

Proposta de um sandbox regulatório para armazenamento na transmissão¹

Roberto Brandão²
Djalma Falcão³
Glauco Taranto⁴
Lillian Monteath⁵
Henrique Reis⁶
Paulo Esmeraldo⁷

Introdução ao armazenamento multifunção

Projetos de armazenamento de grande porte (*utility scale*) podem cumprir diversas funções na transmissão, na geração e no suporte à operação do sistema elétrico. Estas variadas funções podem ser desempenhadas tanto por projetos de armazenamento configurados e operados especificamente para uma determinada função, quanto por projetos que cumprem várias funções, de forma simultânea ou alternada.

¹ Este trabalho foi patrocinado pela State Grid Brazil Holding e realizado no âmbito do programa de P&D ANEEL. O projeto está registrado com código PD-10733-0222/2023 e intitulado “Pesquisa de Aplicação de Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias (BESS) no Sistema de Transmissão” e foi publicado originalmente em 18/12/2023, pela Agência CanalEnergia: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53265569/proposta-de-um-sandbox-regulatorio-para-armazenamento-na-transmissao>

² Roberto Brandão é economista e filósofo. Pesquisador sênior do Gesel-UFRJ, tem atuado em projetos de P&D sobre armazenamento em baterias e usinas reversíveis.

³ Professor Emérito da COPPE/UFRJ, tem atuado em projetos de P&D sobre integração de fontes de energia renovável variável.

⁴ Professor do Programa de Engenharia Elétrica (PEE) da COPPE/UFRJ.

⁵ Engenheira, egressa do setor elétrico. Pesquisadora sênior do Gesel-UFRJ, tem atuado em projetos de P&D sobre armazenamento em baterias para sistemas de transmissão

⁶ sócio da área de Energia Elétrica do L.O. Baptista Advogados e tem atuado em projetos de P&D sobre armazenamento em baterias e usinas reversíveis.

⁷ Paulo Esmeraldo é engenheiro eletricitista. Atualmente é Consultor Senior da State Grid Brasil, com atuação em projetos de P&D na área de transmissão.

Como exemplo, os projetos de armazenamento podem substituir reforços convencionais de transmissão, sem desempenhar qualquer outro papel. Neste caso, deixa-se de construir uma nova linha de transmissão ou de fazer um reforço em uma subestação e instala-se um projeto de armazenamento que substitui o reforço. Este equipamento pode operar de duas maneiras.

A primeira é absorvendo excessos momentâneos de energia em subestações que escoam geração ou injetando energia em subestações próximas ao consumo quando o consumo excede a capacidade da transmissão. Neste contexto, duas opções de armazenamento se apresentam com muita eficiência, as baterias (BESS) e as usinas hidrelétricas reversíveis.

A segunda forma de operação é no suporte a contingências, mais afeita a sistemas de baterias com tempo de resposta ultrarrápido, em que o sistema de armazenamento pode, em parte, assumir a redundância (N-1) do sistema de transmissão. Assim, os equipamentos convencionais podem operar com maior carregamento de modo seguro, transportando mais energia.

A desvantagem de projetos de armazenamento de função única é o fato de tenderem a permanecer ociosos por muito tempo. No caso do reforço da transmissão através do suporte a contingências, a ociosidade é praticamente total, uma vez que contingências não são frequentes.

Os projetos de armazenamento multifunção, por sua vez, podem operar de forma rotineira, oferecendo, por exemplo, controle de frequência, potência firme (lastro de potência), entre outras funções, o que agrega mais valor para o sistema elétrico. Naturalmente, a função original fica preservada. Se esta for o suporte a contingências, o equipamento estará programado para responder de forma ultrarrápida a um incidente, atuando no sentido de atenuá-lo. Supondo que o sistema de armazenamento esteja sendo utilizado quando ocorrer uma contingência, ele estará programado para instantaneamente reagir de maneira adequada à contingência, por exemplo, injetando potência pelo tempo necessário para impedir a propagação do problema.

Descompasso entre crescimento da geração e da transmissão

A introdução de projetos de armazenamento como reforço na transmissão no Brasil seria uma forma criativa de mitigar o atual descompasso entre a expansão da transmissão e da geração. Nos últimos anos, o crescimento das gerações solar e eólica excedeu largamente as expectativas do planejamento setorial e, com isso, tende a surgir gargalos de rede não previstos.

Esse descompasso se originou, em primeiro lugar, da alteração da dinâmica da expansão da geração, que, até poucos anos, era resultado dos Leilões de Energia Nova organizados pelo governo para atender ao mercado regulado e que, recentemente, passou a estar concentrada em projetos renováveis destinados ao mercado livre. Estes projetos resultam de decisões de investimento descentralizadas, em boa medida aproveitando o subsídio no acesso à rede a que têm direito tanto os geradores de fontes renováveis como os consumidores que as contratam no mercado livre.

Em segundo lugar, verifica-se um forte crescimento da micro e mini geração distribuída (MMGD), motivado pelo barateamento da geração solar e pela grande redução das tarifas de acesso à rede proporcionada pelo sistema de compensação de energia, adotado no Brasil, para incentivar a difusão deste tipo de projeto. Particularmente, o crescimento acelerado da MMGD remota, frequentemente situada em local distante do ponto de consumo, pode contribuir para o aumento do carregamento das redes, exigindo reforços, sobretudo na distribuição, mas eventualmente também na transmissão.

Finalmente, há um contraste entre o prazo de instalação da geração solar (cerca de um ano), da geração eólica (entre um e dois anos) e da transmissão, que pode demorar até sete anos entre a fase de planejamento, quando devem ser mapeadas as necessidades de expansão da rede, inclusive para contemplar a expansão da geração, e a efetiva entrada em operação das novas linhas, que podem sofrer atrasos significativos devido a questões ambientais.

A confluência desses fatores resultou tanto na ocupação precoce das margens de escoamento para novos projetos em áreas com grande potencial para geração eólica e solar, como no surgimento de gargalos,

ocasionando restrições para a operação. O principal gargalo de transmissão que se anuncia está no norte de Minas Gerais, onde está previsto grande expansão de linhas de transmissão, que têm como objetivo transportar excedentes de geração do Nordeste para o Sudeste do país. Ocorre que a expansão da geração solar centralizada e distribuída no norte de Minas tem excedido largamente as expectativas, o que tende a congestionar as linhas durante as horas de sol e reduzir a capacidade de escoamento da geração do Nordeste. Assim, cria-se um gargalo que, dado o longo tempo entre o planejamento da transmissão e a entrada em operação, dificilmente será endereçado em um prazo razoável com investimentos tradicionais.

Há exemplos internacionais de aplicação de baterias na transmissão como suporte a contingências, com o conseqüente aumento na capacidade de escoamento do sistema. O projeto de Kupferzell [1], na Alemanha, consiste na instalação de um BESS de 250 MW, que é o maior de um conjunto de 700 MW de sistemas de baterias anunciados pelos operadores de transmissão alemães, cujo objetivo central é aumentar a capacidade de transporte da rede (Netzbooster) sem construir novas linhas de transmissão.

Um outro exemplo vem da Austrália. A superbateria de Waratah [2], que está sendo implantada nesta cidade ao norte de Sydney, terá uma capacidade final de 909 MW e seu objetivo principal também será oferecer suporte a contingências e, com isso, reforçar a capacidade de transporte da rede. Este serviço está coberto por um contrato de longo prazo, no qual está previsto, também, que o projeto é livre para ser utilizado para outros serviços.

Estabilidade em um sistema dominado por geração renovável

O crescimento da geração assíncrona das fontes eólica e solar interfere na forma de gerir a estabilidade da rede. Este é um problema que afeta o Brasil, sobretudo o subsistema Nordeste, onde é frequente que a soma das gerações solar e eólica ultrapasse a carga e onde as usinas com máquinas síncronas (hídricas e térmicas) respondem por uma parcela pequena da geração total. Situação análoga tem acontecido em vários países, na medida em que o crescimento das renováveis leva ao fechamento de centrais

térmicas e à menor frequência de despacho das máquinas síncronas remanescentes, diminuindo, portanto, a inércia rotativa sincronizada do sistema elétrico, um parâmetro de suma importância para garantir a estabilidade do sistema.

No Reino Unido, o operador da rede de transmissão, o National Grid ESO, contratou dez projetos destinados a garantir a estabilidade do sistema no norte da Inglaterra, região onde ocorreu o fechamento de centrais a carvão e que também escoava volumes expressivos de energia eólica produzida na Escócia. O leilão, realizado em fevereiro de 2023, estava aberto para projetos de compensadores síncronos e para projetos com inversores formadores de rede (*grid forming*)⁸.

Cinco projetos de baterias com inversores formadores de rede foram contratados, totalizando mais de 1 GW, com o objetivo de aumentar o nível de curto-circuito do sistema e oferecer 4,4 GVAs de inércia, o que equivale a entre 5% e 10% da inércia do sistema britânico. Segundo os empreendedores, a possibilidade de acumular receitas de outros serviços, como os mercados diário, intradiário, de balanço e de regulação de frequência, tornou os projetos de baterias competitivos. Isso permitiu que os serviços de confiabilidade fossem oferecidos por uma fração do preço que seria necessário caso fossem prestados de forma isolada [3].

Armazenamento como solução de transmissão de implantação rápida

Os projetos de armazenamento podem ser implementados em prazos menores do que as soluções de transmissão tradicionais e, com isso, são alternativas interessantes para reduzir o descompasso entre a expansão da transmissão e da geração. Além disso, os projetos de armazenamento

⁸ Ao contrário dos inversores seguidores de rede, utilizados por parques solares ou eólicos e que dependem da rede para fornecer uma referência de tensão e frequência, os inversores formadores de rede podem contribuir para o controle de tensão e a frequência da rede elétrica. Além disso, esses inversores aumentam a estabilidade e a resiliência da rede elétrica, especialmente em situações em que as fontes de energia renovável, que são inerentemente variáveis e intermitentes, compõem uma parcela significativa da geração. Ao controlar ativamente a tensão e a frequência, os inversores formadores de rede podem ajudar a manter a estabilidade da rede mesmo com altos volumes de energia variável. Ademais, esses inversores são projetados para funcionar de maneira integrada com a infraestrutura de rede existente, podendo operar em conjunto com geradores tradicionais, de modo a fornecer uma solução híbrida que combina a confiabilidade dos sistemas de energia convencionais com a sustentabilidade das fontes de energia renovável.

podem endereçar problemas de estabilidade comuns em sistemas com presença maciça de geração assíncrona. Do ponto de vista econômico, porém, se um projeto de armazenamento desempenhar apenas uma função, por exemplo, de reforço de transmissão, pode se mostrar demasiado caro em relação aos investimentos tradicionais e, assim, não se mostrar viável.

Destaca-se que outras funções podem ser desempenhadas por projetos de armazenamento multifunção que já têm ou podem ter valor econômico importante. No Brasil, cabe ressaltar a função de fornecimento de lastro de potência para o sistema, de modo a reforçar a geração em momentos em que o balanço entre carga e oferta dispõe de pouca margem. Com o sistema que se tem hoje, no país, esses momentos tendem a ocorrer quando a geração renovável é muito baixa em relação ao consumo é elevado. Já há um arcabouço comercial para contratar projetos que desempenhem esta função, os leilões de capacidade, e provavelmente os projetos de armazenamento em breve poderão participar desses certames.

Estima-se que, nos próximos anos, o fornecimento de flexibilidade do lado da demanda se tornará valioso para o sistema, conforme o crescimento continuado da participação das fontes renováveis variáveis passe a ocasionar, rotineiramente, situações em que a geração é maior do que a carga, problema que só pode ser endereçado em tempo real com corte de geração (*curtailment* ou vertimento) ou com aumento da carga. Essas situações já são comuns, sobretudo nas manhãs de fins de semana e feriados, quando o consumo é baixo e a geração das fontes solar e eólica é elevada, mas os cortes ainda apresentam, hoje, volumes relativamente modestos. Todavia, em poucos anos, o crescimento das renováveis variáveis tende a fazer essa tendência se acentuar, com cortes mais frequentes e em maiores volumes, justificando a contratação de flexibilidade do lado da carga, com destaque para os projetos de armazenamento capazes de absorver excessos momentâneos de energia para injeta-la na rede em momento propício.

Outra função importante é a ágil regulação de frequência, na qual os projetos de armazenamento podem fornecer ou absorver potência ativa para o sistema de forma instantânea em caso de perturbações que levem à subfrequência ou sobrefrequência, respectivamente. Esta função desobriga o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) de programar parte da capacidade de geração de algumas usinas para fornecimento ou absorção

de potência ativa, permitindo, com isso, aumentar a geração efetiva de energia.

Por outro lado, os BESS conectados por inversores formadores de rede podem compensar, como mencionado acima no exemplo do Reino Unido, a redução de inércia causada pelo aumento na porcentagem de geração eólica e solar em certas regiões do sistema. A regulação da tensão em caso de contingências no sistema também pode ter essa forma de armazenamento como aliado, mediante a injeção ou absorção de potência reativa em caso de estabelecimento de sub ou sobretensão, respectivamente.

Porém, o quadro regulatório atual não parece adequado para a introdução de sistemas de armazenamento multifunção que desempenhem simultaneamente funções típicas da transmissão, como reforços na capacidade de transporte e suporte a contingências, e funções de geração, como provimento de potência firme ou flexibilidade. Projetos desse tipo são de alto interesse para o sistema, mas precisam de inovações técnicas e regulatórias para se materializarem.

Ausência de um modelo regulatório e de rotinas operacionais adequadas para baterias multifunção

A única bateria em nível de transmissão em operação hoje no Brasil teve sua implantação autorizada em caráter excepcional pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para a subestação de Registro, da ISA/CTEEP. A bateria é um projeto de reforço de transmissão, que substituiu uma linha de transmissão planejada que precisaria passar por área sensível, onde o licenciamento ambiental não se mostrou viável. A concepção do projeto é monofunção e o mesmo foi avaliado e autorizado apenas pela comparação entre o custo do reforço por baterias e a solução alternativa mais barata, no caso a instalação de grupos geradores a diesel no local.

Um projeto análogo, mas desempenhando múltiplas funções, tenderia a ser mais interessante do ponto de vista econômico. Por exemplo, se a bateria fosse projetada para fornecer também lastro de potência para o sistema, o custo do investimento certamente seria superior, devido a um requisito de maior estocagem, mas um benefício importante seria

agregado, diluindo os custos em mais de uma aplicação. Caso a bateria pudesse, também, ser livremente programada ou despachada pelo ONS, a tecnologia passaria a agregar flexibilidade ao sistema, inclusive pelo lado da carga, além de estar disponível para o controle de tensão na região e de frequência no sistema, tornando o projeto ainda mais valioso.

Ocorre, porém, que o lastro de potência não pode, atualmente, ser fornecido por transmissores. Ademais, o leilão de capacidade não prevê um sinal locacional explícito, já que os projetos podem ser instalados em qualquer lugar do Sistema Interligado Nacional, ou valora atributos relativos à expansão da transmissão. Finalmente, não se visualiza como pode ser possível articular remunerações de capacidade com remunerações de transmissão (Receita Anual Permitida, definida em leilão ou autorização de transmissão), algo necessário tanto para tornar o investimento viável como para não gerar custos desnecessariamente elevados para os consumidores.

Do lado técnico, integrar um projeto de armazenamento multifunção ao sistema não é trivial, considerando a falta de precedentes no Brasil e a inexistência de experiências internacionais consolidadas – há muito exemplos, mas são, no geral, projetos novos ou mesmo projetos-piloto. A introdução desta tecnologia no sistema de transmissão provavelmente implicaria na revisão dos procedimentos de rede do ONS, bem como na adaptação de sistemas de proteção e controle por parte dos agentes e do operador do sistema.

Um *sandbox* para baterias multifunção

A ausência de um enquadramento regulatório, técnico e comercial para a introdução de uma tecnologia promissora, como o armazenamento multifunção, parece justificar a organização pela ANEEL de um *sandbox* regulatório específico para o tema.

Um *sandbox* regulatório é um ambiente experimental no qual empresas inovadoras podem testar novas tecnologias ou modelos de negócios sob um conjunto de regras temporárias e específicas. O objetivo é permitir a inovação e o desenvolvimento sem a necessidade de aderir imediatamente a todas as regulamentações estabelecidas que se aplicam ao setor elétrico.

Destaca-se que o *sandbox* é fundamentalmente um ambiente de incentivo à inovação onde o risco regulatório é temporariamente reduzido, permitindo a introdução de inovações que, de outra forma, poderiam ser consideradas arriscadas ou inviáveis devido a barreiras regulatórias. Este mecanismo oferece às empresas a possibilidade de operar sob um regime regulatório mais flexível, o que pode incluir isenções temporárias de certas regras ou requisitos, por exemplo, permitindo que um agente de transmissão desempenhe funções próprias de agentes de geração ou admitindo que os projetos contemplados introduzam funcionalidades ainda não codificadas nos procedimentos de rede.

Por outro lado, o *sandbox* permite que o regulador e o operador do sistema observem as inovações em ação e entendam melhor suas implicações regulatórias e técnicas. Da mesma forma, empresas inovadoras têm a oportunidade de entender os desafios e as preocupações regulatórias.

Como funcionaria a chamada ao *sandbox* de baterias para transmissão?

Um *sandbox* inicia com uma chamada da ANEEL, convidando empresas reguladas a elaborarem projetos com características específicas, que necessitem de alterações de regras regulatórias para se tornarem viáveis. O objetivo da iniciativa, conforme mencionado, é experimentar modelos de negócios inovadores do ponto de vista técnico e regulatório. Um desenho possível para essa chamada é apresentado a seguir.

A chamada seria destinada a concessionárias de transmissão que apresentariam projetos de armazenamento multifunção a serem construídos e instalados em subestações existentes. A lista de subestações de interesse, isto é, aquelas que poderiam vir a ter problemas de sobrecarga ou capacidade de escoamento endereçados pela instalação de baterias, faria parte do edital, a partir de contribuições do ONS e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

O ONS e a EPE também definiriam os parâmetros de potência e armazenamento mínimos e a lista mínima de serviços a serem prestados. Por outro lado, as empresas com ativos em subestações de interesse elaborariam projetos com a proposta técnica para as instalações físicas,

para os serviços a serem efetivamente prestados, bem como para os critérios de acompanhamento e avaliação de resultados.

Os melhores projetos seriam selecionados e receberiam da ANEEL, oportunamente, uma autorização para reforço de instalações existentes, fazendo jus a uma Receita Anual Permitida (RAP) calculada pela Agência e em comum acordo com o agente proprietário da subestação a ser instalada a bateria. A parte de estudos, desenvolvimento de produtos, acompanhamento e avaliação seria financiada por verbas do Programa de P&D da ANEEL e acompanhada por especialistas da Agência, da EPE e do ONS, de modo que a solução final tenha um caráter oficial e consolidado.

Observa-se que a opção de autorização com a disponibilização de RAP permite viabilizar projetos de porte maior do que seria possível apenas com verbas de P&D e, portanto, possibilita a implantação de iniciativas compatíveis com as necessidades do sistema de transmissão. Já a restrição do edital a concessionárias de transmissão com ativos em subestações de interesse emite um sinal locacional forte, compatível com o planejamento da expansão da transmissão.

Por outro lado, a opção por autorização ao invés de um leilão se dá pela própria inexistência de um modelo regulatório e comercial para baterias multifunções. Além disso, não há, hoje, uma metodologia aceita que permita comparar adequadamente projetos de características e custos diferentes, por exemplo, projetos com baterias com armazenamento de uma hora e outros com quatro ou mais horas de armazenamento, mais caros, porém com maiores possibilidades em termos de funcionalidades. Deste modo, a chamada do *sandbox* permitiria projetos com diferentes configurações que, se justificáveis, dariam lugar a remunerações distintas.

Do ponto de vista jurídico, sabe-se que um *sandbox* organizado pela ANEEL não pode infringir ou afastar qualquer norma hierarquicamente superior, como decretos ou leis. No caso em questão, os reforços em subestações existentes executados pelas próprias concessionárias de transmissão não seriam consideradas novas instalações de transmissão e, por isso, não estariam sujeitos à licitação, nos termos do art. 17 da Lei nº 9.074/1995.

Conclusão

À medida que se avança em uma era de crescente dependência da geração renovável não controlável, o papel do armazenamento tende a se tornar crucial. Este artigo destacou como as soluções inovadoras de armazenamento que desempenhem múltiplas funções oferecem um caminho flexível e econômico para enfrentar os desafios energéticos contemporâneos.

Contudo, desafios regulatórios e técnicos impedem a adoção em larga escala destas tecnologias. Assim, a necessidade de um quadro regulatório adequado para a tecnologia é evidente, o que faz com que a proposta pela ANEEL de um *sandbox* regulatório ganhe sentido. Este ambiente experimental poderia funcionar como um laboratório para superar as barreiras técnicas e regulatórias existentes, promovendo um terreno fértil para a inovação e colaboração entre os diversos atores do Setor Elétrico Brasileiro.

Referências:

- [1] Kupferzell (NetzBooster): <https://www.powermag.com/storage-as-transmission-project-announced-for-germany/>
- [2] Waratah: <https://www.energy-storage.news/powin-begins-work-on-1-9gwh-australian-super-battery-for-blackrock-owned-developer/>
- [3] <https://www.pv-magazine.com/2023/04/22/weekend-read-pathfinders-for-grid-stability/>