

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DO BESS NO SISTEMA ELÉTRICO

ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF BESS IN THE ELECTRICITY SYSTEM

Dayane Rosa Borges^{1, i}

Saulo de Queiroz Oliveira^{2, ii}

Luiz Gustavo Ribeiro³

Rubia Maria Cardoso de La Paz Arias⁴

RESUMO

Este artigo analisa a importância dos sistemas de armazenamento de energia por baterias (BESS) no contexto da transição energética brasileira. Como estudo de caso, é apresentado a implementação do BESS na Subestação de Registro-SP, projeto pioneiro da ISA CTEEP, que representa a primeira aplicação dessa tecnologia conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN). A experiência evidencia o papel estratégico do BESS no aumento da estabilidade da rede elétrica, flexibilidade operativa e segurança energética. Os resultados apontam melhorias técnicas e operacionais significativas, embora ainda existem desafios regulatórios e econômicos que dificultam sua ampla adoção no país. Por fim, o artigo nos mostra o cenário brasileiro e os mercados mais avançados, como Estados Unidos, Alemanha e Austrália, onde políticas públicas e incentivos têm acelerado o desenvolvimento do setor

Palavras-chave: BESS; transição energética; estabilidade; rede elétrica; armazenamento.

ABSTRACT

This article analyzes the importance of Battery Energy Storage Systems (BESS) in the context of Brazil's energy transition. As a case study, it presents the implementation of BESS at the Registro Substation in São Paulo, a pioneering project by ISA CTEEP, which represents the first application of this technology connected to the Brazilian National Interconnected System (SIN). The experience highlights the strategic role of BESS in enhancing grid stability, operational flexibility, and energy security. The results indicate significant technical and operational improvements, although regulatory and economic challenges still hinder their widespread adoption in the country. Finally, the article compares the Brazilian scenario with more advanced markets, such as the United States, Germany, and Australia, where public policies and financial incentives have accelerated the development of the sector.

Keywords: BESS; energy transition; stability; grid; energy storage.

¹ Pós-graduanda em Proteção e Controle de Sistemas Elétricos de Potência pela Escola SENAI Suíço Brasileira . E-mail: dayanerosaborges@gmail.com

² Pós-graduando em Proteção e Controle de Sistemas Elétricos de Potência pela Escola SENAI Suíço Brasileira . E-mail: sauloq.oliveira@gmail.com

³ Mestrado em Energia e Automação pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo USP . E-mail: luiz.ribeiro@sp.senai.br

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a transição para fontes de energia renováveis tem se intensificado, impulsionada pela necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e garantir a segurança energética. De acordo com o Ministério de Minas e Energia as fontes renováveis responderam por 93,1% da geração de energia elétrica em 2023 (MME, 2024).

No entanto, a intermitência de fontes como a energia solar e eólica representa um desafio significativo para a estabilidade da rede elétrica. Conforme noticiado pela CNN (2024), o apagão ocorrido em 2023 no Brasil, que afetou diversas regiões do país, evidenciou a vulnerabilidade das infraestruturas elétricas diante de falhas no fornecimento, ressaltando a importância de soluções robustas para garantir a continuidade e a qualidade do fornecimento de energia. Nesse contexto, os sistemas com o uso do BESS (*Battery Energy Storage System* na tradução, Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias) emergem como soluções fundamentais para viabilizar a expansão das energias renováveis e otimizar a gestão da eletricidade.

De acordo com o estudo da Empresa de Pesquisa Energética os sistemas de armazenamento possuem múltiplas funcionalidades, podendo ser utilizados em conjunto com os mecanismos de geração (compensando, por exemplo, os efeitos da intermitência de fontes renováveis não despachável na geração global do Sistema Elétrico), ou com as instalações de distribuição e transmissão (conferindo melhor gestão dos ativos da rede) EPE (2019). Além disso, podem ser utilizados para a prestação de serviços ancilares, que são fundamentais para manter o equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia além de assegurar a qualidade de fornecimento do Sistema Elétrico, como por exemplo, o controle de frequência, controle de tensão, reserva de capacidade ou reserva de potência, regulação de potência reativa e restauração do sistema.

Com a crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis projeta-se um aumento expressivo na capacidade instalada de sistemas BESS nos próximos anos. Segundo a PV Magazine (2024) o Brasil pode chegar a 25GW de capacidade instalada até 2030. A projeção considera o avanço da participação de renováveis variáveis, como solar e eólica, na matriz elétrica brasileira, de 30% atualmente para 40% até 2030. Atualmente, o país acumula entre 350 MW e 450 MW de armazenamento em baterias.

Nos últimos anos, o custo das baterias, especialmente as de íon-lítio, apresentou uma redução significativa. De acordo com dados da Agência Internacional de Energia (IEA), o preço dessas baterias no mercado internacional registrou uma queda de 85% entre 2010 e 2023. No Brasil, estima-se que o setor de baterias de íon-lítio apresente um crescimento entre 20% e 30% até 2030. Além disso, a IEA projeta que a capacidade global instalada de armazenamento em baterias ultrapasse 1 TW até o final da década, podendo atingir aproximadamente 5 TW até 2050. (BRASIL, 2024).

Conforme relatado pelo Brasil Energia (2024), a adoção do BESS tem progredido de maneira significativa em países como China, Estados Unidos, Alemanha, Itália, Reino Unido e Chile. Estes países utilizam as BESS, principalmente, para a prestação de serviços ancilares, com uma autonomia variando entre 2 e 5 horas, tanto em configurações centralizadas quanto distribuídas.

Nos Estados Unidos, a Califórnia tem sido um exemplo de como as baterias podem ajudar a gerenciar a intermitência das fontes renováveis, enquanto a Alemanha e o Reino Unido têm utilizado sistemas de BESS para equilibrar a geração e a demanda de energia renovável em suas redes. A Austrália, com seu icônico projeto *Hornsedale Power Reserve*, também tem mostrado como o armazenamento em grande escala pode melhorar a confiabilidade das redes elétricas e reduzir os custos de energia segundo o Observatório de Inovação Para Cidades Sustentáveis (OICS, 2024).

Diante desse cenário global, o Brasil pode se espelhar nesses exemplos para acelerar a adoção de tecnologias de armazenamento de energia, aproveitando seu vasto potencial em fontes renováveis, como solar e eólica. De acordo com o portal da ABSOLAR (2025), a energia solar representa 21,9% da matriz elétrica brasileira, enquanto a energia eólica corresponde a 13,4%. Ainda em 2025, o Brasil continuará se destacando na implementação de fontes renováveis. Segundo a ANEEL (2025), a previsão de expansão da oferta de energia para este ano é de 9.950 MW de potência instalada.

A implementação de sistemas de BESS no Brasil não só contribuiria para a estabilidade da rede elétrica, mas também fortaleceria a transição para uma matriz energética mais limpa e resiliente, alinhada aos compromissos ambientais e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Com o avanço das tecnologias e a queda dos custos das baterias, o Brasil tem uma oportunidade única de se tornar um líder na integração de energia renovável e no uso de soluções inovadoras de armazenamento.

Diante desse contexto, o presente artigo conduz uma análise sobre a implementação do BESS integrado ao Sistema Interligado Nacional (SIN), destacando sua crescente relevância no cenário energético atual, especialmente frente à necessidade de maior estabilidade, eficiência e sustentabilidade no setor elétrico. Para tanto, será apresentado um estudo de caso de uma subestação situada no município de Registro-SP, que servirá como base para essa análise.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conceito de Baterias

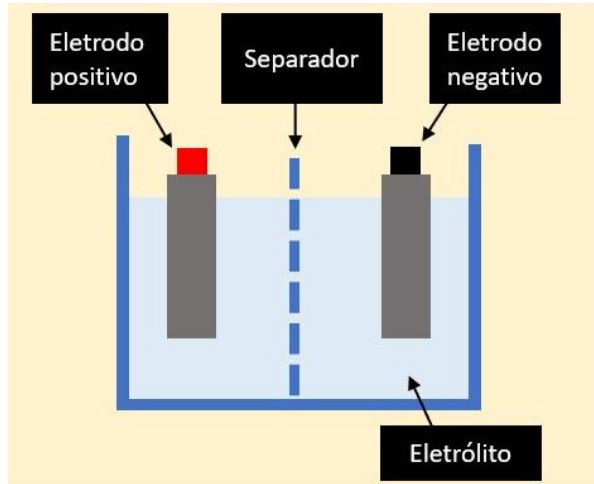
Uma bateria, também conhecida tecnicamente como acumulador elétrico, é um dispositivo projetado para armazenar energia elétrica sob a forma de energia química. Esse processo de armazenamento permite que a energia seja posteriormente convertida novamente em eletricidade para alimentar diversos tipos de cargas e aplicações. As baterias desempenham um papel essencial em sistemas de energia portátil, veículos elétricos, dispositivos eletrônicos e até mesmo em infraestruturas críticas, como sistemas de energia de backup (VILLALVA, 2021).

Seu funcionamento baseia-se em reações eletroquímicas reversíveis, possibilitando múltiplos ciclos de carga e descarga ao longo de sua vida útil.

Entre as baterias mais comuns, encontramos as de chumbo-ácido (Pb), chumbo-carbono, íons de lítio (Li-íon), níquel-cádmio (NiCd), níquel-metal-hidreto (NiMH), cloreto de níquel e sódio (NaNiCl₂), sódio e enxofre (NaS), além das baterias de fluxo, que podem usar diferentes elementos químicos.

Na figura 1 é apresentada a estrutura básica de uma célula de bateria:

Figura 01 – Estrutura Básica de uma Célula de Bateria



Fonte: VILLALVA, 2021

Eletrodos: as folhas de eletrodo são lâminas metálicas, conhecidas como coletores de corrente, revestidas com uma pasta contendo materiais como grafite, ferro, carbono e compostos de lítio. Existem dois tipos principais: os ânodos, que são feitos de cobre e transportam a corrente negativa, e os cátodos, produzidos em alumínio, responsáveis por conduzir a corrente positiva.

Placa Separadora: as folhas separadoras são fabricadas a partir de um material poroso, geralmente poliolefina, que permite sua imersão no eletrólito líquido. Elas são posicionadas entre as folhas de eletrodo para criar uma barreira física, impedindo curtos-circuitos.

Eletrólito: o eletrólito líquido é inserido nas células e absorvido pelas folhas separadoras, possibilitando a condução da corrente elétrica através dessas camadas.

Carcaças das células: são, em geral, feitas de aço revestido com níquel, pois esse revestimento evita reações químicas entre o aço e o eletrólito. Em alguns casos, o alumínio também é utilizado com a mesma finalidade.

2.2 Principais baterias aplicadas ao BESS

2.2.1 Bateria de chumbo ácido (Pb)

As baterias de chumbo-ácido são dispositivos de armazenamento de energia compostos por placas positivas e negativas de chumbo, com um eletrólito à base de ácido sulfúrico.

As principais limitações dessas baterias são a baixa densidade energética, tornando-as perdidas e volumosas, e a curta vida útil, com um número reduzido de ciclos de carga e descarga.

Uma vantagem dessas baterias é a segurança contra incêndios e explosões, além da capacidade de equalização natural. Modelos ventilados podem suportar até 6.000 ciclos de operação, enquanto as seladas ultrapassam 1.000 ciclos sob condições ideais (VILLALVA, 2021).

2.2.2 - Baterias de íons de lítio

As baterias de íons de lítio são as mais populares no mercado, sendo amplamente utilizadas em dispositivos eletrônicos, veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia. Elas se destacam por sua alta densidade de energia, maior vida útil e eficiência superior em comparação com outras baterias recarregáveis.

A tecnologia evoluiu desde os anos 1970 e tornou-se comercialmente viável nos anos 1990, substituindo as baterias de níquel-cádmio. Sua adoção na indústria automotiva começou nos anos 2000 e, a partir de 2010, passou a ser usada também no armazenamento de energia renovável.

As baterias de lítio estão disponíveis em células individuais, blocos (packs) e bancos de baterias, sendo configuradas conforme a aplicação necessária (VILLALVA, 2021).

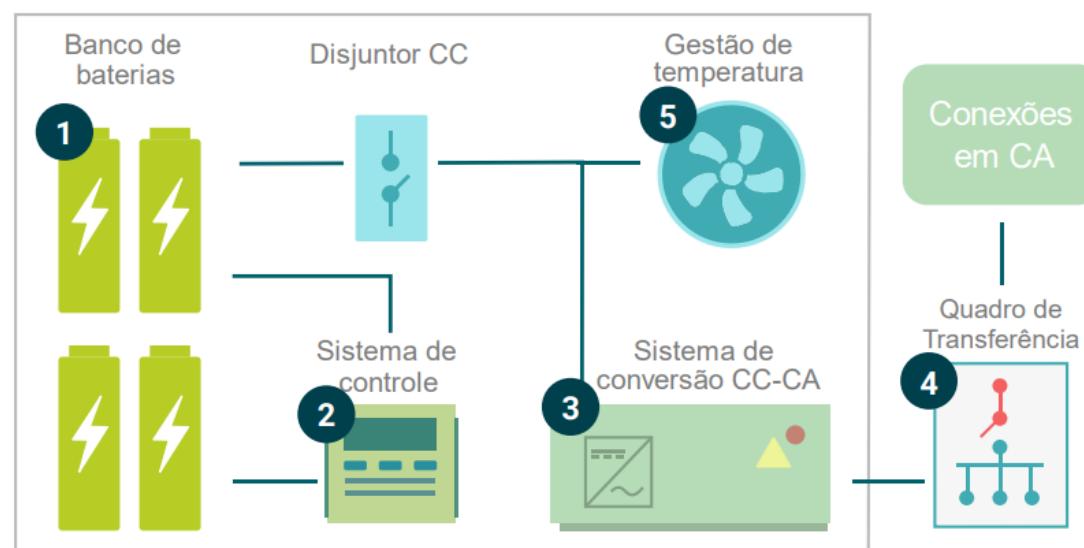
2.3 Conceito BESS

O BESS é uma tecnologia avançada de armazenamento de energia, composta por conjuntos de baterias recarregáveis de alta eficiência. Ele foi desenvolvido para otimizar a gestão do sistema elétrico, proporcionando maior estabilidade, confiabilidade e flexibilidade no uso da energia, além de possibilitar a integração com fontes renováveis, como solar e eólica.

2.3.2 Composição do BESS

Abaixo segue figura 2 com o resumo da composição da solução BESS:

Figura 02 - Composição da Solução BESS



LEGENDA:

- o **(1) Banco de baterias:** Blocos de baterias individuais montados em 'racks'. Podem ser baterias de lítio, ou de outras tecnologias, dependendo da aplicação;
- o **(2) Sistema de controle**
 - Software de gerenciamento (EMS: energy management system), realizando o despacho da energia armazenada
 - Supervisório técnico assegurando a correta interação entre vários componentes do sistema (baterias, inversores, medidores etc);
 - Interface de comunicação permitindo supervisão e operação
- o **(3) Sistema de conversão:** Converte a energia armazenada na bateria de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) e vice-versa.
- o **(4) Quadro de transferência:** Controla a conexão do sistema de armazenamento com a rede elétrica e as cargas do usuário.
- o **(5) Gestão de Temperatura**
 - Sensores de temperatura e humidade;
 - Sistema de ar condicionado ou aquecedor garantindo;
 - Sistema de combate à incêndio;

Fonte: GREENNER, 2021

2.3.3 - Aplicações

Segundo o Canal Solar (2025), o *BESS* passou a desempenhar um papel essencial na estabilidade do sistema, especialmente com o crescimento da geração solar e eólica.

Essa tecnologia desempenha um papel estratégico na modernização do setor elétrico, proporcionando maior confiabilidade, flexibilidade operacional e eficiência energética. Sua aplicação abrange desde a geração de energia até o consumo final, contribuindo significativamente para a transição energética e a sustentabilidade do sistema elétrico.

Entre suas principais funções, o *BESS* possibilita o armazenamento de energia renovável, garantindo o fornecimento contínuo mesmo diante da intermitência de fontes como solar e eólica. Além disso, auxilia na regulação da frequência e tensão da rede, melhora a qualidade da energia distribuída e reduz a dependência de fontes fósseis em sistemas isolados. No contexto industrial e comercial, permite a otimização do consumo energético, reduzindo custos e promovendo maior autonomia frente a oscilações tarifárias e instabilidades do sistema elétrico.

2.3.3.1 Intermitência para fontes renováveis (solar e eólica)

Nessa aplicação, o *BESS* desempenha um papel fundamental na mitigação da intermitência das fontes renováveis, especialmente a solar e a eólica. Durante períodos de alta produção, quando a geração de energia excede o consumo imediato, o sistema armazena esse excedente de forma estratégica, evitando desperdícios e maximizando o aproveitamento da eletricidade gerada. Posteriormente, essa energia acumulada é liberada conforme a demanda, garantindo um suprimento contínuo, estável e confiável, mesmo em momentos de baixa geração.

Além disso, o *BESS* contribui significativamente para a regulação da rede elétrica, reduzindo oscilações e melhorando a qualidade da energia distribuída. Sua implementação é essencial para ampliar a participação de fontes renováveis no sistema energético, tornando a matriz mais sustentável, eficiente e resiliente.

2.3.3.2 Backup

Nessa função, o *BESS* opera como um sistema de armazenamento de energia que entra em ação automaticamente em caso de falhas na rede elétrica, garantindo que cargas críticas continuem operando sem interrupções. Dessa forma, mesmo diante de instabilidades no fornecimento, equipamentos essenciais permanecem em funcionamento.

Além disso, ao integrar o *BESS* a sistemas solares, a necessidade de geradores a diesel para backup é significativamente reduzida. Isso não só diminui os custos operacionais, mas também traz benefícios ambientais, pois reduz a emissão de carbono, contribuindo para um futuro mais sustentável.

2.3.3.3 Peak shaving

A técnica de *peak shaving* é utilizada para mitigar o consumo de energia durante os períodos de pico de demanda. Esses picos, geralmente, ocorrem durante o dia, em momentos de intensa atividade comercial e industrial, ou ainda em eventos sazonais, como as celebrações de final de ano. Um exemplo ilustrativo dessa prática é o estudo de caso que estamos apresentando, no qual implementar um *BESS* para suportar a rede elétrica durante períodos de alta demanda, evitando, assim, a necessidade de alterar a infraestrutura da rede de transmissão.

Ademais, o *peak shaving* pode ser complementado por estratégias como a resposta à demanda (*demand response*), nas quais incentiva os consumidores a reduzir o consumo de energia nos momentos de pico, frequentemente com a oferta de incentivos financeiros.

Esse processo contribui significativamente para a redução dos custos operacionais e para a melhoria da estabilidade da rede elétrica.

2.3.3.4 Time Shifting

O *time shifting* consiste na capacidade de transferir o consumo de energia de um período para outro. Em vez de utilizar a energia à medida que é gerada ou disponibilizada, o sistema armazena essa energia para utilizá-la em um momento posterior, com a finalidade de otimizar os custos, aprimorar a eficiência do sistema e equilibrar a oferta e a demanda de energia.

A energia armazenada na bateria é então empregada quando a demanda de energia é mais elevada, como durante a noite ou em períodos de pico, quando a eletricidade proveniente da rede pode apresentar um custo mais elevado ou ser mais difícil de acessar. O *BESS* realiza o "deslocamento" do consumo de energia de um período de baixa demanda para um período de alta demanda.

O *time shifting*, ao utilizar energia armazenada em vez de adquirir da rede durante horários de pico, contribui para a redução de custos, especialmente em regiões com tarifas variáveis, onde a eletricidade é mais cara nesses períodos.

Além de beneficiar os consumidores individuais, o *time shifting* com *BESS* auxilia na estabilização e balanceamento da rede elétrica, fornecendo energia armazenada quando a demanda é alta e a geração é baixa, prevenindo sobrecargas e assegurando um fornecimento estável. Assim, o *time shifting* no contexto do *BESS* possibilita um consumo de energia mais eficiente, gerando benefícios econômicos e promovendo a estabilidade da rede elétrica.

2.3.3.5 Qualidade de energia

O *BESS* desempenha um papel importante na melhoria da qualidade de energia de um sistema elétrico. Ele contribui para estabilizar a rede elétrica, atenuar flutuações de tensão e fornecer energia de forma mais confiável.

Segundo a *Energy Vault (2025)* foram realizados estudos de projetos implementando o sistema *BESS*, que evidenciou uma redução substancial na ocorrência de distúrbios de tensão. O sistema desempenhou um papel crucial na mitigação das flutuações de tensão induzidas por fontes de energia renovável intermitentes e pelos picos de demanda, contribuindo para a estabilidade da rede elétrica.

3 METODOLOGIA

3.1 Pesquisas bibliográficas

O presente estudo de caso tem como foco a análise do sistema *BESS* localizado em uma subestação em Registro-SP. Para isso, foram utilizadas diferentes abordagens metodológicas, combinando pesquisa bibliográfica, documental e análise de dados técnicos.

A pesquisa bibliográfica foi baseada principalmente no artigo “As perspectivas na aplicação de baterias no planejamento energético brasileiro” de Martins et al. (2024), no material técnico “Armazenamento de Energia - As Vantagens Técnicas, Ambientais e Econômicas” Engenharia (2023) e na documentação “Análises de médio prazo do grupo de atendimento do litoral de São Paulo” EPE (2020). Esses documentos fornecem informações essenciais sobre o funcionamento, desafios e impactos dos sistemas de armazenamento de energia no Brasil, com destaque para a implementação do *BESS* de Registro-SP.

Além disso, o relatório da *Greener* foi utilizado como referência complementar, apresentando um panorama atualizado do mercado de *BESS* no Brasil e permitindo contextualizar o estudo de caso dentro do cenário nacional.

A pesquisa documental envolveu a análise de relatórios técnicos e documentos oficiais relacionados ao projeto do *BESS* de Registro-SP, buscando compreender suas especificações, capacidade, impacto na rede elétrica local e benefícios proporcionados ao sistema de distribuição.

A análise dos dados técnicos foi realizada a partir da avaliação de informações sobre a operação do sistema, considerando aspectos como a eficiência energética, capacidade de armazenamento e resposta a variações de demanda. Para isso, foram comparados dados de desempenho do *BESS* antes e após sua implementação, com o objetivo de identificar melhorias e desafios operacionais.

Por fim, foram consideradas as limitações do estudo, como a disponibilidade de dados específicos sobre a operação do BESS e a necessidade de atualização constante das informações diante da evolução do setor energético. A abordagem adotada permitiu uma compreensão aprofundada sobre o papel do BESS de Registro-SP no contexto da transição energética e sua contribuição para a estabilidade do sistema elétrico.

3.2 Estudo de caso

3.2.1 - Implementação de um sistema BESS na subestação de Registro-SP

Em novembro de 2022, foi entregue o maior projeto de armazenamento de energia em baterias da América Latina. O empreendimento foi desenvolvido pela empresa ISA CTEEP em parceria com a YOU.ON (YOU.ON, 2023), sendo implementado em uma subestação localizada no município de Registro-SP.

O sistema conta com uma capacidade instalada de 60 MWh, sendo capaz de fornecer até 30 MW de energia por um período contínuo de duas horas. Para viabilizar essa operação, o projeto foi estruturado com um total de 180 racks de baterias, distribuídos em 30 contêineres estrategicamente organizados para garantir eficiência, segurança e confiabilidade no armazenamento e fornecimento de energia (YOU.ON, 2023).

Esse avanço representa um marco para o setor elétrico da região, contribuindo para a modernização da infraestrutura energética e reforçando a importância das soluções de armazenamento na otimização da gestão da rede elétrica e no suporte à estabilidade do sistema.

Figura 04 - Projeto de armazenamento de energia e a Subestação Registro (SP).



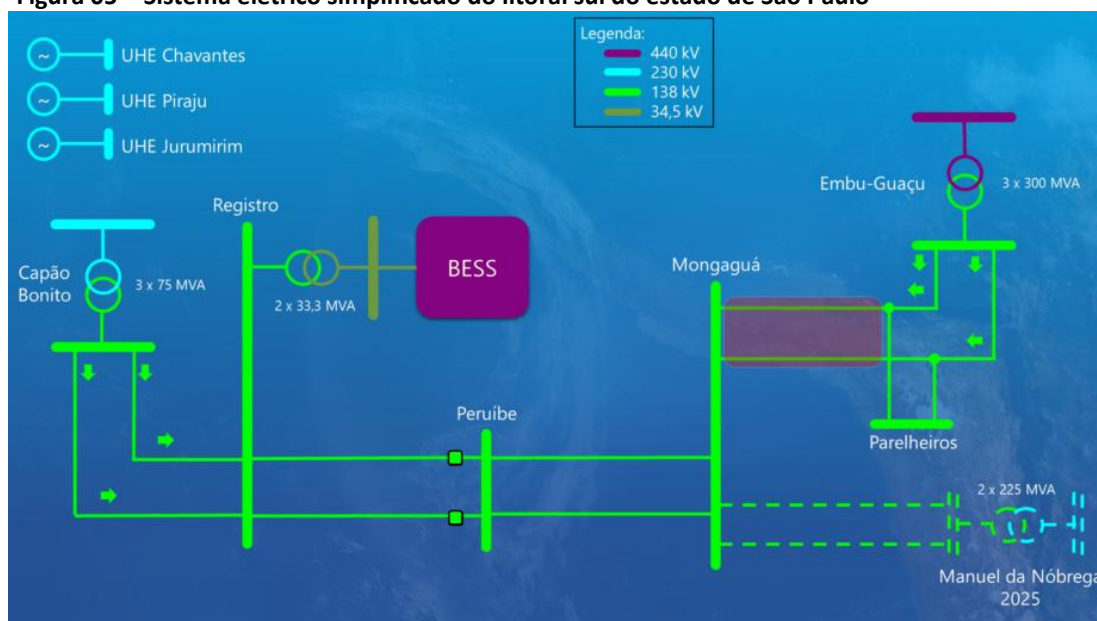
Fonte: (ENGENHARIA, 2023)

A necessidade de implantação do projeto surgiu de uma demanda urgente, que envolvia grandes desafios. A solução implementada pela ISA CTEEP tem como objetivo garantir a estabilidade e o suporte adequado às cargas elétricas no litoral paulista, uma região conhecida pelo expressivo aumento no consumo de energia durante a alta temporada de verão.

Esse crescimento da demanda ocorre principalmente em períodos festivos e feriados prolongados, como Natal, Réveillon, aniversário da cidade de São Paulo e Carnaval, quando o fluxo de turistas e moradores sazonais se intensifica. O aumento repentino de carga gera picos anuais que podem comprometer a capacidade do sistema de transmissão, resultando em sobrecargas e possíveis instabilidades no fornecimento de energia para a região.

A linha de transmissão de 138 kV que conecta Embu-Guaçu a Mongaguá vinha operando com alto carregamento há algum tempo. Em 2013, a EPE realizou um estudo para viabilizar a implementação de uma nova fonte de suprimento no litoral paulista: a subestação Manoel da Nóbrega. A licitação foi lançada em 2014, porém, a empresa vencedora enfrentou dificuldades com registros ambientais, resultando no adiamento do projeto, agora previsto para entrar em operação em 2025. Em 2019, estimava-se que, durante os verões de 2022 e 2023, a linha de transmissão poderia sofrer sobrecargas inaceitáveis em condições normais, com risco de cortes de carga (EPE, 2020).

Figura 05 - Sistema elétrico simplificado do litoral sul do estado de São Paulo



Fonte: (ENGENHARIA, 2023)

Diante desse cenário, diversas alternativas foram analisadas para atender à demanda adicional, incluindo as seguintes opções:

- **Reconstrução da Linha de Transmissão 138 kV Capão Bonito – Registro C1/C2:** Com uma extensão aproximada de 97 km, essa solução foi avaliada, porém considerada inviável no curto prazo devido à complexidade da obra, ao tempo necessário para sua execução e aos desafios regulatórios e ambientais envolvidos.

- **Utilização de geradores a diesel:** Essa opção também foi analisada, mas apresenta desafios significativos, como o alto custo operacional, a complexidade logística associada ao transporte e abastecimento do combustível, além do impacto ambiental negativo, principalmente devido à elevada emissão de gases de efeito estufa.
- **Utilização de geradores a diesel em conjunto com transformadores defasadores:** Essa opção também foi analisada, mas apresenta desafios significativos, como o alto custo operacional, a complexidade logística associada ao transporte e abastecimento do combustível, além do impacto ambiental negativo, principalmente devido à elevada emissão de gases de efeito estufa.
- **Banco de Baterias com 30 MW de potência e 2 horas de capacidade:** Implantação ágil, baixa emissão de gases de efeito estufa e tecnologia inovadora.

Após a análise das alternativas avaliadas, a implantação de baterias se destacou como a opção mais viável e estratégica. Essa solução, além de ser ágil e de rápida implementação, causaria um impacto socioambiental significativamente reduzido, o que era crucial em uma região de alta densidade populacional e sensibilidade ambiental. Além disso, a tecnologia de baterias se apresentou como a única alternativa capaz de mitigar de forma eficaz a sobrecarga no sistema elétrico do litoral paulista durante os verões de 2022/2023, quando a demanda por energia é historicamente mais intensa. Sua flexibilidade e mobilidade também foram pontos chave, pois o sistema poderia ser aproveitado de maneira otimizada após a entrada em operação da subestação Manoel da Nóbrega, oferecendo uma solução adaptável e eficiente a longo prazo (MARTINS et al., 2024).

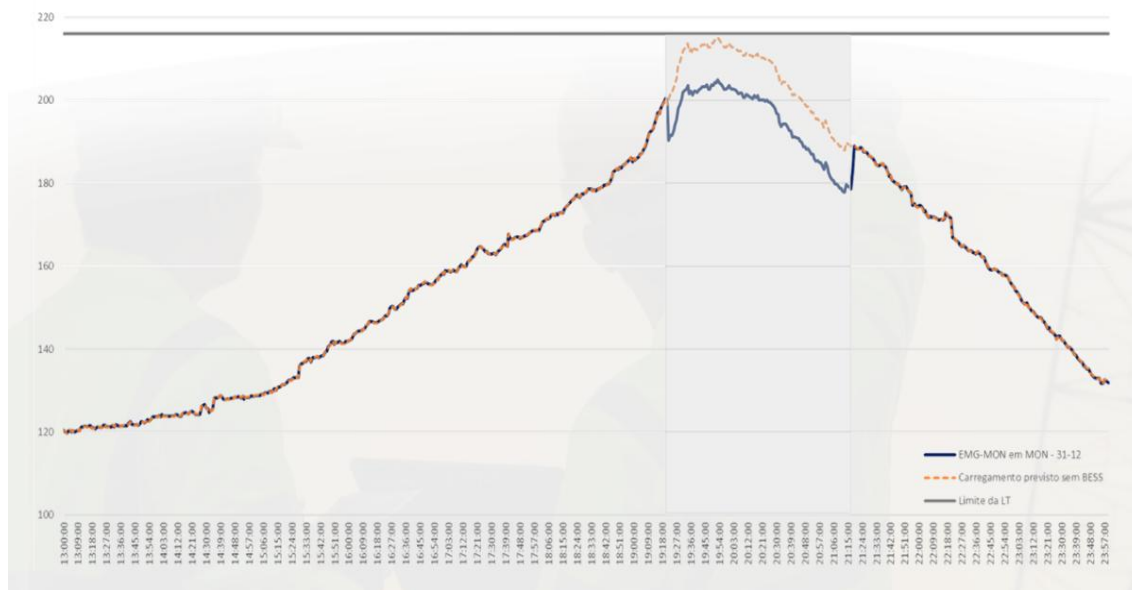
Por meio da Resolução Autorizativa nº 10.892/2021, a ANEEL aprovou a implantação do BESS como reforço das instalações de transmissão, com os investimentos incorporados na Receita Anual Permitida (RAP) da ISA CTEEP. A agência estabeleceu que a vida útil do equipamento seria de 17 anos, considerando que o armazenamento teria uma durabilidade de 15 a 17 anos. O investimento total para a instalação e manutenção dos equipamentos foi de R\$ 146.417.289,31 (junho/2021), com um percentual de O&M de 2%. O valor adicional a ser incluído na RAP foi de R\$ 27.088.413,49 (MARTINS et al., 2024). O projeto foi implementado em 12 meses, com o início das operações ocorrido em novembro de 2022. Com a implantação do projeto, o BESS beneficiará diretamente as cidades de Mongaguá, Peruíbe, Itariri, Pedro de Toledo, Praia Grande, Itanhaém, Iguape, Miracatu, Juquiá, Registro, Pariquera-Açu, Ilha Comprida, Cananéia, Jacupiranga e Cajati. Ao todo, estima-se que aproximadamente 2 milhões de pessoas sejam impactadas positivamente, garantindo maior segurança e estabilidade no fornecimento de energia para a região (YOU.ON, 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estudo de Caso

No primeiro *peak shaving* do sistema BESS implementado (também conhecido com o primeiro *peak shaving* do sistema interligado nacional), realizado em 31/12/2022 às 19h21, foi possível notar o desempenho dentro do esperado, conforme o gráfico abaixo:

Figura 06 - Primeiro “Peak Shaving” do SIN



Fonte: (ENGENHARIA, 2023)

Se não fosse pelo suporte fornecido pelo sistema BESS durante os períodos de alta demanda, muito provavelmente a capacidade máxima da linha de transmissão seria atingida, resultando em sobrecargas e possíveis cortes de energia no sistema. Conforme pode-se observar na análise do comportamento da rede, a curva tracejada laranja representa o carregamento da linha de transmissão sem a presença do sistema BESS, evidenciando que, em determinados momentos, os valores se aproximam perigosamente do limite da capacidade da linha, indicado pela linha cinza contínua. Esse cenário demonstra a importância estratégica do armazenamento de energia, pois o BESS atua como um mecanismo de alívio da rede, mitigando o carregamento excessivo e evitando sobrecargas que poderiam comprometer a estabilidade do sistema elétrico (MARTINS et al., 2024).

Durante o Carnaval de 2025, o sistema de armazenamento mostrou sua importância ao reduzir riscos operacionais durante uma intensa onda de calor, com temperaturas acima de 32°C. A presença de mais de 3 milhões de turistas nas praias do litoral sul elevou significativamente a demanda de energia na região, destacando o papel essencial do sistema na manutenção da estabilidade elétrica (ENERGIA, 2025).

Além de fornecer suporte à rede elétrica, o sistema BESS apresenta impactos positivos expressivos, conforme demonstram os números abaixo:

- **1.194 toneladas de CO₂ evitadas**, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa.
- **350 mil litros de diesel economizados**, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis e os custos operacionais.
- **Entrega de 30 MW por duas horas**, proporcionando suporte essencial à rede durante os períodos de maior demanda.
- **Vida útil: 17 anos**

Esses dados reforçam a relevância do BESS na transição energética, promovendo um sistema elétrico mais sustentável, eficiente e resiliente.

O BESS tem se consolidado como uma solução estratégica para otimizar a matriz elétrica global, proporcionando estabilidade, flexibilidade e segurança energética. No entanto, a implementação do BESS no Brasil enfrenta desafios significativos quando comparada a outros países que já avançaram nesse setor.

Abaixo estão os principais desafios que o Brasil ainda precisa superar para avançar significativamente na implementação e desenvolvimento da tecnologia de BESS. Apesar dos avanços no setor energético, ainda existem barreiras regulatórias, econômicas e tecnológicas que precisam ser endereçadas para viabilizar uma adoção mais ampla e eficiente dessa solução no país.

- **Regulação e Normatização:** de acordo com o Engenharia (2023), um dos principais desafios do Brasil está na falta de uma regulamentação consolidada para o armazenamento de energia. Enquanto países como os Estados Unidos e a Alemanha já possuem marcos regulatórios definidos que incentivam investimentos em BESS, o Brasil ainda está em fase de adaptação às novas demandas do setor. A ausência de um modelo regulatório claro impacta a viabilidade econômica dos projetos e desestimula novos investimentos.
- **Custos Elevados e Financiamento:** o artigo do Martins et al. (2024) destaca que o alto custo das baterias e a falta de linhas de financiamento específicas dificultam a expansão do BESS no Brasil. Em países como China e Austrália, a produção em larga escala e os incentivos governamentais reduziram significativamente os custos, tornando o armazenamento de energia mais acessível. No Brasil, o cenário ainda é desafiador devido à carga tributária e à dependência de importação de tecnologias avançadas.
- **Integração com a Matriz Elétrica:** A brochura técnica da You.On Energy (2023) destaca a complexidade da integração do BESS à matriz elétrica brasileira, que é majoritariamente hidrelétrica. Enquanto países como a Alemanha e o Reino Unido utilizam o BESS principalmente para compensar a intermitência de fontes renováveis, como solar e eólica, no Brasil, os sistemas de armazenamento precisam se adaptar a um modelo onde as hidrelétricas já desempenham um papel estabilizador. Isso cria desafios técnicos e operacionais para a implementação do BESS de forma eficiente.
- **Incentivos Governamentais e Modelos de Negócio:** O relatório da Greener (2021) aponta que, diferentemente de países como os Estados Unidos e a China, onde há incentivos fiscais e subsídios diretos para o armazenamento de energia, o Brasil ainda carece de políticas de incentivo robustas para tornar o BESS economicamente viável. Além disso, a falta de modelos de negócios consolidados, como leilões específicos para armazenamento ou contratos de capacidade, limita a expansão da tecnologia no país.

Foi elaborada uma tabela comparativa resumida que destaca os desafios do Brasil na implementação do BESS em comparação com outros países:

Tabela 01 - Tabela comparativa Brasil x Outros Países

Critério	Brasil	Outros Países (EUA, Alemanha, China, Austrália, Reino Unido)
Regulação e Normatização	Em fase de adaptação, sem marco regulatório claro (ENGENHARIA, 2023)	Regulamentação consolidada e incentivos definidos (ENGENHARIA, 2023)
Custos e Financiamento	Alto custo das baterias, falta de financiamento e carga tributária elevada (MATINS et al., 2024)	Produção em larga escala e incentivos governamentais reduzem custos (MATINS et al., 2024)
Integração com a Matriz Elétrica	Desafio técnico devido à predominância hidrelétrica (YOU.ON, 2023)	Suporte à intermitência de fontes renováveis (solar e eólica) (YOU.ON, 2023)
Incentivos Governamentais e Modelos de Negócio	Poucos incentivos e modelos de negócio incipientes (GREENER, 2023)	Subsídios, incentivos fiscais e modelos de negócio consolidados (GREENER, 2021)
Potência Instalada	Aproximadamente 685 MWh (ARANDA, 2025)	China: 215,5 GWh, EUA: 82,1 GWh, Reino Unido: 7,5 GWh, Japão: 4 GWh (VORONOIAPP, 2024)

Fonte: Elaboração dos autores

Tabela 02 - Tabela comparativa aplicação BESS Brasil x Outros países

Localização	BESS	Capacidade (MWh)	Aplicação na Rede
Brasil (Registro-SP)	BESS Registro-SP	60 MWh	Armazenamento de energia para aumentar a estabilidade da rede e apoio à integração de fontes renováveis no Estado de São Paulo (AGENCIA, 2023)
Austrália (South Australia)	Hornsedale Power Reserve (Australia)	150 MWh	Apoio à estabilidade da rede elétrica, especialmente após eventos de falhas e flutuações de frequência (TESLA, 2024)
China	Zhejiang Energy Storage Projec	200 MWh	Balanceamento da geração de energia renovável e otimização da operação da rede elétrica (ENERGY, 2025)

Fonte: Elaboração dos autores

Dessa forma, a implementação do sistema BESS na Subestação de Registro-SP demonstrou ser totalmente satisfatória, atingindo os objetivos propostos e reforçando a confiabilidade do fornecimento de energia em um período crítico do ano. O sistema entrou em operação justamente no final de 2022, contribuindo diretamente para a estabilidade da rede e beneficiando milhares de consumidores em uma época de alta demanda. No entanto, apesar do sucesso do projeto, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos para ampliar o uso dessa tecnologia. É essencial que o país observe e se inspire em experiências internacionais, como as de Estados Unidos, Alemanha e Austrália, onde políticas públicas bem estruturadas, incentivos financeiros e marcos regulatórios claros têm impulsionado a expansão dos sistemas de armazenamento. O avanço do BESS no Brasil dependerá de uma visão estratégica integrada, que envolva governo, setor elétrico e iniciativa privada para consolidar essa solução como pilar da modernização e da sustentabilidade do sistema elétrico nacional.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O BESS tem um futuro promissor no Brasil, com grande potencial para contribuir significativamente para a melhoria do Sistema Interligado Nacional (SIN). Graças à sua ampla gama de aplicações, essa tecnologia pode desempenhar um papel crucial na estabilização da rede elétrica, na mitigação de variações de carga e geração, além de proporcionar maior flexibilidade ao sistema energético do país.

Entretanto, para que o BESS seja amplamente aplicado no SIN em larga escala, é necessário superar diversos desafios. Entre eles, destacam-se a regulamentação específica para baterias, a definição de políticas de incentivo para a adoção dessa tecnologia, o desenvolvimento de modelos de negócio viáveis e a capacitação de profissionais para instalação, operação e manutenção dos sistemas. Além disso, é fundamental garantir a viabilidade econômica dos projetos e estruturar mecanismos para integrar o armazenamento de energia ao planejamento energético nacional.

O projeto de Registro-SP, apesar de ter sido uma iniciativa emergencial para evitar um problema de maiores proporções, demonstrou na prática a eficiência do BESS e sua importância para a confiabilidade do sistema elétrico. Esse caso serve não apenas como uma prova de conceito para futuras aplicações, mas também como um modelo inspirador para novos projetos que possam surgir no Brasil. Com os aprendizados obtidos, é possível aprimorar ainda mais a tecnologia, tornando-a uma ferramenta essencial para o setor elétrico.

O Brasil pode e deve aprender com a experiência de outros países que já implementaram o armazenamento de energia em larga escala. Em países como Estados Unidos, Alemanha e Austrália, o BESS tem sido utilizado com sucesso para equilibrar a geração intermitente de fontes renováveis, otimizar o uso da rede elétrica e até mesmo reduzir custos operacionais. Ao estudar esses exemplos, o Brasil pode adotar as melhores práticas, evitar erros comuns e acelerar a transição para um sistema energético mais moderno, eficiente e sustentável.

Diante da crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis e da necessidade de garantir a estabilidade do sistema elétrico frente à intermitência das fontes renováveis, este estudo destacou a importância dos sistemas de armazenamento de energia (BESS) no contexto brasileiro.

Considerando o avanço das tecnologias e a redução dos custos das baterias, a integração desses sistemas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) se apresenta como uma solução estratégica para a otimização da matriz elétrica. No entanto, ainda há desafios a serem superados, tanto em termos regulatórios quanto tecnológicos. Assim, sugerimos a exploração de futuros estudos que aprofundem a análise sobre a viabilidade econômica do BESS, o impacto de diferentes configurações no desempenho da rede elétrica e o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a sua adoção em larga escala. É fundamental salientar que, no que se refere à segurança, há uma série de normas internacionais e regulamentos que orientam a proteção das baterias de lítio, os quais são essenciais para garantir a segurança e a confiabilidade no uso deste sistema.

Contudo, no contexto brasileiro, os requisitos relacionados a essas normas ainda estão em fase de discussão, sendo necessária a definição das regulamentações pertinentes.

Além disso, com o leilão de baterias de armazenamento previsto para o segundo semestre de 2025, será possível analisar o impacto dessa nova oportunidade de mercado no avanço das tecnologias de armazenamento no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR (Brasil) (org.). **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Primeiro sistema de armazenamento por bateria em larga escala do País é inaugurado em Registro (SP)**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/primeiro-sistema-de-armazenamento-por-bateria-em-larga-escala-do-pais-e-inaugurado-em-registro-sp>. Acesso em: 27 mar. 2025.

ARANDA. **Brasil soma 685 MWh em capacidade instalada de BESS**. 2025. Disponível em: <https://www.arandanet.com.br/revista/fotovolt/noticia/10453-Brasil-soma-685-MWh-em-capacidade-instalada-de-BESS-.html>. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL ENERGIA (Brasil) (org.). **Desafios e oportunidades para o mercado de baterias no Brasil**. Disponível em: <https://brasilenergia.com.br/energia/desafios-e-oportunidades-para-o-mercado-de-baterias-no-brasil>. Acesso em: 23 mar. 2025.

BRASIL. GOV.BR. (org.). **Oferta de geração de energia elétrica deve crescer 9,95 GW em 2025**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2025/oferta-de-geracao-de-energia-eletrica-deve-crescer-9-95-gw-em-2025>. Acesso em: 15 mar. 25.

BRASIL. MME. (org.). **Fontes renováveis responderam por 93,1% da geração de energia elétrica em 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/fontes-renovaveis-responderam-por-93-1-da-geracao-de-energia-eletrica-em-2023#:~:text=Fontes%20renov%C3%A1veis%20responderam%20por%2093,Minist%C3%A9rio%20de%20Minas%20e%20Energia>. Acesso em: 16 mar. 2025.

BRASIL. ONS. (org.). **Redução de custos de baterias abre novos caminhos para a energia renovável no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.osestoreletrico.com.br/reducao-de-custos-de-baterias-abre-novos-caminhos-para-a-energia-renovavel-no-brasil/>. Acesso em: 23 mar. 2025.

CANAL SOLAR (Brasil) (org.). **BESS no Brasil: como o armazenamento pode revolucionar a matriz energética**: canal solar. Canal Solar. 2025. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/bess-brasil-armazenamento-revolucionar-matriz-energetica/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

CNN (org.). **Os 6 fatos sobre as energias renováveis: elas são fundamentais contra as mudanças climáticas**. 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/enel-levou-6-dias-para-restabelecer-luz-em-2023-em-sp-apagao-de-agora-ja-dura-3-dias/>. Acesso em: 23 mar. 2025.

GREENER. **Estudo Estratégico do Mercado de Armazenamento de Energia no Brasil 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-do-mercado-de-armazenamento-de-energia-no-brasil-2021/>. Acesso em: 23 mar. 2025.

ENERGIA, Isa. **ISA ENERGIA BRASIL recebe MME, EPE e ONS para visita ao primeiro sistema de armazenamento de energia em larga escala da transmissão nacional**. 2025. Disponível em: <https://www.isaenergiabrasil.com.br/centro-de-midia/noticias/isa-energia-brasil-recebe-mme-epe-e-ons-para-visita-ao-primeiro-sistema-de-armazenamento-de-energia-em-larga-escala-da-transmissao-nacional/>. Acesso em: 23 mar. 2025

ENERGY STORAGE NEWS. World's first large-scale semi-solid BESS connects to grid in China. Energy Storage News, 2024. Disponível em: <https://www.energy-storage.news/worlds-first-large-scale-semi-solid-bess-connects-to-grid-in-china/>. Acesso em: 27 mar. 2025.

ENGENHARIA, Instituto de. **Armazenamento de Energia - As Vantagens Técnicas, Ambientais e Econômicas**. 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dHLgmEPzswE&t=31527s>. Acesso em: 23 mar. 2025.

EPE. **ANÁLISES DE MÉDIO PRAZO DO GRUPO DE ATENDIMENTO AO LITORAL DE SÃO PAULO: ons nt 0129/2020 / epe-dee-nt-085/2020. ONS NT 0129/2020 / EPE-DEE-NT-085/2020**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-276/topico-525/ONS%20NT%200129-2020%20-%20EPE-DEE-NT-085-2020%20GT-Litoral%20SP.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2025.

EPE (org.). **ESTUDO - SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO EM BATERIAS**. 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098_2019_Baterias%20no%20planejamento.pdf Acesso em: 25 mar. 2025.

LITHIUM-ION Battery Pack Prices See Largest Drop Since 2017, Falling to \$115 per Kilowatt-Hour: BloombergNEF. 2024. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>. Acesso em: 16 mar. 2025.

MERCADO de armazenamento em baterias pode atingir 25 GW até 2030. 2024. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/09/13/mercado-de-armazenamento-em-baterias-pode-atingir-25-gw-ate-2030/>. Acesso em: 16 mar. 2025.

MARTINS, V. A.; COSTA, E. C.; ZORZENON, T.; PEREIRA, T. V.; SELIS, V. M. R.; PIMENTEL, R. L. S.; PEDROSA, L. M. As perspectivas na aplicação de baterias no planejamento energético brasileiro: o estudo de caso da subestação ISA CTEEP em Registro/SP. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, [S. l.], v. 22, n. 10, p. e7127, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n10-085. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7127>.

Acesso em: 15 mar. 2025.

NOTÍCIAS do **Setor Energias renováveis terão aumento na demanda nos próximos anos**. 2024. Disponível em: <https://www.lasolar.com.br/demanda-por-energias-renovaveis-tera-avanco/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

PV MAGAZINE (Brasil) (org.). **Mercado de armazenamento em baterias pode atingir 25 GW até 2030**. 2024. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/09/13/mercado-de-armazenamento-em-baterias-pode-atingir-25-gw-ate-2030/#:~:text=O%20Brasil%20pode%20chegar%20a,em%20entrevista%20%C3%A0%20pv%20magazine..> Acesso em: 23 mar. 2025.

TESLA. **Powerpack Hornsdale**. Tesla, 2019. Disponível em: https://www.tesla.com/fr_lu/videos/powerpack-hornsdale. Acesso em: 27 mar. 2025.

VILLALVA, Marcelo. **Armazenamento de energia**: tecnologias de baterias elétricas. tecnologias de baterias elétricas. 2021. Canal Solar. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/armazenamento-de-energia-tecnologias-de-baterias-eletricas/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

VORONOIAPP. **Top 20 Countries by Battery Storage Capacity**. 2024. Disponível em: <https://www.voroniapp.com/energy/Top-20-Countries-by-Battery-Storage-Capacity-4432>. Acesso em: 25 mar. 2025.

YOU.ON. Subestação ISA CTEEP - Registro, SP 60MWh: maior sistema de armazenamento de energia da América Latina. Maior sistema de armazenamento de energia da América Latina. 2023. YOU.ON. Disponível em: <https://youon.energy/cases/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

Sobre os Autores:

ⁱ DAYANE ROSA BORGES (Autor 1)



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade Anhanguera (2016), cursando atualmente a Pós-graduação em Proteção e Controle de Sistemas Elétricos de Potência pela Escola SENAI Suiço Brasileira (2025). Atualmente atua como Engenheira de suporte a vendas no segmento de painéis Elétricos de baixa e média tensão.

ii

SAULO DE QUEIROZ OLIVEIRA (Autor 2)



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade São Judas Tadeu (2018), cursando atualmente a Pós-graduação em Proteção e Controle de Sistemas Elétricos de Potência pela Escola SENAI Suiço Brasileira (2025). Atualmente atua como Engenheiro de suporte técnico no segmento de energia solar.

ii

LUIZ GUSTAVO RIBEIRO (Orientador)



Mestre em Engenharia Elétrica (Poli/USP), Especialista em Automação Industrial (Poli/USP), Especialista em Telecomunicações (FEB/Unesp/Unicamp), graduado em Engenharia Elétrica (FEB/Unesp). Atualmente atua como Engenheiro Consultor em Eficiência Energética no SENAI SP.