

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS NO SETOR ELÉTRICO E AS PERSPECTIVAS PARA O BRASIL¹

Rogério Diogne de Souza e Silva²

SINOPSE

Os sistemas de armazenamento em bateria vêm sendo implantados em todo o setor elétrico, da rede básica até o consumidor, exigindo diferentes modelos de negócio e estrutura regulatória. Pelo lado da oferta de eletricidade, a agenda regulatória deveria incluir o armazenamento de energia como serviço ancilar, com a criação do modelo de operador do sistema de distribuição e o serviço de agente agregador para viabilizar usinas virtuais; pelo lado da demanda, é necessário instituir os modelos de carga e descarga de baterias envolvendo o fornecimento ou compensação de energia elétrica com a concessionária de distribuição. Neste contexto, o presente artigo aborda as tecnologias de armazenamento em baterias, as respectivas aplicações no setor elétrico, o cenário internacional e o brasileiro, e discute aspectos regulatórios e políticos e como estas novas tecnologias podem direcionar o planejamento da infraestrutura do setor elétrico no Brasil.

Palavras-chave: armazenamento de energia elétrica; baterias; setor elétrico; transição energética.

1 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS

O armazenamento de energia através de baterias caracteriza-se pela amplitude de aplicações, podendo ser utilizado por unidades consumidoras – em pequenos aparelhos eletrônicos – e por grandes plantas dos sistemas de distribuição, transmissão e geração de eletricidade. Há grande diversidade de tecnologias, como baterias à base de chumbo,³ de lítio,⁴ de sódio,⁵ níquel base, capacitor eletroquímico e bateria de fluxo de vanádio (redox vanádio).

Baterias podem ser utilizadas para regulação e controle de tensão e frequência, redução de picos de demanda, fornecimento de emergência, gestão de preço, controle da intermitência eólica e solar, equilíbrio de carga, estabilização da rede e *black-start*.⁶ Estas aplicações podem ser centralizadas (na rede ou sistema) ou distribuídas (atrás do medidor). A utilização centralizada é programada e gerenciada pelo operador do sistema que, dependendo da estrutura do mercado de energia, pode ser um operador de geração, de transmissão ou de distribuição.

De acordo com a base de dados do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), existem 767 projetos de sistemas de armazenamento em baterias em operação atualmente no mundo, resultando em 1,79 GW de potência instalada. O país com o maior número é o Estados Unidos, com 321 projetos e 793,7 MW, seguido do Japão com 42 sistemas e 242,4 MW. Na América do Sul, o destaque é o Chile, que, embora tenha apenas três projetos em operação, estes somam 32,18 MW. O maior sistema de armazenamento em operação no

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/radar68art2>

2. Pesquisador do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura (Diset) do Ipea. E-mail: <rogerio.silva@ipea.gov.br>.

3. Chumbo ácido, chumbo carbono, chumbo ácido regulada por válvula e baterias avançadas de chumbo ácido.

4. Titanato de lítio, lítio aço fosfato, lítio polímero e lítio íon.

5. Sódio íon e sódio enxofre.

6. *Black-start* consiste na retomada de funcionamento de uma usina elétrica após a parada (desligamento) de todos os geradores da usina.

mundo possui potência nominal de 100 MW/129 MWh e localiza-se na Austrália, na cidade de Jamestown, no parque eólico de Hornsdale (denominado de Hornsdale Power Reserve). O sistema utiliza baterias de lítio íon da Tesla aplicado a serviços essenciais de suporte à rede.

Os maiores fabricantes de baterias são países asiáticos, destacando-se Coreia do Sul, Japão e China. O maior deles é a LG Electronics, uma empresa coreana com 202,11 MW de capacidade de baterias em utilização em diversos projetos no mundo, seguida pela empresa japonesa NGK, 178,90 MW, e, em terceiro, outra empresa coreana, a Samsung, com 174,72 MW instalados de baterias no mundo. Cita-se também a empresa chinesa BYD, 168,35 MW; a Tesla (Estados Unidos), 143,67 MW; e a A123/NEC do Japão, 95,78 MW.

A maior parte dos projetos em operação (57,08%) utilizam baterias de lítio íon; baterias com tecnologia mais consolidada, como a de chumbo ácido, estão presentes em 10,14%. As tecnologias com tendência de crescimento são as de lítio polímero, sódio e redox de vanádio. Existem 28 sistemas com baterias de lítio polímero em operação (3,89%), sendo que 27 foram fabricados pela francesa Blue Solutions e uma pela Samsung-SDI. Baterias de sódio íon já estão no mercado, fabricadas pela empresa Aquion Energy, com oito projetos em operação, totalizando 830 kW. Outras tecnologias promissoras são zinco ar, alumínio íon e sódio íon⁷ (Irena, 2019a; 2019b).

O cenário atual indica um mercado em crescimento, com diversas alternativas tecnológicas, busca por aumento de eficiência e redução de custos, resultando no aumento da atividade de pesquisa e desenvolvimento (P&D) nessa área. De 2000 a 2018, houve um aumento de 680% na solicitação de patentes para tecnologias de armazenamento elétrico. Até 2010, a maioria das inovações atendeu dispositivos portáteis; em 2011, os pedidos de patente para veículos elétricos assumiram a liderança. Em 2018, a quantidade de pedidos de patente de baterias para veículos elétricos alcançou 738, seguido de equipamentos portáteis (298) e de sistemas estacionários (94). As tecnologias mais pesquisadas são o lítio e o lítio íon, com 2.547 pedidos de patente, enquanto as demais tecnologias somaram 462 (IEA, 2020).

Os países líderes na produção de conhecimento na área são a Coreia do Sul e o Japão. Dos dez principais solicitantes de patentes relacionados a baterias, nove estão sediados na Ásia, sendo sete japonesas – com 967 pedidos, lideradas pela Panasonic e Toyota – e duas coreanas – Samsung e LG Electronics, com 986 pedidos. A Bosch, empresa alemã, é a única não asiática a aparecer na lista, com 186 pedidos de patente.

O custo da utilização de baterias varia em relação a aplicação, a potência do sistema e o tipo de tecnologia empregada. O menor custo para utilização centralizada de baterias ocorre com a utilização conjunta com usinas fotovoltaicas de grande porte. Para essa aplicação, considerando um sistema com 20 MW de armazenamento e 40 MW de solar fotovoltaica, o custo de baterias de lítio varia entre US\$ 108/MWh e US\$ 140/MWh; com baterias de zinco, o custo estaria entre US\$ 115/MWh e US\$ 137/MWh; e o maior custo decorre do uso de baterias de vanádio, entre US\$ 133/MWh e US\$ 222/MWh.

Os custos nivelados para aplicações distribuídas são superiores aos das aplicações centralizadas. Porém, a variação de preço é similar quando utilizadas conjuntamente com sistemas fotovoltaicos. Para sistemas menores, como projetos residenciais com 0,01 MW de armazenamento e 0,02 MW de solar fotovoltaica, as baterias de lítio apresentam o menor custo nivelado, variando entre US\$ 476/MWh e US\$ 735/MWh, seguido pelas baterias de chumbo avançado com custo entre US\$ 498/MWh e US\$ 675/MWh; utilizando baterias de chumbo o custo varia entre US\$ 512/MWh e US\$ 707/MWh.

Quanto aos sistemas de armazenamento instalados nas unidades consumidoras, as aplicações com maior potência instalada estão em instalações comerciais e industriais, em geral para garantir autonomia e reserva de energia. Desta forma, não ocorre uso associado de geração de energia, o que eleva o custo do sistema de armazenamento. Considerando sistemas de 1 MW, o custo nivelado de baterias de lítio varia entre US\$ 829/MWh e US\$ 1.152/MWh, enquanto

7. Informação disponível em: <<https://bit.ly/3Gl4lKH>>. Acesso em: 1º jul. 2021.

com baterias de chumbo avançado varia entre US\$ 1.005/MWh e US\$ 1.204/MWh e com baterias de chumbo o custo fica entre US\$ 1.076/MWh e US\$ 1.225/MWh.

A vida útil das baterias é de quinze anos para a maioria das tecnologias, exceto as baterias de zinco de brometo com vida útil de dez anos. No quesito eficiência energética, o destaque é para as de redox de vanádio com 95% de eficiência, ou seja, 5% de perda da energia armazenada, seguido pelas demais tecnologias com 90%; a menor eficiência energética é de 75% para o zinco brometo. O uso de baterias faz parte da agenda da transição energética de baixo carbono, mas a destinação dos resíduos da bateria ao final do seu ciclo de vida deve ser considerada em seu balanço de emissões.

A reciclagem de baterias é essencial para que as economias convivam com o aumento da participação das baterias de lítio. A capacidade global de reciclagem de baterias atualmente é de aproximadamente 180 quilo toneladas por ano (kt/ano), e 50% deste total é realizada pela China. A maioria das empresas envolvidas são refinadores independentes, mas um amplo espectro de participantes de fabricantes de baterias, fabricantes de equipamentos originais, mineradoras e processadores estão começando a mostrar interesse nesse mercado, especialmente na Europa. Uma alternativa que deve ser considerada é a reutilização das baterias: aquelas utilizadas em veículos elétricos, após sua vida útil para um padrão de qualidade desta aplicação, podem, em geral, ser aproveitadas para uso estacionário em redes elétricas.

Nesse contexto, a participação brasileira inicial é incipiente, principalmente quando se considera a geração centralizada e o sistema de transmissão. A grande participação de usinas hidrelétricas, que armazenam energia na forma de energia potencial, pode ter postergado o investimento em baterias. O Brasil possui diversos projetos de P&D em andamento utilizando baterias para armazenamento de energia elétrica. O primeiro projeto implantado no Brasil é um sistema instalado na Usina Hidrelétrica de Bariri, em São Paulo, da AES Tietê, conectada ao sistema interligado nacional.

Em 2016, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) publicou um edital de chamada de projetos de P&D estratégicos, contemplando 21 projetos, resultando em um investimento de R\$ 370 milhões. Os resultados desses projetos serão fundamentais para análise de arranjos técnicos e comerciais para avaliação e inserção de sistemas de armazenamento de energia no setor elétrico brasileiro, incentivando o estabelecimento de condições para o desenvolvimento de base tecnológica, propriedade intelectual e infraestrutura de produção nacional.

2 PERSPECTIVAS E DESAFIOS

As vantagens técnicas do armazenamento eletroquímico no setor elétrico são evidentes, o contexto internacional também é favorável, com um mercado em expansão em diversos países, custo de fabricação em queda e possibilidade de ampla utilização em todo setor elétrico. Tudo isso indica que a utilização de baterias no setor elétrico brasileiro é inevitável, principalmente com o aumento das fontes intermitentes e o avanço da geração distribuída no lado da demanda.

Observa-se que os modelos de negócio apresentam características, demandas regulatórias e cenários diferentes, diante da ampla faixa de aplicações de baterias no setor elétrico brasileiro. Por exemplo, a utilização de baterias na prestação de serviços ancilares⁸ é limitada pela grande participação de hidrelétricas no mercado nacional, pois elas têm capacidade para ofertar tais serviços. Entretanto, com o aumento da participação de fontes eólica e solar, associado a entrada em operação de novas hidrelétricas sem reservatório, as baterias podem ser uma solução oportuna em breve.

8. Os serviços ancilares consistem em diversas operações técnicas em um sistema elétrico interligado, gerenciados e supervisionados pelo operador do sistema, no Brasil pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Os serviços ancilares reconhecidos no Brasil são: controle de frequência, reserva de potência, reserva de prontidão, suporte de reativos, auto restabelecimento (black-start) e sistemas especiais de proteção do sistema elétrico.

Para viabilizar o uso de baterias em escala de rede deve-se incentivar a realização de projetos-piloto e incluir soluções de armazenamento nos planos de expansão de capacidade de longo prazo. São também necessárias adaptações regulatórias que permitam que sistemas de armazenamento de bateria participem de mercados de serviços ancilares – com remuneração e métodos de medição e faturamento adequados.

Pelo lado da demanda de eletricidade, são poucas as barreiras de entrada, pois a contratação e implementação é realizada pela unidade consumidora. Assim, observa-se uma mudança do modelo de negócio, com o início de oferta de armazenamento como serviço com potencial para influenciar no custo da energia elétrica. Para o avanço nesse mercado, são necessários alguns requisitos, como a definição de padrões técnicos e operacionais, o estabelecimento de estruturas de avaliação e remuneração claras, a permissão para que os operadores do sistema de transmissão e distribuição obtenham serviços de flexibilidade baseados no mercado de recursos de energia distribuída e a permissão da participação de agregadores e recursos energéticos distribuídos no mercado livre de eletricidade.

A maior integração das cargas ao sistema de distribuição de eletricidade, com destaque para os veículos elétricos, deve ser considerada no planejamento energético. As estratégias de carga e descarga de baterias de veículos elétricos, conhecidas como *grid to vehicle* (G2V) e *vehicle to grid* (V2G), consistem em sistemas de carga (G2V) e descarga (V2G) de baterias que tornam o veículo elétrico um elemento ativo nos sistemas de energia elétrica. Com isso, em mercados de energia com tarifas horárias, tarifação através de resposta da demanda, agentes agregadores, entre outras condições, tais sistemas devem se tornar um modelo de negócio promissor. De acordo com a Precedence Research (Contributor, 2020), o mercado internacional de tecnologia V2G apresentará uma taxa de crescimento anual de 48% entre 2020 e 2027, resultando em uma receita de US\$ 17,43 bilhões até 2027. O aumento da conscientização do uso inteligente de energia, o aumento da oferta e dos incentivos para uso de veículos elétricos justificam este crescimento potencial.

Como já mencionado, o aumento da participação das baterias tanto em veículos quanto no setor elétrico exige estratégias regulatórias e políticas públicas. A reciclagem de baterias é uma delas; a indústria de reciclagem está em seus estágios iniciais e ainda dominado por baterias de resíduos eletrônicos. No entanto, o quadro deve mudar significativamente a partir de 2030: com o aumento da comercialização de veículos elétricos, a quantidade de resíduos será preocupante; estima-se que com os veículos elétricos comercializados em 2019, ao chegarem ao fim de sua vida útil, produzirão 500 mil toneladas de resíduos de baterias a serem processadas.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste artigo a caracterização do armazenamento de energia através de baterias, identificando-a como uma tecnologia adequada para atender a necessidade do aumento da flexibilidade de operação do setor elétrico brasileiro.

Pelo lado da oferta de energia, para aplicações centralizadas, em escala de rede, deve-se incluir soluções de nos planos de expansão de capacidade de longo prazo. Para funcionamento do mercado, são necessárias adaptações regulatórias que permitam que sistemas de armazenamento de bateria possam ofertar serviços ancilares com remuneração e métodos de medição e faturamento em conformidade.

Pelo lado da demanda, a consolidação do armazenamento em baterias exige a definição de padrões técnicos e operacionais, o estabelecimento de estruturas de avaliação e remuneração claras, a permissão para que os operadores do sistema de transmissão e distribuição (ainda inexistente no Brasil) obtenham serviços de flexibilidade baseados no mercado de recursos de energia distribuída e a permissão da participação de agregadores e recursos energéticos distribuídos no mercado livre de eletricidade.

REFERÊNCIAS

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Innovation landscape brief: utility-scale batteries**. Abu Dhabi: Irena, 2019a. Disponível em: <<https://bit.ly/3G84tZM>>.

_____. **Innovation landscape brief: behind-the-meter batteries**. Abu Dhabi: Irena, 2019b. Disponível em: <<https://bit.ly/3rptxr8>>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Innovation in batteries and electricity storage: a global analysis based on patent data**. Paris: IEA, Sept. 2020.

CONTRIBUTOR, G. V2G technology market worth \$ 17.43 billion by 2027. **Smart Energy International**, 21 Sept. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3pcs7xA>>.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The role of critical minerals in clean energy transitions**. Paris: IEA, May 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3xIRJpI>>.

