

Relevância estratégica dos sistemas de armazenamento de energia hídrica¹

Nivalde de Castro²

Ana Carolina Chaves³

Katarina Ferreira⁴

David Alexander⁵

O processo de transição energética induz uma marcha forçada à eletrificação das atividades produtivas e de consumo, aderente ao principal e estratégico objetivo para redução do aquecimento global que é a descarbonização. Atualmente, o instrumento mais relevante e dinâmico para acelerar a eletrificação são as plantas geradoras renováveis intermitentes, especialmente eólicas e solares. Estas duas têm rotas tecnológicas maduras e cadeias produtivas consolidadas, com destaque para a participação da China, consagrando custos muito competitivos em função da sua estratégia de transição energética e da escalabilidade daí advinda.

Como resultante, se constata uma ampliação acelerada da capacidade instalada dessas fontes, notadamente dos painéis solares fotovoltaicos, como verificado no Brasil e em outros países. Como resultado concreto e direto desta dinâmica, configura-se um crescente desequilíbrio diário entre o excesso de oferta em relação à demanda de energia elétrica, reflexo, acima de tudo, da geração solar ao longo do dia.

No Brasil, a expansão da participação da energia solar na matriz elétrica ocorreu por uma conjugação de dois fatores. Por um lado, a redução dos custos e maior eficiência tecnológica, vinculados ao efeito China, e, por outro,

¹ Artigo publicado no Broadcast Energia. Disponível em:

<https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/747/53484388>. Acesso em: 10 de set. 2025.

² Professor do Instituto de Economia da UFRJ e Coordenador-Geral do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL-UFRJ).

³ Pesquisadora Sênior do GESEL-UFRJ.

⁴ Pesquisadora Associada do GESEL-UFRJ.

⁵ Pesquisador Associado do GESEL-UFRJ.

estímulos derivados dos subsídios direcionados, em especial, à micro e minigeração distribuída (MMGD).

Neste sentido, a difusão da geração renovável intermitente acarreta uma questão técnica relevante, qual seja, essas unidades produtivas geram energia elétrica, em grande medida, fora do controle do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O resultado é que o ONS está sendo obrigado promover cortes na produção (curtailments) de plantas geradoras, de forma crescente, imprevisível e assimétrica para os agentes de geração, seja pelo excesso de oferta de energia, seja pela incapacidade do Sistema Interligado Nacional (SIN) de absorver a geração renovável.

A partir deste quadro analítico do cenário atual do Setor Elétrico Brasileiro, que demonstra perspectivas de agravamento por conta da estimada manutenção do crescimento da energia solar, uma conclusão qualificada pode ser identificada. Este cenário abre possibilidades concretas e bem fundamentadas para o desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia (SAE), uma vez que estes poderão ser carregados nos momentos de excesso de oferta e acionados para produzir energia quando o sol começar a se pôr no horizonte, repetindo diariamente esse processo.

Observa-se que duas são as tecnologias de SAE. A rota mais madura, com cadeia produtiva firmada, é o sistema de armazenamento de energia de fonte hídrica (SAEH), representado pelas usinas hidroelétricas reversíveis (UHRs), também denominadas por centrais de bombagem. Operacionalmente, o funcionamento de uma UHR se baseia no bombeamento da água para um reservatório superior quando a oferta de energia supera a demanda. Então, em momentos de queda da oferta, como no anoitecer, a água armazenada é utilizada para gerar energia, aliviando o estresse da rede elétrica, quando necessário. É importante, dando flexibilidade operativa para o ONS.

A segunda tecnologia é o sistema de baterias (BESS, do inglês Battery Energy Storage Systems), com rota tecnológica ainda em amplo desenvolvimento. Contudo, este artigo irá focar na análise do sistema de armazenamento hídrico (SAEH), partindo do contexto mundial para o Brasil.

No mundo, os SAEH são a principal forma de armazenamento de energia, representando mais de 90% do armazenamento energético mundial, segundo dados da Associação Internacional de Energia Hidrelétrica (IHA,2024). Essa tecnologia de armazenamento apresenta inúmeras vantagens, com destaque para:

1. Longa vida útil do ativo físico com mais de 40 anos de funcionamento;
2. Sustentabilidade ambiental por usar como recurso a água;
3. Capacidade de armazenar energia por muitas horas; e
4. Reforçar a cadeia produtiva de construção de usinas hidroelétricas.

Diante de suas características, os SAEH têm condições mais efetivas de garantir flexibilidade operativa, possibilitando a redução do despacho de usinas térmicas, contribuindo para aumentar a confiabilidade do sistema e reduzindo os custos marginais de operação.

Nos últimos anos, os SAEH registraram um crescimento contínuo, alcançando, em 2024, 189,41 GW de potência instalada mundial. Conforme ilustra o Gráfico 1, a tendência de expansão tem se intensificado nos anos recentes, o que demonstra a relevância e consolidação crescente dessa tecnologia.

Figura 1 - Ampliação Anual da Capacidade Instalada Mundial de SAEH: 2017-2025.

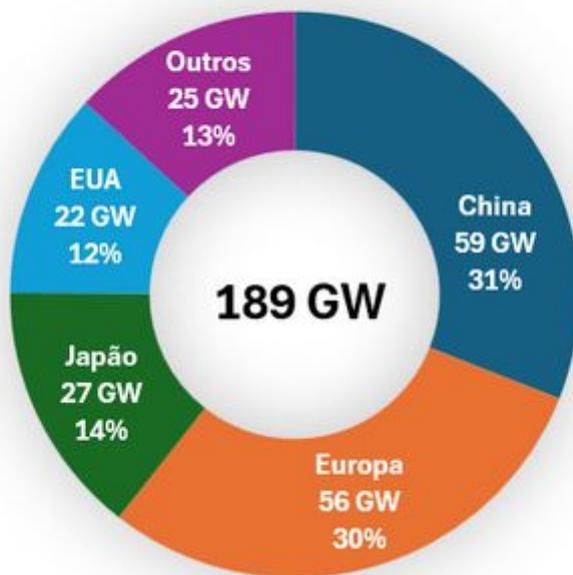


Fonte: Relatório Anual da IHA (2024).

A análise da distribuição geográfica mundial dos investimentos em SAEH indica um alto grau de concentração na China, com cerca de 31% do total mundial, refletindo, assim, a prioridade do planejamento e da política chinesa em relação à transição energética (IHA, 2024). Em segundo lugar, destacam-se os países da Europa, somando 30% da capacidade mundial, seguidos de Japão e Estados Unidos, conforme destacado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Composição Mundial da Capacidade Instalada em SAEH: 2024.

Participação na Capacidade Instalada Mundial



Fonte: Relatório Anual da IHA (2024).

Nota-se que os países que atualmente priorizam a construção de SAEH são, sobretudo, China e Estados Unidos. A China planeja alcançar 62 GW de capacidade instalada ainda em 2025 e praticamente dobrar esse valor para 120 GW até 2030, mantendo sua liderança em UHRs (IHA, 2024). No contexto chinês, esse protagonismo decorre dos seguintes fatores:

1. Fortes investimentos realizados para suportar o rápido desenvolvimento econômico;
2. Necessidade de atender a uma crescente demanda por confiabilidade;
3. Reduzir as emissões de gases de efeito estufa; e
4. Aumentar o grau de segurança energética para reduzir as importações de recursos energéticos frente ao cenário geopolítico energético tão complexo, em especial com a Guerra da Ucrânia e a imprevisibilidade do governo Trump.

No Ocidente, os Estados Unidos têm previsão de acrescentar 16,2 GW de capacidade instalada, até 2030, e atingir um total de 57,1 GW, em 2050 (IHA, 2024). Esse crescimento, embora bem abaixo do estimado na China, reflete a necessidade de armazenamento de energia, dado o progressivo aumento de participação de fontes não controláveis na matriz elétrica de alguns estados, em especial da Califórnia. Possivelmente, as metas estadunidenses serão revistas e diminuídas, em função da nova política de destransição energética imposta pelo governo Trump.

De forma similar, o Brasil apresenta um forte crescimento das fontes renováveis solar e eólica e uma perspectiva de redução relativa da participação das usinas

hidrelétricas convencionais em sua matriz elétrica. Segundo dados de 2025 do ONS, as fontes eólica e solar equivalem a cerca de 54,8 GW da capacidade instalada do SIN e, de acordo com o Plano Decenal de Energia (PDE), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), há a previsão de expansão para 77 MW, em 2034.

Destaca-se que a forte presença e perspectiva de difusão dessas fontes intermitentes e a crescente ocorrência de curtailments tornam a matriz brasileira mais volátil no curto prazo, fator que expressa a importância e necessidade de implementação de SAEH para controle da denominada "curva do pato". Assim, com a rápida redução da energia solar, a rampa de demanda criada pode ser suprida por UHRs, mantendo a segurança da operação do SIN.

No Brasil, onde o grande lastro da matriz elétrica está baseado em usinas hidrelétricas, a vantagem para priorizar os SAEH é não só elevada, mas estratégica, uma vez que estes podem prover novas funções para o atual parque gerador, além de proporcionar externalidades econômicas para uma cadeia produtiva que está com muita ociosidade, tendo em vista, outra vantagem que o elevado índice de nacionalização. Ademais, os SAEH podem fornecer diversos benefícios aos sistemas energéticos, tais como:

1. O fornecimento de potência firme;
2. O aumento de segurança e confiabilidade do sistema;
3. A otimização do uso dos recursos de geração, através do armazenamento de energia; e
4. A otimização da expansão do sistema de transmissão por meio da postergação de investimentos, principalmente nos casos em que a expansão da geração está localizada distante dos principais centros de demanda.

Embora investimentos em SAEH ainda não tenham sido viabilizados no Brasil, já foram realizadas análises iniciais de viabilidade e impacto de sua implementação em estudos científicos (Hunt et al., 2023) e por meio de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Porém, o Brasil ainda não possui um arcabouço regulatório que dê segurança e incentive os investimentos privados nesse tipo de tecnologia, revelando a necessidade de uma regulamentação clara e consistente sobre a sua conexão e atuação no SIN, assim como sobre as possibilidades de remunerar pelos seus serviços. O próximo Leilão de Reserva de Capacidade (LRCap) já prevê a contratação de BESS e, embora não mencione SAEH, criará as bases para futuros leilões especificamente para esta tecnologia, dado sustentável e inequívoco grau de complementariedade dos dois sistemas de armazenamento.

Além disso, com objetivo de criar uma regulamentação para os SAEH, a ANEEL publicou o relatório de Análise de Impacto Regulatório (AIR) nº 1/2023 e instaurou a Consulta Pública nº 39/2023, com a publicação da Nota Técnica nº

13/2025. Contudo, para caminhar junto com o processo de transição energética e observando as metas internacionais de forte presença dessa tecnologia, é essencial que o Brasil se aprofunde nos estudos voltados ao arcabouço regulatório de remuneração e operação dos SAEH.

Nesse sentido, se espera que o próximo LRCap firme uma base regulatória mínima, que será de suma importância para estimular a criação de alternativas de viabilidade dos SAEH, considerando a sua relevância estratégica para o crescimento das fontes renováveis no país. Dessa forma, será possível fomentar a construção de SAEH, pavimentando o caminho para um setor eletroenergético brasileiro mais sustentável, confiável e econômico para o consumidor final.