – ILHA DE KAUA

## Is a \$110.80/MWh solar-and-storage PPA achievable?

We used BNEF's Energy Project Asset Valuation Model (EPVAL) ([web](#) | [terminal](#)) to estimate the costs of AES's PV-and-storage system at a 10% equity return over its 25-year agreement.

AES Distributed Energy and KIUC applied for regulatory approval of a 25-year PPA with KIUC at a PPA rate of \$110.80/MWh, according to the Hawaii PUC. Additionally, it would receive the 30% Federal Income Tax Credit (ITC) as well as a Hawaii state income tax credit of up to \$350,000 per system (which we assume would be claimed per MW, ie, multiplied by 28MW(DC), for \$9.8 million in total).

### **BNEF assumptions on AES solar-and-storage KIUC PPA for 2018 delivery to hit PPA price**

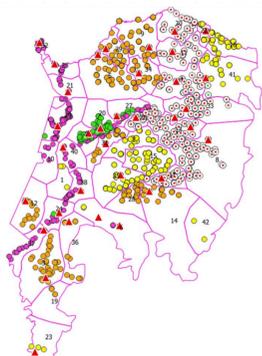
<b>PV system</b>	\$1.18/W, 19% capacity factor
<b>Storage</b>	\$400/kWh, replacement half way through lifetime at \$100/kWh
<b>O&amp;M</b>	\$15,000/MW/year
<b>Debt</b>	70% construction debt at 180bps
<b>Depreciation</b>	5-year MACRS
<b>Inflation</b>	CPI
<b>Equity IRR</b>	10%
<b>ITC</b>	30% (for both PV and storage)
<b>Hawaii tax credit</b>	\$350,000 / MW

## ESTRUTURA DE CUSTOS DO PROJETO DEPENDE DO ITC A SER USUFRUÍDO

Bloomberg New Energy Finance,  
June 06, 2017

# CASO; SISTEMAS ISOLADOS NO PANTANAL SUL MATO-GROSSENSE

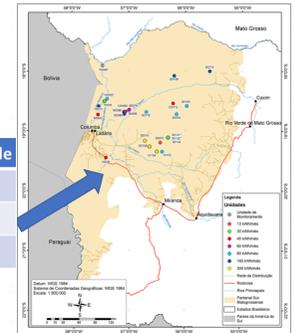
- ▶ Concessionária: ENERGISA (2019)
- ▶ Prestador de serviços: Lactec
- ▶ Desafio:
  - ▶ Atender área de 80.000 km<sup>2</sup> (2 vezes o estado do Rio de Janeiro) em uma primeira etapa de 120 sistemas individuais e microgrid. (PV + Baterias)
  - ▶ Sem condições de logística de se ter transporte de combustível ou manutenção.



Problema: Os caminhos de menor custo.  
Espelho: Problema do caixeiro viajante  
Algoritmo de solução : Branch&Bound

- ▶ Para tanto foram escolhidas áreas para monitorar e encontrar:
  - ▶ Melhor eficiência de tipo de bateria.
  - ▶ Programa de manutenção otimizado.

Tecnologia de Bateria	Quantidade
Chumbo Ácido – OPzS	8
Chumbo Carbono – PbC	9
Lítio – LiFePO <sub>4</sub>	6



# CASO: SISTEMAS ISOLADOS NO PANTANAL SUL MATO-GROSSENSE



- Sistemas entre: 13 a 300 KWh
- Área passa 6 meses do ano alagada, sem condições de acesso.
- Restrições de logística e volume de combustível impedem fornecimento por longo prazo.



Necessidade de PREVISIBILIDADE e PROGRAMAÇÃO de longo prazo

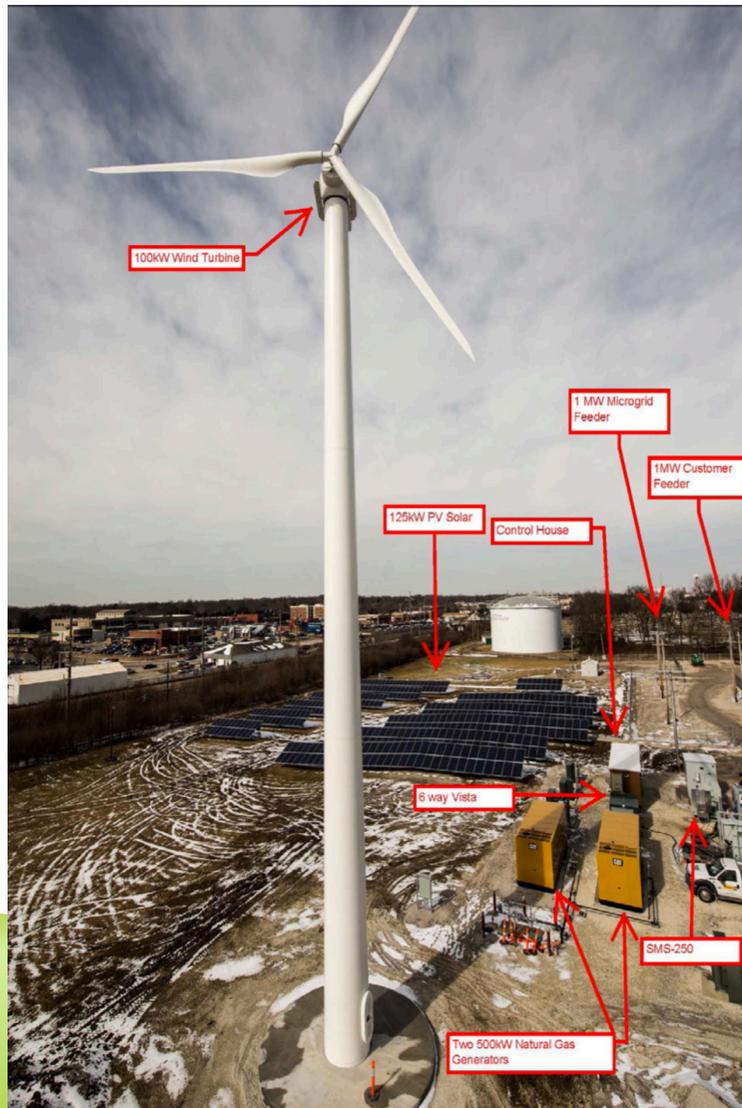


# CASO: MICROGRIDS INTERLIGADOS COM FONTES DE GERAÇÃO RENOVÁVEIS.

- ▶ Concessionária: AMEREN, Illinois. 2,4 milhões de consumidores.
- ▶ Fornecedor: S&C, EUA.
- ▶ Microgrids interligados (2018).
  - ▶ Microgrid 1: 50 MW
  - ▶ Microgrid 2: 1 MW interligado e aninhado no microgrid maior em área residencial.
  - ▶ Interligação em 12 KV
  - ▶ Geração
    - ▶ 1 eólica de 100 KW
    - ▶ 1 solar de 125 KW
    - ▶ 2 centrais a gás de 500 KW
    - ▶ Conjunto de baterias de 250KW/ 500 KWh para integrar e manter a operação.

**PRIMEIRO MICROGRID A GANHAR O CERTIFICADO GOLD PEER (PERFORMANCE EXCELENCE IN ELECTRICITY RENEWAL).**

# CASO: MICROGRIDS INTERLIGADOS COM FONTES DE GERAÇÃO RENOVÁVEIS



Software de Interligação e Gestão fornecido pela S&C que coordenou o projeto.

# CASO: ILHAMENTO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

- ▶ Concessionária: BC Hydro (2014)
- ▶ Fornecedor: S&C
- ▶ Cidade de 300 consumidores residências, alimentada por alimentador de 25KV, com 55 Km da Subestação.
  - ▶ Necessidade de ilhamento (confiabilidade)
  - ▶ Eliminar back-up de diesel
  - ▶ Redução de demanda de pico (peak shaving)
  - ▶ Aumentar a vida de transformadores evitando sobrecarga.
- ▶ Solução S&C: 1 MW de baterias NaS (fabricante NGK) por aproximadamente 7 horas.

50% do investimento pelo Natural Resources Canada (NCR)

# CASO: ILHAMENTO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Sistema localizado a 5 km da comunidade

*Completed 1-MW BC Hydro Energy Storage System at Field Substation.*



*Construction of energy storage system, enclosure, and controls at Field Substation.*

Nos 6 primeiros meses de funcionamento: 6 grandes interrupções, com 40 horas de suprimento por baterias. Sendo a maior por 8 horas.

# PEAK SHAVING EM SÃO LUIZ

## -100 KW / 170 KWH



# SISTEMA HÍBRIDO EM CAMPINAS

## - 100 KW / 255 KWH



# ARMAZENAMENTO EM USINA HIDRÁULICA - CASO BARIRI



Pioneiro no mundo por ser alimentado por sistema auxiliar do próprio gerador da usina.

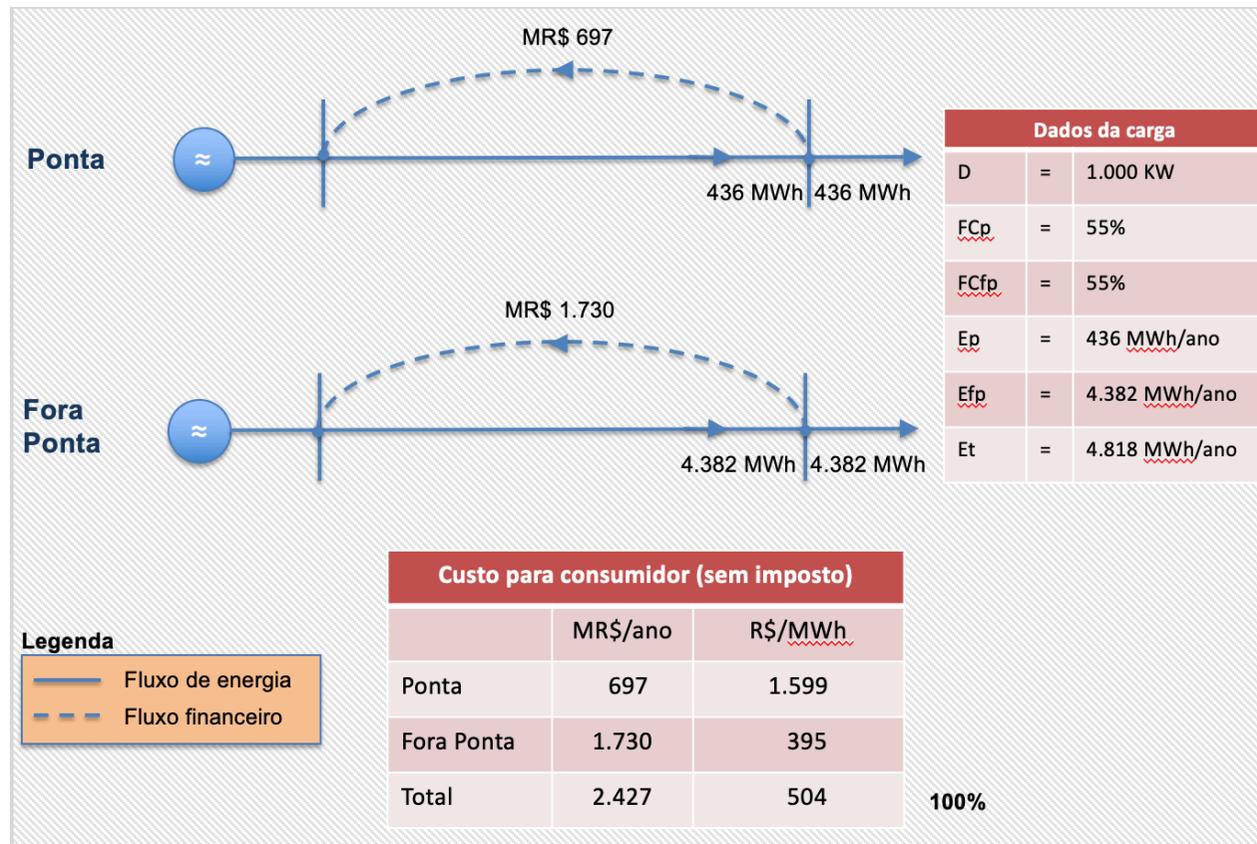


**ABAQUE**  
Associação Brasileira de Armazenamento e Qualidade de Energia

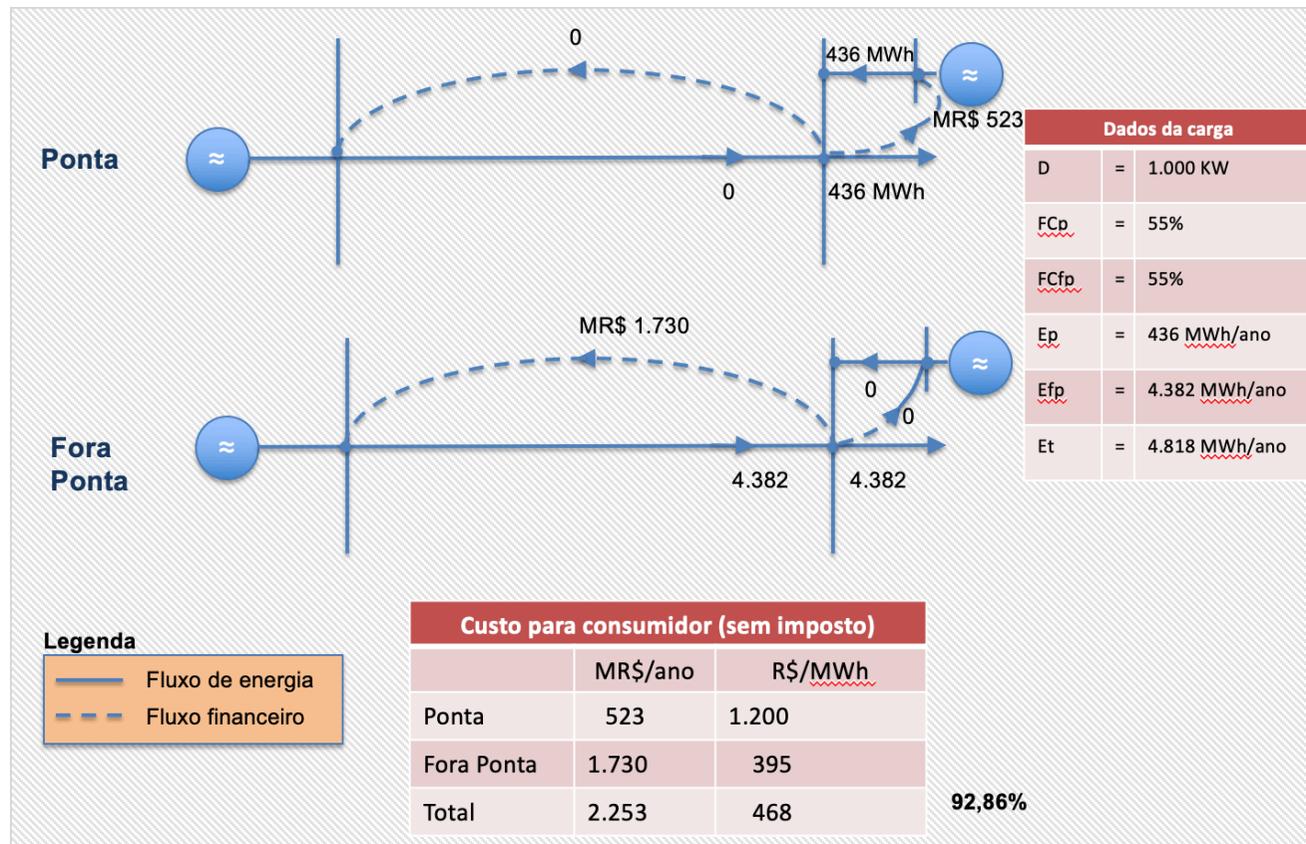
# CASO

Análise de caso real de peak shaving  
de consumidor média tensão no  
mercado brasileiro

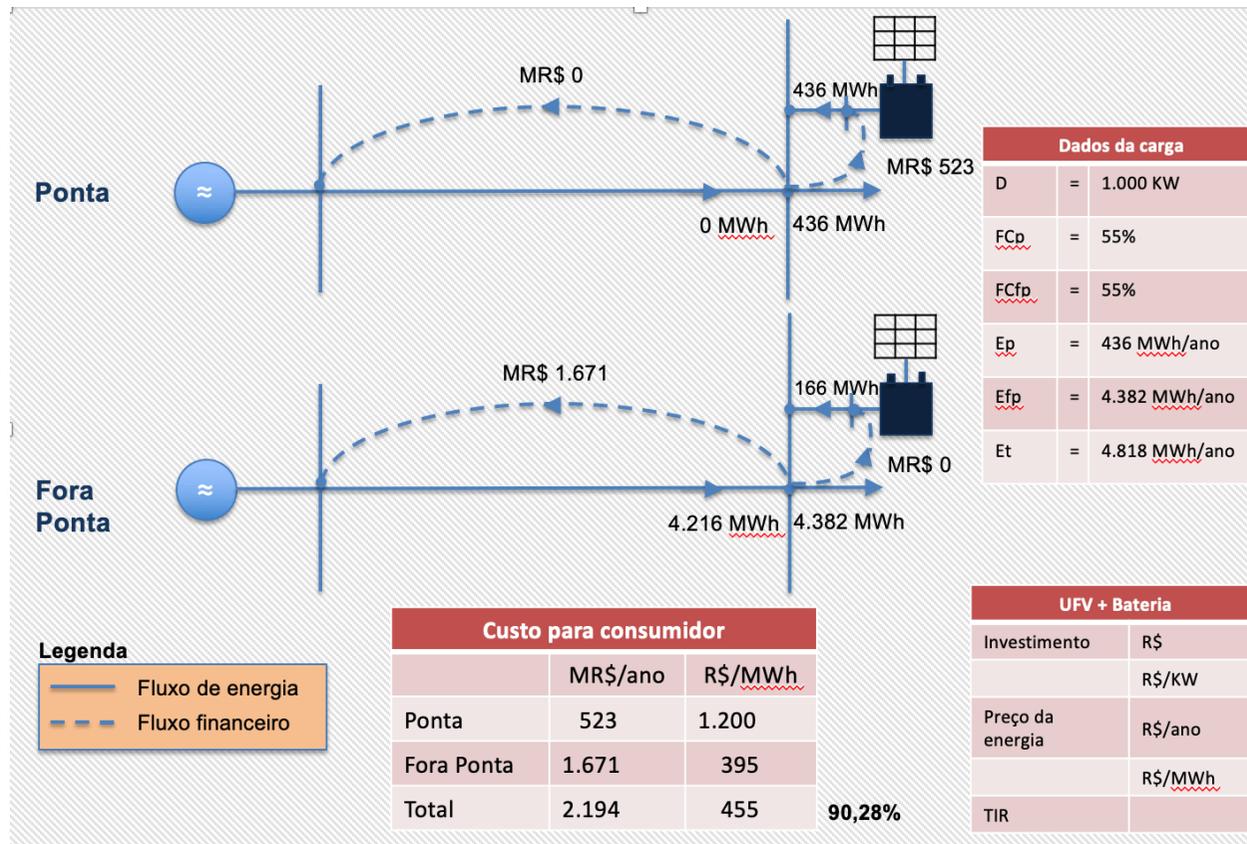
# CASO BASE DE GERAÇÃO HÍBRIDA PARA O CONSUMIDOR



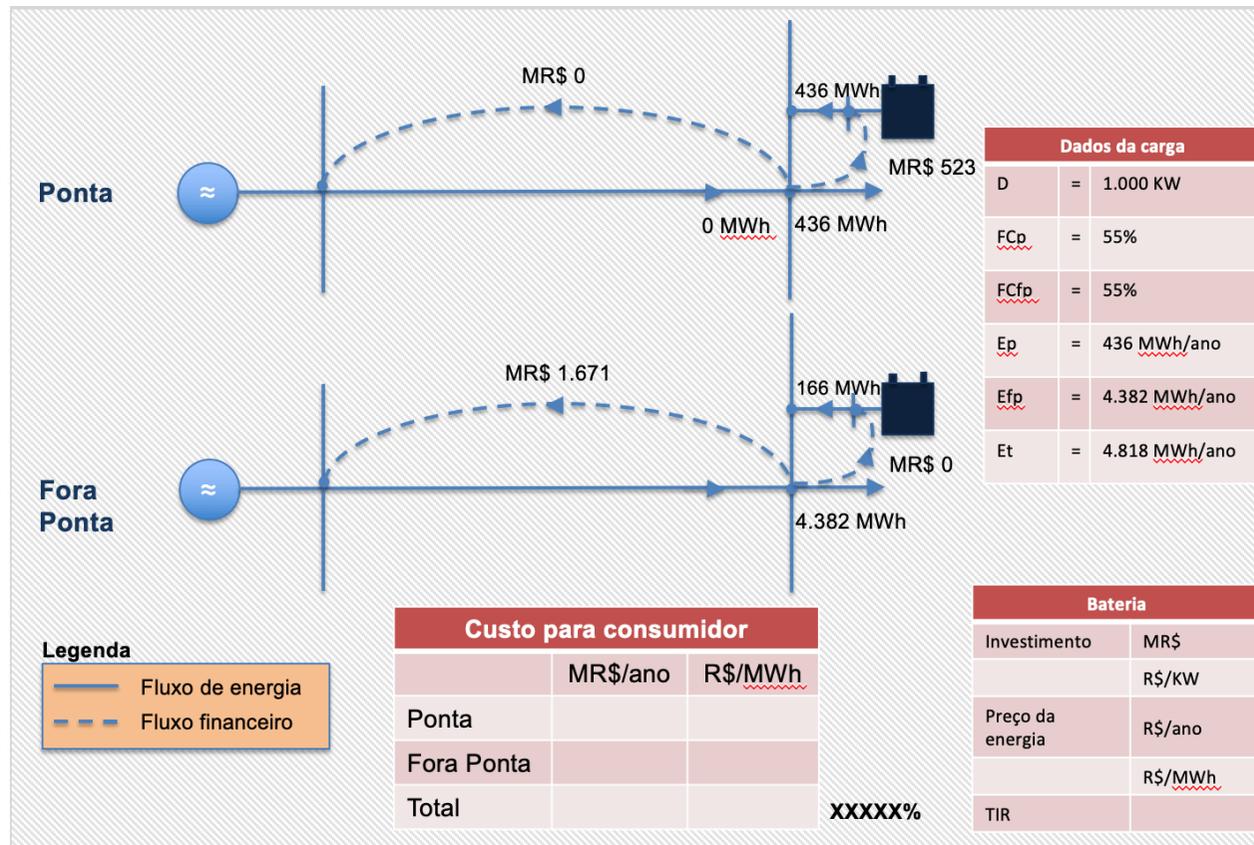
# GERAÇÃO DE PONTA COM DIESEL



# GERAÇÃO DE PONTA E FORA DE PONTA COM UFV + BATERIAS



# GERAÇÃO DE PONTA COM BATERIAS



# CONCLUSÕES

- ▶ De uma forma geral os sistemas estão se viabilizando em grande parte para suportar a geração híbrida, com fantástica redução de custos de geração de energia.
- ▶ Sistemas “off-grid” estão sendo beneficiados, em sua competitividade, pelas condições de logísticas de fornecimento, custos de sistemas de T/D e altas tarifas.
- ▶ No grid de transmissão existem divergências sobre a atual relação custo x benefícios de ESS em 2019. Entretanto os benefícios não são questionados. Faltam estudos de externalidades.
  - ▶ Resiliência
  - ▶ Controle de Tensão e Frequência
  - ▶ Planejamento Dinâmico
  - ▶ Gestão de Ponta e Postergação de Investimentos
- ▶ No Brasil a introdução destas tecnologias se fará, em primeiro lugar, em sistemas menores, híbridos e no consumidor, por já apresentarem custos viáveis e terem vantagens competitivas em relação a tecnologias convencionais.
- ▶ Sistemas de grande porte, já em uso em escala em diversos lugares do mundo, dependem da regulamentação de serviços ancilares.
- ▶ Várias associações no Brasil já possuem grupos de trabalho exclusivamente neste assunto. A ABAQUE incentiva e apoia para que todas as entidades criem grupos de estudo sobre o tema ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.
- ▶ A ABAQUE tem uma proposta de Roadmap para armazenamento que pode ser disponibilizado para as associações.
- ▶ A ABAQUE advoga a criação de um mercado de USD 300 milhões para as tecnologias de armazenamento. Este mercado seria criado puramente em competitividade destas tecnologias dentro de padrões isonômicos.

Obrigado

**ABAQUE**

Associação Brasileira de Armazenamento  
e Qualidade de Energia

R. Sebastião Fabiano Dias 210, cj36  
CEP:30320-690, Belvedere  
Belo Horizonte, MG  
t: 31 2535-3330

**CARLOS BRANDÃO**

Diretor Executivo

carlos.brandao@abaque.com.br

c: 31 8666 1233 / 31 9145-3300

[www.abaque.com.br](http://www.abaque.com.br)