



São Paulo, 26 de abril de 2024

Exmo. Sr.
Alexandre Silveira
DD. Ministro
Ministério de Minas e Energia - MME
Brasília, Distrito Federal.

Assunto: Contribuições à Consulta Pública Nº 160 de 08/03/2024

O **Power Systems Innovation Hub (InnovaPower)** é o novo programa do Research Centre for Greenhouse Gas Innovation (RCGI), um Centro de Estudos da Universidade de São Paulo, que foi lançado em junho de 2023. O InnovaPower conta com mais de 150 pesquisadores entre professores, pós-doutorandos, doutorandos, mestrandos e alunos de graduação de diversas unidades da USP (incluindo EPUSP, IO, IEE e EESC), bem como de outras Universidades públicas brasileiras. Tem como objetivo desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis com foco na descarbonização de sistemas elétricos de energia. Este programa aborda diversos aspectos como avaliação de impacto ambiental, materiais ecoeficientes, aumento da disponibilidade e eficiência da produção de electricidade, otimização dos recursos energéticos distribuídos e integração com a agricultura. Estas iniciativas contribuem para a transição para um sistema energético mais limpo e sustentável, em linha com os desafios da descarbonização global e da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável.

Metas do programa:

1. Desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis para a descarbonização dos sistemas elétricos.
2. Aumentar a eficiência da produção de eletricidade e otimizar a integração de recursos energéticos renováveis.

Objetivo da portaria: A Portaria nº 774/GM/MME, de 7 de março de 2024, estabelece diretrizes fundamentais para a realização do "Leilão de Reserva de Capacidade na forma de Potência de 2024" (LRCAP de 2024). Este leilão tem como objetivo garantir a continuidade e a segurança do fornecimento de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional (SIN), contratando potência de empreendimentos de geração, tanto novos quanto existentes.

1. Introdução

Após décadas de expansão centralizada e de predominância da fonte hidrelétrica, o Brasil entrou definitivamente na década da diversificação e da descentralização da sua matriz elétrica. De forma geral, dispor de uma matriz menos dependente de uma única fonte - especialmente se esta depender de recursos naturais, como a água - é algo desejável. Por outro lado, a diversificação traz consigo uma série de desafios sobre o desenho do mercado de eletricidade e sobre como reconhecer e precificar os atributos de cada fonte de geração.

No início dos anos 2000, as hidrelétricas respondiam por 85% da capacidade instalada e por mais de 90% da geração anual de energia. Em 2010, sua participação na matriz caiu para 71%, mas sua representatividade na geração seguiu acima de 80%. No início da presente década, as hidrelétricas representavam em torno de 60% da matriz elétrica e sua participação na geração tem ficado entre 55 e 65%, dependendo do cenário hidrológico.

Olhando adiante, projeta-se que a participação das hidrelétricas cairá para em torno de 40%, em termos de capacidade instalada, até o final da década.

E quem vem ocupando este espaço? Fundamentalmente, as fontes eólica e solar, que, em 2023, alcançaram 29% da matriz em capacidade instalada. Destaque para a solar fotovoltaica, na modalidade distribuída (GD), que superou a marca de 25 GW, dez anos após sua regulamentação pela ANEEL.

As características dessas fontes (de natureza limpa e renovável, mas também intermitente e variável) são amplamente conhecidas, dispensando uma descrição mais longa. Por outro lado, é fato que a inserção massiva das fontes renováveis exigirá atributos elétricos e energéticos importantes, que até então eram oferecidos pelas hidrelétricas e termelétricas, sem a devida precificação e remuneração.

Neste ponto, constata-se um desafio. Apesar de ser um recurso flexível e com atributos riquíssimos, a geração síncrona (de fonte hídrica ou térmica) padece, ao menos no Brasil, de uma série de restrições que impedem seu uso ótimo sob a ótica do sistema elétrico. No que se refere às hidrelétricas em particular, as próprias usinas a fio d'água se veem limitadas, em parte do ano, na prestação de alguns serviços ao sistema, devido à sua falta de capacidade de regularização.

As hidrelétricas, em geral, e aquelas “com reservatório”, em particular, constituem recurso indispensável à operação do sistema. Por outro lado, são cada vez mais frequentes as tentativas de limitar o uso dos reservatórios para otimização energética. Cotas mínimas de operação, vazões mínima ou máxima defluentes, usos consuntivos da água, etc. Cada restrição imposta à geração hidrelétrica diminui sua flexibilidade e, conseqüentemente, sua capacidade de prestar outros serviços ao sistema.

No PDE 2031, a EPE considerou como “meta de geração hidráulica mínima” (ou, geração hídrica compulsória) para efeitos de planejamento, o valor de 29 GWmed. Este valor considera as diversas restrições impostas sobre a geração hidrelétrica e representa em torno de 50% da carga média do SIN atualmente.

Coincidem com essa análise as conclusões do PEN 2026, do ONS, que estima em 71% a inflexibilidade total da geração, ao final do horizonte de estudo. Desses 71%, a fonte hidráulica responde por 36%, as renováveis por 28% e a inflexibilidade das usinas termelétricas por 7%.

Em suma, a otimização da operação será feita apenas para atendimento aos 29% remanescentes de carga líquida - o que, naturalmente, não é algo desejável.

Algumas questões emergem do cenário acima descrito. Por que apenas as hidrelétricas foram adicionalmente contempladas no Leilão de Reserva de Capacidade na forma de Potência 2024? Como garantir não apenas a expansão de novas unidades geradoras nas hidrelétricas, mas também criar as condições ambientais necessárias para viabilizar sua operação com maior flexibilidade?

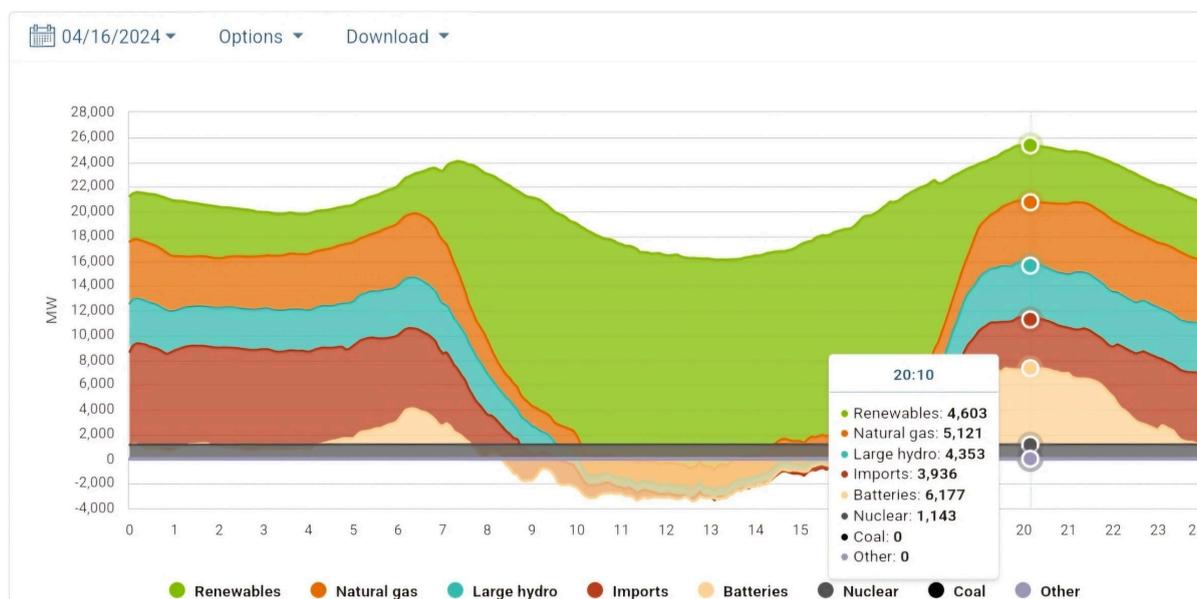
Além disso, por que outras fontes e recursos ricos em flexibilidade não foram considerados, como usinas híbridas e soluções com armazenamento? A inserção de baterias no SIN não poderia contribuir com o aumento da flexibilidade do sistema, melhorando o cenário descrito acima e apresentado no PEN 2026?

Entendemos que o atendimento aos requisitos de potência poderia ser perfeitamente alcançado (também) pelas fontes renováveis, desde que aliadas a soluções de armazenamento.

Vejamos, brevemente, o caso recente da Califórnia. No dia 16/04/2024, às 20h10, às baterias representaram 24,4% do atendimento à demanda, sendo a fonte com maior representatividade naquele instante, com mais de 6 GW de injeção. Mas não apenas isso. Diariamente, as baterias têm sido utilizadas para aproveitar os momentos de sobra de geração renovável, contribuindo com o atendimento dos picos de carga ao final do dia.

Supply trend

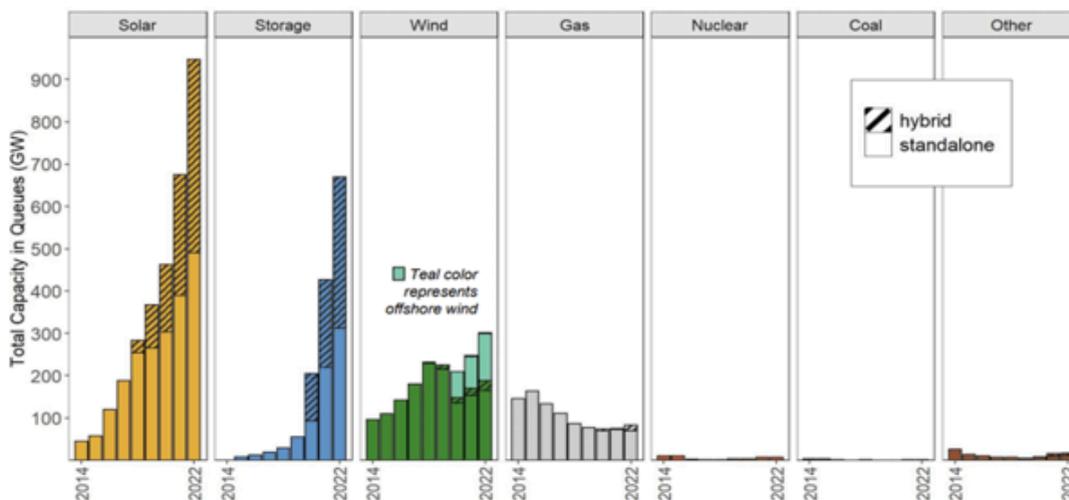
Energy in megawatts broken down by resource in 5-minute increments.



Ainda no que se refere ao contexto norte-americano, a figura abaixo (publicada por Edmar de Almeida na seção “Opinião” da Revista Brasil Energia, disponível em <https://brasilenergia.com.br/energia/precificacao-horaria-e-a-geracao-eletrica-hibrida>), mostra que Rand et al (2023), da Universidade de Berkeley, fizeram um levantamento da evolução dos projetos que aplicaram para ter acesso às redes de transmissão nos Estados



Unidos e verificaram não apenas um crescimento explosivo da intenção de investir em geração renovável solar e eólica, mas também em estocagem de energia elétrica. Os projetos de estocagem identificados são 99% com baterias. Chama também atenção o fato de que cerca da metade dos projetos de usinas solar são híbridos, principalmente com sistemas de estocagem. Em outras palavras, a utilização de dispositivos de armazenamento por fontes renováveis e intermitentes apresenta forte tendência de crescimento em sistemas continentais tais como o dos Estados Unidos. Apresenta-se abaixo as características das plantas de geração que aplicaram para acessar a rede nos EUA entre 2014 e 2022.



Fonte: Rand, et al. (2023). Queued Up: Characteristics of Power Plants Seeking Transmission Interconnection. Disponível em https://emp.lbl.gov/sites/default/files/queued_up_2022_04-06-2023.pdf

Não seria essa uma alternativa relevante a ser considerada também para o caso brasileiro? Com o desenho de mercado adequado, soluções de armazenamento poderão ser rapidamente viabilizadas, contribuindo com o atendimento do SIN. E entendemos que o LRCAP 2024 constitui o momento mais adequado para inclusão desse recurso energético no planejamento e operação do SIN.

2. Atributos elétricos para suprimento de potência

Os sistemas de armazenamento de energia podem oferecer uma série de atributos elétricos para o suprimento de potência, melhorando a flexibilidade, a confiabilidade e a eficiência do sistema elétrico, atendendo aos requisitos estabelecidos pela Portaria nº 774/GM/MME. Alguns dos principais atributos que esses sistemas de armazenamento podem fornecer:

Regulação de Frequência:

Os sistemas de armazenamento podem responder rapidamente a variações na demanda de energia ou na geração, ajudando a manter a frequência da rede dentro dos limites seguros. Já existem mercados específicos para esse atributo, como exemplo, citamos CAISO e PJM nos EUA. Mesmo que o Brasil ainda não necessite desse tipo de mercado, o fato de poder ter equipamentos conectados ao SIN que possam fornecer esse serviço pode ajudar a rede no futuro.

Contribuição para a estabilidade da Rede:

Os sistemas de armazenamento possuem capacidade de resposta rápida frente distúrbios na rede, como flutuações súbitas de tensão ou falhas, contribuindo para uma melhor estabilidade do sistema elétrico.

Flexibilidade Operativa:

A capacidade de carga e descarga rápida permite que esses sistemas se ajustem às variações na oferta e demanda de energia de forma eficiente, o que é crucial para a operação do SIN conforme os critérios de despacho determinados pelo ONS.

Integração de Fontes Renováveis:

Esses sistemas podem atuar de forma a facilitar a integração de fontes renováveis, como solar e eólica, ao armazenar o excesso de energia gerada e liberá-la quando necessário, ajudando a mitigar a variabilidade dessas fontes.

Regulação de Tensão:

Podem contribuir com a injeção (ou consumo) de potência reativa na (da) rede durante flutuações de tensão de forma a ajudar na regulação da tensão, operando como um compensador de reativos e evitando possíveis desligamentos.

Melhoria da Qualidade de Energia:

Podem contribuir na redução de harmônicos, melhorando a qualidade da tensão e corrigindo o fator de potência, o que é benéfico para a eficiência geral do sistema e para a redução de perdas técnicas.

Reserva de Potência (ponto específico da Portaria nº 774/GM/MME):

Podem fornecer potência adicional durante períodos de pico ou quando outras fontes de energia falham, apresentam limitação ou estão indisponíveis.

Gestão de Picos de Demanda (funcionalidade complementar):

Os sistemas de armazenamento de energia podem ser carregados durante períodos de baixa demanda e descarregados durante picos de demanda. Assim, podem substituir a necessidade de ativação de usinas termelétricas mais caras e menos eficientes durante picos de demanda diários ou que ocorrem eventualmente na rede.

Redução de *curtailment* em eventos de *constrained-off*

Como vem sendo relatado tanto por meio da divulgação de banco de dados públicos do ONS como na mídia, os eventos de *constrained-off* estão reduzindo a inserção de geração eólica e solar no SIN. Os sistemas de armazenamento de energia em baterias, quando instalados junto ao operador da planta ou em local estratégico, podem aumentar essa inserção e garantir a continuidade de seu fornecimento em períodos posteriores aos eventos.

Esses atributos dos sistemas de armazenamento de energia estão alinhados com os objetivos da Portaria nº 774/GM/MME, que busca assegurar o fornecimento confiável e eficiente de energia, enquanto promove a expansão de fontes de geração despacháveis e flexíveis. Portanto, o armazenamento de energia pode ser um componente estratégico no planejamento e operação do SIN, especialmente considerando a transição energética no Brasil.

3. Renováveis com baterias como formadoras de rede

A vasta maioria dos conversores utilizados para a conexão de fontes renováveis de energia e sistemas de armazenamento operam em um modo conhecido como *seguidor de rede*. Ou seja, esses conversores injetam corrente na rede elétrica seguindo os valores de frequência e magnitude da tensão medida no seu ponto de conexão. Durante uma perturbação, os conversores seguidores de rede comportam-se como fontes de corrente constante, sem uma resposta imediata na ausência de controles adicionais. No entanto, as redes elétricas com alta participação de fontes interligadas por conversores ficam sujeitas a problemas de estabilidade dado que a injeção de potência no modo seguidor de rede causa perturbações na tensão da rede necessária para a sua sincronização, fato que é agravado pela diminuição do número de geradores síncronos em operação.

Como alternativa, é possível operar os conversores de potência no modo *formador de rede*. Neste modo de operação, o objetivo do controle é manter um fator interno de tensão nos conversores, ou seja, controlando a sua própria magnitude e frequência da tensão. Neste caso, os conversores comportam-se como fontes de tensão logo após uma perturbação na rede e seus controles são projetados para que respondam imediatamente, de forma natural, às perturbações na rede assim como os geradores síncronos. Isso permite que as fontes que hoje contribuem para a diminuição da força da rede elétrica passem a ser parte da solução do problema, e não apenas contribuir para o aumento dos desafios operacionais. Dentre as possíveis contribuições dos conversores formadores de rede estão a resposta inercial virtual, operação em redes sem geradores síncronos, redução do *curtailment*, e a capacidade de auxiliar na restauração do sistema (*black start*).

Os sistemas de armazenamento de energia são vistos como uma solução para acomodar a crescente participação de fontes renováveis variáveis de energia. No entanto, se o seu projeto for realizado considerando a operação no modo seguidor de rede, esses sistemas correm o risco de não trazerem o benefício esperado no longo prazo. Assim, o setor elétrico tem uma excelente janela de oportunidade de prever a instalação destes sistemas de armazenamento já no modo formador de rede, antecipando-se às necessidades futuras da rede. Com isso, será possível ganhar experiência na operação desses sistemas e com base em dados reais de operação direcionar o desenvolvimento da tecnologia para o futuro.

Essa filosofia já vem sendo adotada em países como a Austrália, Irlanda e Estados Unidos onde baterias formadoras de rede já estão sendo utilizadas para aumentar a estabilidade em áreas ricas em geração renovável. A experiência tem mostrado os benefícios deste tipo de recurso para o sistema elétrico e a sua capacidade de contribuir com os crescentes desafios da operação em sistemas com alta participação de fontes interligadas por

conversores. Trazendo para o contexto do sistema elétrico brasileiro, a instalação de baterias como formadoras de rede no subsistema nordeste pode trazer grandes benefícios para a estabilidade do sistema. A adoção da tecnologia no Brasil passa por um esforço da definição por parte do ONS, em seus procedimentos, dos requisitos para o comportamento formador de rede dos conversores.

Assim, o Leilão de Reserva de Capacidade na forma de Potência torna-se uma oportunidade para que a operação como formador de rede seja prevista para os sistemas de armazenamento de energia eventualmente contratados. Além de atender as necessidades imediatas de reserva de potência, o sistema elétrico brasileiro terá a oportunidade de ganhar uma experiência muito importante na operação de conversores formadores de rede neste novo cenário, garantindo a segurança na transição para um sistema elétrico ainda mais sustentável.

4. Operação do SIN com sistemas de armazenamento

Conforme mencionado anteriormente, os principais objetivos da Consulta Pública Nº 160 de 08/03/2024 estão relacionados à operação do SIN de um ponto de vista sistêmico. Em contraste, a grande maioria dos empreendimentos de geração renovável por fontes intermitentes tem atualmente como objetivo, do ponto de vista regulatório e técnico, atribuições de controle somente locais. De forma sumarizada, tais atribuições podem ser descritas como: a) manter a tensão no ponto de acoplamento comum (PAC) dentro de limites pré-estabelecidos; e b) contribuir para a regulação de frequência de forma individual, variando sua potência injetada em 10% durante 5 segundos com forma de contribuir para o restabelecimento entre oferta e demanda durante transitórios provocados por perturbações no sistema.

Fica evidente, dessa forma, que a geração renovável por fontes intermitentes contribui pouco para a regulação sistêmica e coordenada de tensão e frequência do SIN. Um dos principais fatores que, atualmente, limita esta contribuição é o fato de que tais fontes têm uma pequena capacidade de variar sua potência injetada, pois não possuem reservas de energia que permitam tal variação.

Neste sentido, a inclusão de baterias no LRCAP de 2024 poderá ser o princípio de um novo arcabouço regulatório que permita futuramente a inclusão da geração renovável por fontes intermitentes na regulação sistêmica e coordenada de tensão e frequência do SIN.

Os potenciais benefícios dessa inclusão são evidentes.

Para os agentes de geração renovável variável, a possibilidade de se conectar a uma rede que, local e globalmente, apresenta perfis de tensão e capacidade de restabelecimento rápido do balanço entre carga e geração deve levar a uma menor probabilidade de estabelecimento de restrições operativas, garantindo que os respectivos geradores possam explorar de forma mais eficiente a disponibilidade da fonte primária de energia.

Para o SIN, tendo em vista que grandes aproveitamentos de energia renovável tendem a se concentrar em regiões específicas que, em geral, estão distantes dos principais centros de carga, uma melhor distribuição geográfica e elétrica do controle de tensão e frequência deverá permitir uma operação mais eficiente e segura.

Por fim, para a sociedade de maneira geral, a inclusão mencionada (a qual pode ser viabilizada com a utilização de baterias) tem o potencial de acelerar a diversificação da matriz energética nacional, mantendo assim o Brasil como um dos líderes mundiais no processo de transição energética.

5. Considerações Finais

Com as considerações apresentadas acima, nosso grupo tem convicção de que a inclusão de tecnologias modernas aplicadas em Sistemas de Armazenamento de Energia são cruciais para o aumento da penetração de energia renovável variável no SIN.

Como principais pontos de destaque de sua aplicação dentro dos objetivos da Portaria nº 774/GM/MME, considerando os benefícios

6. Lista de Pesquisadores

Prof. Maurício B C Salles (EPUSP)
Prof. Renato Machado Monaro (EPUSP)
Prof. Jose Roberto Cardoso (EPUSP)
Prof. Luis Felipe Normandia Lourenço (IEE-USP)
Prof. Eduardo N. Asada (EESC-USP)
Prof. Rodrigo Andrade Ramos (EESC-USP)

Professor Maurício B C Salles
Diretor do Programa InnovaPower
Research Centre for Greenhouse Gas Innovation - RCGI
Universidade de São Paulo
<https://sites.usp.br/rcgi/programmes-and-projects/>
email: mausalles@usp.br