

O Potencial Estratégico das PCHs e Usinas Reversíveis no Brasil: Mitigação de Riscos e Otimização para Consumidores de Alta Demanda¹

Daniel Araujo Carneiro²

A expansão e a segurança do Sistema Interligado Nacional (SIN) exigem soluções de geração e armazenamento capazes de acompanhar a crescente participação de usinas eólicas e solares na matriz elétrica brasileira e de mitigar os efeitos da geração intermitente inerente a essas fontes.

Neste cenário dinâmico, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e, em particular, as Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHRs), posicionam-se como peças estratégicas do sistema. Ambas são capazes de reduzir riscos operacionais enfrentados pelo setor e, simultaneamente, oferecer soluções customizadas para grandes agentes do mercado que buscam maior fator de capacidade e otimização de custos diretos de produção.

PCHs e a redução de Riscos ao Sistema

As PCHs e as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) são reconhecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como alternativas de geração com baixa interferência socioambiental comparadas às grandes hidrelétricas.

O menor porte dessas centrais reduz a supressão de vegetação nativa e a necessidade de realocação de comunidades, o que mitiga impactos sociais e diminui os custos de compensação ambiental. Além disso, a predominância de projetos a fio d'água nas PCHs e CGHs evita alterações drásticas no regime hidrológico, contribuindo para preservar habitats aquáticos, e para limitar o acúmulo de matéria orgânica no reservatório, diminuindo a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Contudo, ainda que representem interferências mitigáveis, esses empreendimentos seguem sujeitos a desafios que demandam um processo de Licenciamento Ambiental rigoroso, em conformidade com a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81). Nesse contexto, se faz necessário que os estudos considerem os impactos cumulativos e sinérgicos em bacias com múltiplos aproveitamentos, assegurando uma análise regional integrada e o equilíbrio entre desenvolvimento e preservação ambiental.

Usinas Reversíveis (UHRs): Armazenamento Estratégico

¹ Artigo publicado pela Agência CanalEnergia. Disponível em:

<https://www.canalenergia.com.br/artigos/53331504/o-potencial-estrategico-das-pchs-e-usinas-reversiveis-no-brasil-mitigacao-de-riscos-e-otimizacao-para-consumidores-de-alta-demanda> Acessado em 28.11.2025

² Diretor da DAC Energia

A necessidade de armazenamento em larga escala, com resposta rápida e alta flexibilidade, representa uma evolução estratégica para o SIN.

As UHRs, embora exijam elevado investimento inicial e envolvam forte complexidade construtiva, decorrente da necessidade de dois reservatórios e sistemas eletromecânicos avançados, além de desafios geológicos, oferecem a solução hidráulica de armazenamento de maior longevidade e confiabilidade ao setor. Esses empreendimentos podem operar com alta performance por mais de 80 anos, garantindo segurança energética, flexibilidade operativa e estabilidade ao sistema elétrico brasileiro.

O conceito de UHR, quando aplicado a projetos de menor porte (como PCHs Reversíveis) com arranjos de ciclo aberto, que aproveitam o fluxo do rio e reservatórios já existentes, potencializa a viabilidade econômica em relação a outras tecnologias de armazenamento, especialmente para períodos mais longos de atendimento à demanda. Esse arranjo utiliza infraestrutura previamente disponível, reduzindo custos e impactos associados à implantação de grandes sistemas de armazenamento.

Estudos de viabilidade técnica que simulam o armazenamento de energia necessário para cobrir picos diários de demanda elétrica de curta duração (tipicamente na faixa de 4 horas) demonstram uma competitividade de custos entre as Unidades Hídricas Reversíveis (UHRs) — também conhecidas como Usinas Hidrelétricas de Bombeamento (PHS – Pumped Hydro Storage) — e os Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias de Íon-Lítio (BESS – Battery Energy Storage Systems) em escala de utilidade pública (larga escala).

A análise se torna particularmente favorável às UHRs ao considerar a vida útil significativamente superior de suas infraestruturas hidráulicas e eletromecânicas em comparação com as baterias de íon-lítio.

Embora o custo por quilowatt-hora (\$/kWh) das baterias venha apresentando queda acelerada, as UHRs preservam uma vantagem decisiva em termos de longevidade, com operação superior a 80 anos, enquanto as baterias contam com vida útil limitada (tipicamente 10 a 15 anos) e exigem substituições periódicas com custos relevantes. Essa durabilidade torna as UHRs uma alternativa de armazenamento mais eficiente e sustentável no horizonte de longo prazo, com menor custo ao longo do ciclo de vida do ativo.

Isso implica que, embora os custos de capital inicial (CAPEX) possam ser semelhantes ou ligeiramente mais altos para as UHRs, o custo nivelado de armazenamento (LCOS – Levelized Cost of Storage) ao longo de todo o ciclo de vida do projeto favorece as soluções hidráulicas, devido à sua longevidade e menor necessidade de substituição de componentes primários de armazenamento.

Esta capacidade de armazenar energia por longos períodos ($\geq 4h$) representa um diferencial técnico e econômico crucial. Enquanto a tecnologia de Baterias de Íon-Lítio (BESS) enfrenta limitações de custo e escalabilidade para manter altas potências por durações significativamente superiores a 4 horas, as UHRs podem ser dimensionadas para fornecer potência nominal por 8, 10, ou até mais de 24 horas, dependendo da configuração dos reservatórios.

Para agentes do mercado livre, como grandes indústrias, mineradoras e datacenters, cuja produção exige um alto fator de capacidade e fornecimento firme em qualquer horário do dia, inclusive em horários de pico de consumo, as UHRs oferecem uma solução incomparável, combinando confiabilidade operativa, flexibilidade e estabilidade no suprimento de energia.

Elas possibilitam a arbitragem de custos, permitindo que o empreendedor compre energia a preços baixos em períodos de menor demanda ou de excesso de geração renovável para bombear água, e depois gere nos períodos de pico, quando o custo da energia é mais elevado. Este ciclo contribui para a otimização do consumo na rede e para a mitigação de perdas sistêmicas, bem como permite ao agente reduzir seus custos

diretos de produção.

Além disso, a capacidade de resposta quase que imediata das UHRs assegura a confiabilidade ao sistema, fornecendo serviços ancilares e protegendo o sistema contra oscilações e interrupções na energia de ponta.

Mercado de Capacidade e Aprimoramentos Regulatórios

O principal desafio para a expansão das UHRs no Brasil está no âmbito regulatório, mais do que no técnico ou ambiental. O atual marco normativo do setor elétrico ainda não contempla regras específicas que permitam a plena valorização econômica dos diversos serviços essenciais prestados por estas usinas, como a rápida capacidade de ramp-up, inércia eletromecânica e estabilidade do sistema.

O desafio central reside no chamado “Missing Money” (dinheiro faltante), situação em que a receita obtida apenas por arbitragem e venda de energia no mercado não é suficiente para cobrir o custo total de implantação de um projeto de UHR.

As UHRs, assim como as grandes hidrelétricas convencionais, são capazes de fornecer suporte de potência reativa, que é essencial para o controle de tensão (tensão) em subestações e linhas de transmissão, garantindo estabilidade e qualidade do fornecimento elétrico.

Ao operar como compensadores síncronos (sem injeção de potência ativa, mas com o gerador girando), as UHRs podem injetar ou absorver potência reativa rapidamente na rede, mantendo os níveis de tensão dentro dos limites operacionais seguros. Este controle é importante, pois oscilações de tensão podem provocar apagões localizados ou até sistêmicos.

Para contornar essa limitação, o Mercado de Capacidade surge como o principal mecanismo de viabilização. Nesse modelo, a remuneração é separada entre disponibilidade (Potência) e consumo efetivo (Energia), permitindo que a UHR seja remunerada por sua prontidão para gerar nos momentos críticos do sistema.

Por meio de Contratos de Longo Prazo por Disponibilidade, geralmente formalizados em leilões, a UHR passa a receber uma receita fixa anual, correspondente ao compromisso de manter a potência contratada disponível para operação quando necessário.

Essa receita de capacidade é independente do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) e da receita de arbitragem, assegurando a cobertura dos custos fixos de capital e tornando viáveis investimentos em projetos que exigem alto investimento inicial.

A urgência em superar o desafio do “Missing Money” e a ausência de remuneração adequada para diversos serviços de sistema (flexibilidade, potência e serviços ancilares) encontram um marco decisivo com a aprovação da Medida Provisória 1304/2025.

A Medida Provisória (MP) representa um avanço regulatório significativo que legitima formalmente a operação dos sistemas de armazenamento de energia (seja autônoma ou hibridizada) em múltiplos níveis do SIN e atribui explicitamente à ANEEL a finalidade de regular e fiscalizar sua implantação e operação. Essa legitimação permite que todos os agentes do setor elétrico — Geradores, Transmissores, Distribuidores e Comercializadores — utilizem o armazenamento para fornecer uma diversidade de serviços essenciais ao sistema, otimizando a flexibilidade e a segurança operacional da rede.

Em conclusão, enquanto as PCHs proporcionam expansão energética de baixo impacto relativo e maior facilidade regulatória, as UHRs se consolidam como elementos estratégicos para o armazenamento de energia e a otimização de custos operacionais, especialmente para grandes consumidores.

A superação dos desafios regulatórios, impulsionada pela formalização do arcabouço

normativo do armazenamento hídrico por meio da MP 1304/2025, caso o dispositivo da MP não seja vetado, representa um divisor de águas para o setor elétrico.

A implementação efetiva de um Mercado de Capacidade que remunere de forma clara a potência e a segurança, agora respaldada por um marco regulatório modernizado, representa um passo decisivo rumo a um futuro energético mais robusto.

Com esse novo arcabouço, as UHRs consolidam-se como pilares da competitividade, da segurança e da flexibilidade do SIN, assegurando fornecimento de energia sustentável e confiável para o crescimento do país e pavimentando o caminho para uma transição energética sólida e de longo prazo.