

Modelo para Integração Eficiente do Armazenamento de Energia no Sistema Elétrico Brasileiro

SOBRE O PROJETO

O armazenamento de energia é uma das tecnologias mais estratégicas para a transição energética brasileira. Nesse contexto, surge o projeto conduzido pela PSR para o Instituto Clima e Sociedade, que analisa o papel e o potencial dos Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs), com foco especial em baterias, para a descarbonização do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), o aumento da resiliência operacional e o fortalecimento de comunidades vulneráveis. O projeto avalia o escopo técnico-regulatório, econômico e socioambiental da inserção de baterias no SEB, considerando necessidades sistêmicas, benefícios técnicos e econômicos, e impactos sociais e ambientais associados à expansão da tecnologia.

ATIVIDADES DO PROJETO

- 01** **Análise do Contexto e Desafios do SEB**
Avaliação quantitativa das necessidades sistêmicas e diagnóstico baseado em entrevistas e pesquisas técnicas
- 02** **Análise das Experiências Internacionais**
Melhores práticas operacionais, regulatórias e econômicas de experiências internacionais adaptáveis ao contexto brasileiro
- 03** **Identificação de Barreiras e Proposição de Soluções**
Mapeamento de entraves à adoção de sistemas de armazenamento e recomendações para eliminá-los
- 04** **Formulação de Modelos Operacionais para integração dos SAEs**
Diretrizes estratégicas para operação do SEB contemplando o uso de SAEs e seus múltiplos benefícios
- 05** **Avaliação dos Impactos Socioeconômicos e Fortalecimento das Comunidades Locais**
Avaliação qualitativa dos benefícios dos SAEs na segurança energética e desenvolvimento socioeconômico e proposição de iniciativas de capacitação

APLICAÇÕES DAS BATERIAS

As baterias são ativos multifuncionais que atuam em múltiplos segmentos do setor elétrico (geração, transmissão, distribuição e consumo) e oferecem uma gama diversificada de serviços:

RECURSOS CENTRALIZADOS	RECURSOS DISTRIBUÍDOS
Ativo de Geração: capacidade firme, arbitragem de preços, serviços ancilares (controle de frequência, suporte de tensão)	Ativo de Distribuição: qualidade e continuidade, integração de geração distribuída
Ativo de Transmissão: alívio de congestionamentos, suporte à estabilidade, adiamento de reforços de rede	Behind-the-Meter (BTM): gestão de demanda, backup crítico (hospitais, data centers), agronegócio
	Sistemas Isolados: substituição de diesel, universalização do acesso, resiliência em regiões remotas

Análise Contexto e Desafios do Sistema Elétrico Brasileiro do Presente e do Futuro

AValiação DA NECESSIDADE SISTÊMICA

O SEB foi historicamente estruturado sobre uma base hídrica flexível. A rápida expansão de fontes renováveis variáveis (solar e eólica), combinada à redução dos grandes reservatórios, gera novos desafios no atendimento das necessidades sistêmicas.

FLEXIBILIDADE

Capacidade de resposta rápida às variações da carga líquida causadas pela intermitência renovável

RESERVA DE GERAÇÃO

Seguro operacional contra variações súbitas, falhas e queda na geração renovável

POTÊNCIA DISPONÍVEL

"Fôlego instantâneo" da rede para atender a demanda no exato momento de pico

Impactos das contratações do último LRCAP

As análises apresentadas não focam na oferta que potencialmente estará disponível à data do final do horizonte de análise (2029), mas sim nos perfis de carga líquida do sistema. Vale notar que o parque existente, junto da oferta de geração já contratada, inclusive pelo recente LRCAP, deverá ser capaz de suprir parte relevante desta demanda.

NECESSIDADE POR FLEXIBILIDADE

Análises baseadas no Programa Mensal da Operação (PMO/ONS) de fevereiro de 2025, com horizonte até dezembro de 2029, revelam rampas de carga líquida crescentes e cada vez mais acentuadas - com pico de **quase 70 GW em setembro de 2029**. A tabela abaixo sintetiza os requisitos de rampa ascendente no mês mais crítico:

Janela de Rampa	Média Anual (P50)	Set/2029 P50	Set/2029 P90	Cenário Crítico (P99)
1 hora	6 GW	10 GW	15 GW	até 18 GW
4 horas	20 GW	25 GW	38 GW	> 50 GW
7 horas	30 GW	35 GW	45 GW	> 60 GW

RESERVA DE GERAÇÃO EM 2029

A Reserva de Potência Operativa (RPO) funciona como o seguro do sistema. É composta por três camadas: Primária (resposta em segundos), secundária (resposta em minutos) e terciária (responde em eventos severos). As necessidades de reserva associadas à demanda e à geração eólica foram estimadas em:

Submercado	Demanda (MW)	Eólica (MW)	Total (MW)
Nordeste	964	1.994	2.958
Sul	496	349	845
Sudeste	1.971	—	1.971
Norte	481	—	481

BALANÇO DE POTÊNCIA DISPONÍVEL EM 2029

Em uma avaliação do balanço de potência para o ano de 2029, considerando manutenção do parque térmico existente e expansão de renováveis não despacháveis, constatou-se a necessidade de contratação de potência devido a uma apertada margem de potência (2%) no sistema, considerando as crescentes incertezas do sistema elétrico brasileiro. Enquanto um quadro de estreitamento estrutural reforça a necessidade de capacidade firme, o armazenamento desponta como recurso estratégico para tal.

PRINCIPAIS DIAGNÓSTICOS

A partir de avaliações quantitativas e entrevistas com stakeholders estratégicos, os diagnósticos se organizam em quatro principais eixos temáticos, e outros pontos transversais.



OPERACIONAL

Dimensionamento é crítico em sistemas híbridos e isolados

Gestão térmica desafiadora em regiões tropicais (umidade, calor, lodo, insetos) - requer "tropicalização"

Ausência de modelos padronizados para estudos de confiabilidade e planejamento do ONS

Benefícios operacionais claros: suavização de rampas, redução de curtailment, serviços ancilares e alívio de congestionamentos



REGULATÓRIO

Inexistência de arcabouço regulatório consolidado: outorga, conexão, tarifação e serviços ancilares ainda indefinidos

"Loop de inércia": falta de regulação inibe investimento; falta de projetos inibe evolução regulatória

TUST/D é ponto crítico: risco de dupla cobrança pode inviabilizar projetos

Empilhamento de valor (value stacking) visto como relevante; exige instrumentos que permitam captura simultânea de múltiplas receitas



AMBIENTAL

Benefício ambiental: substituição de diesel, redução de emissões e menor necessidade de expansão de linhas

Baixa ocupação territorial (contêineres compactos) facilita licenciamento vs. parques solar/eólico

Ausência de diretrizes nacionais de licenciamento para baterias gera variações entre estados

Gestão do fim de vida: descarte, logística reversa e economia circular ainda precisam de marco regulatório específico



INCLUSÃO SOCIAL

Em Sistemas Isolados na Amazônia Legal; baterias são relevantes na redução de emissões

Programa Luz para Todos: SAEs como mecanismo central de universalização em áreas de difícil acesso

Lacuna de cobertura: especialmente no que tange acesso para desenvolvimento socioeconômico

Governança comunitária e capacitação local são fatores críticos de sucesso e sustentabilidade dos projetos

PONTOS TRANSVERSAIS

FINANCIAMENTO

Linhas de crédito com valores mínimos elevados. Tributação pode chegar a 70% do CAPEX.

GOVERNANÇA

Fragmentação institucional: atuação segmentada, sem coordenação interinstitucional permanente.

FATORES POLÍTICOS

Em regiões isoladas, interesses político-econômicos enraizados no modelo a diesel retardam a transição energética.

LOGÍSTICA ISOLADA

Logística Isolada: Rotas fluviais /rodoviárias com gargalos sazonais, alto custo de transporte e carência de manutenção técnica regional.

PRÓXIMOS PASSOS

Os diagnósticos estabelecem a base analítica para as etapas seguintes do projeto, com o objetivo de orientar ações que tornem a expansão do armazenamento de energia no Brasil tecnicamente robusta, socialmente justa e regulatoriamente consistente.