



**ANE BRASIL**  
ACADEMIA  
NACIONAL DE  
ENGENHARIA

# **POSICIONAMENTO SOBRE A IMPORTÂNCIA DAS USINAS HIDROELÉTRICAS PARA O SIN**

**COMITÊ PERMANENTE DE ENERGIA**

**Novembro de 2024**



**ANE BRASIL**  
ACADEMIA  
NACIONAL DE  
ENGENHARIA

# **POSICIONAMENTO SOBRE A IMPORTÂNCIA DAS USINAS HIDROELÉTRICAS PARA O SIN**

COMITÊ PERMANENTE DE ENERGIA

Contribuíram na redação:

Altino Ventura Filho

Eduardo Serra

Flavio Miguez (coordenador)

Jerson Kelman

José Eduardo Moreira

Maria Elvira Maceira

Mário Menel

Nelson Martins

Paulo Gomes

Paulo Sehn

## Sumário

<b>Resumo do desenvolvimento da geração de energia do setor elétrico brasileiro.....</b>	<b>4</b>
<b>Cenário atual.....</b>	<b>5</b>
<b>Perspectivas do suprimento de energia elétrica no curto prazo .....</b>	<b>7</b>
<b>Usos múltiplos de reservatórios de hidroelétricas.....</b>	<b>7</b>
<b>Armazenamento de energia.....</b>	<b>8</b>
<b>Benefícios dos serviços ancilares propiciados pelas hidroelétricas.....</b>	<b>11</b>
<b>Efeitos da transição energética.....</b>	<b>13</b>
<b>Conclusões e recomendações .....</b>	<b>14</b>

## Resumo do desenvolvimento da geração de energia do setor elétrico brasileiro

No final do Século XIX começaram a ser implantadas pequenas usinas geradoras de eletricidade, térmicas e hidroelétricas, todas para atendimento a cargas pequenas e localizadas, destinadas a atividades industriais, de mineração, de iluminação urbana e suprimento domiciliar. Na primeira década do século passado foram implantadas no País 77 usinas hidroelétricas. O desenvolvimento da capacidade instalada foi acentuado até o início dos anos trinta do século passado quando havia mais de mil diferentes empresas de geração e distribuição de energia elétrica, concessionárias nacionais e duas estrangeiras, a Light e a AMFORP. Em 1933 e 1934 o decreto federal nº 24643 conhecido como Código de Águas e o cancelamento da Cláusula Ouro que protegia as concessionárias dos efeitos da desvalorização da moeda nacional passaram a desencorajar os investidores do setor elétrico, tendo causado nítida retração na oferta de energia.

Devido à contenção tarifária e à fragilidade de capitais nacionais, passou a haver crescente insuficiência de oferta de energia elétrica nas décadas seguintes. Até metade do século passado todas as concessionárias de serviços de eletricidade eram privadas e tendo sido descapitalizadas pelos efeitos da legislação do setor, alguns governos estaduais e o governo federal passaram a ser impelidos a investir na produção e transmissão de energia elétrica.

Em 1960 devido ao não reconhecimento da remuneração de capital empregado em obras de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, a capacidade instalada no território nacional era de apenas 5.000 MW, dos quais 3.700 MW eram de Hidroelétricas.

Dado o gargalo energético nacional, empresas estatais estaduais e federais foram instituídas e passaram a investir em hidroelétricas maiores que tornaram a engenharia praticada no Brasil prestigiada em âmbito internacional. A partir de meados da década de sessenta, devido ao estabelecimento do critério da verdade tarifária e da adoção da correção monetária, passaram a ser implantadas muitas imponentes hidroelétricas que, ao final dos anos setenta garantiam o suprimento de energia elétrica para mais de 95% da carga. Nesta época foram desenvolvidas prestigiosas empresas nacionais de projeto e de construção que consolidaram, nos anos seguintes, a tecnologia nacional de todo processo de implantação de usinas hidroelétricas.

Entretanto, a partir dos anos oitenta surgiram restrições ao licenciamento de usinas hidroelétricas com reservatórios de regularização, passando os novos reservatórios a serem projetados para operação a fio d'água (quase sem variação de nível d'água), o que está resultando nos atuais crescentes problemas de gestão do suprimento energético em todo território nacional. Apesar disso, em 1985 a matriz elétrica brasileira ainda era de 90% de geração hídrica.

Desde os anos oitenta o governo federal e alguns estados, passaram a enfrentar crescentes dificuldades no provimento de recursos necessários às obras para o atendimento da evolução da demanda por energia elétrica.

A partir de meados dos anos noventa o Setor Elétrico sofreu profundas alterações com a criação das agências reguladoras e do mercado competitivo de modo a atrair capitais privados para o setor. Isso resultou na progressiva redução da presença do Estado nesse segmento da economia, ocasionando o gradual retorno da iniciativa privada ao setor elétrico.

Ao final de 2008 a capacidade instalada no País era de 104.816 MW em 1.768 usinas geradoras das quais 706 eram hidroelétricas, 1.042 termoelétricas e duas nucleares. A partir dessa época vem ocorrendo uma profunda transformação da matriz energética com intensa entrada de novas fontes de energia renovável incentivadas por progressivos subsídios. Essas novas fontes energéticas são as gerações eólicas e fotovoltaicas que se tornaram importantes apesar de serem intermitentes e não despacháveis e, portanto, dependentes de outras fontes mais confiáveis de geração de energia e de recursos de armazenamento de energia.

## Cenário atual

Ao atingir o ano de 2023 a parcela de geração hidroelétrica já havia recuado para 62% do total em função do acelerado acréscimo da geração de fontes intermitentes e de rejeição à instalação de novas usinas hidroelétricas. O Sistema Interligado Nacional (SIN) atingiu no segundo semestre de 2024, a capacidade instalada de 235.606 MW para o atendimento de uma demanda de até 102.477 MW (demanda máxima do SIN registrada em 15/03/2024). Essa capacidade instalada é composta por hidroelétricas (46,7%), solar (19,4%), eólica (13,3%) gás natural (7,6%), biomassa e biogás (7,3%), derivados de petróleo (3,4%) carvão (1,5%) e nuclear (0,8%). A operação do SIN, entretanto, normalmente privilegia a geração renovável e a geração nuclear, fazendo com que a matriz elétrica nacional seja eminentemente limpa.

No Brasil encontra-se em operação, em meados de 2024, o total de 1.345 hidroelétricas, sendo 216 hidroelétricas de grande porte, 425 pequenas centrais hidroelétricas e 704 centrais geradoras hidroelétricas. Esse parque gerador, principalmente pelas hidroelétricas que dispõem de reservatórios de regularização, tem sido responsável não só pela maior fatia de produção de energia elétrica como também e cada vez mais, pela garantia do suprimento para fazer frente à intermitência e variabilidade da geração das fontes eólicas e solares.

No cenário do setor elétrico em 2024, as hidroelétricas existentes, instaladas há décadas para suprimento de energia, estão assumindo a função de também compensar a variação de geração de fontes intermitentes sendo também verificada a necessidade de despacho de usinas termoelétricas, mais caras e poluentes. Esse comportamento evidencia a importância das hidroelétricas e de algumas termoelétricas para atender às intensas e repetidas variações das geradoras eólicas e principalmente fotovoltaicas, bem como demonstra o aumento da complexibilidade da operação do SIN. Uma alteração notável tem

sido o brusco e inevitável decréscimo da geração das unidades fotovoltaicas ao final de cada tarde que acarreta uma rampa de carga, coincidente com sensível acréscimo da demanda, de cerca de mais de 30.000 MW em pouco mais de duas horas.

Outro ponto que deve ser considerado é o excesso de oferta de energia elétrica devido à manutenção por longo período de subsídios superiores ao necessário para o desenvolvimento de unidades geradoras renováveis variáveis e intermitentes. Por causa desse excesso de oferta de energia, tem havido a necessidade de redução de despacho dessas unidades com frequência e intensidades crescentes. A expansão da oferta de energia intermitente não despachável ocorreu e permanece ocorrendo devido aos seus preços artificialmente baixos, derivados de subsídios, sem ter havido planejamento. Esses cortes de energia têm atingido também as hidroelétricas em cerca de 2.100 MW médios de energia por vertimento de descargas turbináveis.

A participação de fontes renováveis centralizadas (controladas pelo ONS) não despacháveis (solar e eólica), que em 2015 era de 7.600 MW, passou para cerca de 45.000 MW instalados em meados de 2024. É um aumento superior a 500%. Se adicionada à geração distribuída, que não é controlada pelo ONS, principalmente a geração solar em unidades urbanas, esse número vai para 80.000 MW.

A energia solar responde com quase 10% do suprimento, sendo que pouco mais da metade provém de vasta microgeração distribuída nas quais, como mencionado acima, o ONS não tem comando. A crescente e intensa instalação de painéis fotovoltaicos que geram energia intermitente tem exigido complexa atuação do ONS principalmente nos finais de tardes quando bruscamente o fornecimento de energia solar é reduzida até a nulidade. A necessidade de recursos flexíveis nesse período será cada vez maior e mais frequente. Condições de operação muito diferentes daquelas experimentadas no passado quando o foco era o suprimento de energia.

Devido ao atual excesso de oferta de geração e/ou para manter a confiabilidade do sistema, desde 2021 as geradoras eólicas têm sido desligadas; as geradoras solares passaram também a serem desligadas a partir de 2024. Essas operações conhecidas como *curtailment*, devido ao exponencial aumento de oferta de geração intermitente, tendem a ser cada vez mais frequentes. Apesar disso, usinas térmicas de elevado custo variável unitário (CVU) têm sido diariamente acionadas para garantir o suprimento de energia nos períodos de maior carga do SIN, o que acarreta maiores custos para os consumidores cativos.

Por esse motivo, já há a necessidade de novos recursos para atender as crescentes demandas de maior carga do sistema, o que exige, a curto prazo, leilões de reserva de capacidade que podem resultar em implantação de novas termoelétricas, de baterias e de novas hidroelétricas, convencionais ou reversíveis. Urge o aprimoramento da regulação para evitar a intensa introdução de novas termoelétricas menos flexíveis, mais dispendiosos e mais poluentes, pois estas têm que ser acionadas com grande antecedência

e desligadas muito após o tempo necessário para atender a rampa e a ponta de carga, o que compromete a modicidade tarifária.

## Perspectivas do suprimento de energia elétrica no curto prazo

As perspectivas para o futuro próximo indicam que as novas unidades geradoras a serem instaladas antes de 2030 serão predominantemente solares e eólicas não controláveis e intermitentes. A rampa de carga acima mencionada será ainda maior pela predominância de novas geradoras solares que neste ano de 2024 ultrapassaram em capacidade instalada as usinas eólicas, assumindo uma segunda colocação apenas atrás das hidroelétricas.

Segundo previsão da EPE mantendo-se o acentuado acréscimo de geração intermitente, já a partir de 2027 haverá crescente necessidade de contratação de reserva de capacidade e de oferta adicional para suprir o requisito de potência chegando em 2035 a 35.000 MW adicionais aos que já existem instalados em 2024. Isso equivale à necessidade de se instalar uma potência em hidroelétricas e/ou termoelétricas flexíveis equivalente a três vezes a potência de Itaipu, a maior usina geradora do planeta. Caso não se consiga atingir esse impressionante patamar, haverá elevado risco de frequentes apagões, principalmente nas horas de maior demanda, pois, nas atuais condições do setor elétrico, o permanente atendimento da demanda parece já ser considerado impossível no curto prazo.

Além da instalação de novas usinas flexíveis, que tenham capacidade de compensar as bruscas variações de demanda, há também a necessidade de integração dessas novas usinas ao sistema de transmissão e distribuição. Nesse aspecto, as hidroelétricas com reservatórios de acumulação e/ou as hidroelétricas reversíveis, são as mais indicadas dada as suas flexibilidades no atendimento às variações de carga como também por proverem ao sistema interligado os seus imprescindíveis serviços ancilares que, infelizmente, não têm sido corretamente valorados e remunerados.

## Usos múltiplos de reservatórios de hidroelétricas

As usinas hidroelétricas, como outras infraestruturas hidráulicas que contêm reservatórios, podem proporcionar impactos ambientais positivos pelo atendimento de outros usos para as estruturas implantadas e para seus reservatórios. Assim, a um projeto de hidroelétrica, podem ser adicionadas outras finalidades com discretos investimentos adicionais, tais como controle de cheias, irrigação, abastecimento de água, navegação interior, piscicultura, paisagismo e recreação.

Alguns exemplos nacionais marcantes são a seguir mencionados, tais como as hidroelétricas implantadas nos rios Tietê e Paraná que, além de terem sido importantes para o desenvolvimento do Estado de São Paulo pela garantia de suprimento de energia elétrica nas últimas sete décadas, contribuem com importante sistema de transporte fluvial através da sequência de reservatórios e eclusas de navegação.

Na Bahia o reservatório da hidroelétrica de Pedra do Cavalo garante a regularização do rio Paraguaçu, o abastecimento de água urbano a diversas cidades do Estado da Bahia e o controle das cheias que periodicamente assolavam as cidades históricas de São Felix e Cachoeira.

O reservatório da hidroelétrica de Paranoá, em Brasília, é exemplo de paisagismo e recreação, o reservatório da hidroelétrica de Manso é usado para recreação e para evitar inundações em Cuiabá.

Os reservatórios das hidroelétricas de Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil, além de regularizar as descargas do rio Paraíba do Sul, protegem exemplarmente das cheias o vale que contém uma sequência de importantes cidades situadas ao longo de suas duas margens nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Esses reservatórios também viabilizam o abastecimento de água de diversos centros urbanos, inclusive as cidades da região metropolitana do Rio de Janeiro e, a partir de passado recente, garantem a segurança do abastecimento de água à região metropolitana de São Paulo.

Os reservatórios das hidroelétricas de Três Marias, Sobradinho e Itaparica são essenciais para a regularização das descargas do rio São Francisco, para o controle de cheias e principalmente para a transposição de descargas do rio São Francisco, projeto de integração de extensa área nordestina, originalmente concebido em 1834 durante o Segundo Império. Essa transposição passou recentemente a impactar positivamente 12 milhões de pessoas por garantir recursos hídricos para abastecimento de água, dessedentação de animais e irrigação em grande região do Semiárido Nordeste que desde priscas eras, vinha sendo sujeita a intensas e frequentes secas devastadoras, a mais severa das quais, entre os anos de 1877 e 1879 que ceifou mais de meio milhão de vidas humanas.

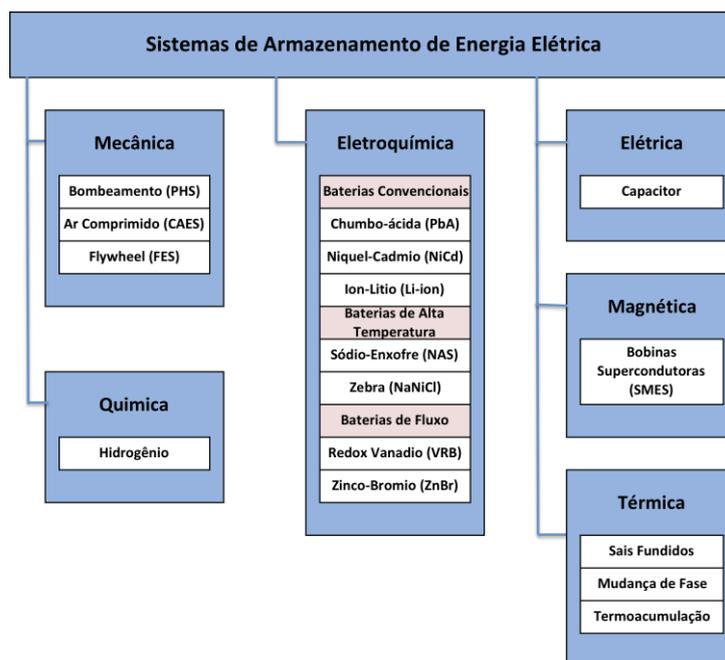
## Armazenamento de energia

Como mencionado anteriormente, o armazenamento de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN) sempre foi efetuado através da utilização dos reservatórios de acumulação das hidrelétricas para garantia de longo prazo no fornecimento de energia elétrica, complementado pela geração termelétrica como *back-up* no SIN. A redução progressiva da construção de usinas hidrelétricas com reservatórios de acumulação e o crescimento acelerado das fontes renováveis de geração de energia elétrica, não despacháveis e intermitentes, ampliaram a necessidade de alguma forma de armazenamento de energia para otimização da operação ao menor custo, e sempre que operacionalmente possível descartar a opção pela geração termelétrica pelas questões ambientais de emissão de gases de efeito estufa (GEE). Cabe destacar que a intermitência da geração proveniente das fontes renováveis (solar e eólica) tem impacto tanto na frequência de utilização de um sistema de armazenamento como em relação ao volume de energia a ser armazenado. Este

conceito é fundamental para a definição da tecnologia de armazenamento a ser implantada.

O armazenamento de energia não se limita apenas às compensações das variações de produção de energia de longo prazo causadas por regimes hidrológicos ou às intermitências de curto prazo inerentes às fontes solar e eólica, mas também por proporcionar importantes atributos adicionais para os sistemas elétricos tais como provimento de *back-up*, nivelamento da curva de carga diária, contribuição no atendimento da demanda de pico do sistema, reserva girante para suportar impactos de inesperadas perdas de geração, e manutenção da qualidade de energia das redes de transmissão e de distribuição.

As tecnologias de armazenamento de energia são diversas e, dentre os atributos mais importantes se incluem o volume de energia armazenada e a capacidade de descarga e recarga. Dentre as diversas tecnologias para armazenamento de energia destacam-se as de natureza mecânica, química, eletroquímica, magnética e térmica como ilustrado na Figura a seguir.



Dentre as alternativas com grande capacidade de armazenamento de energia, as hidroelétricas reversíveis são internacionalmente as mais adotadas (em mais de 95% dos casos). Presentemente há muitas hidroelétricas reversíveis em diversos países, em operação ou sendo construídas, algumas das quais com mais de 3.000 MW instalados.

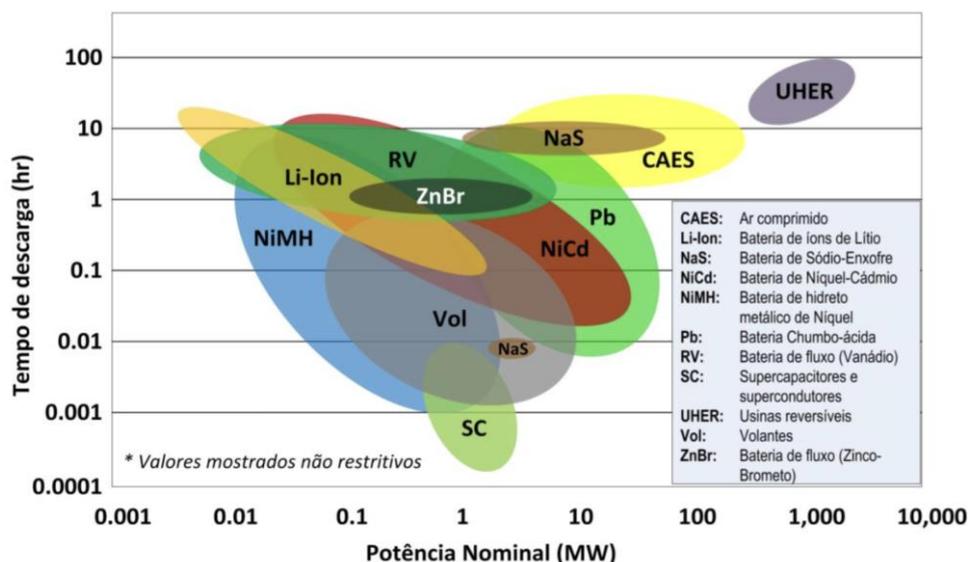
O armazenamento de energia, além de proporcionar novas formas de comercialização no mercado de energia elétrica no sistema interligado, possibilita:

- A utilização da energia armazenada para suprimento do sistema interligado nos críticos períodos de rampa e de pico de carga diários e também para o aumento de sua energia firme;
  - O aumento da estabilidade, da flexibilidade operacional, da confiabilidade, da robustez e resiliência da rede de energia elétrica;
  - Garantir energia firme em sistemas isolados supridos majoritariamente por fontes renováveis intermitentes;
  - Aumentar a parcela de energia limpa em sistemas isolados híbridos (contendo fontes renováveis e fósseis), substituindo parcela de energia de fontes fósseis (diesel, óleo ou gás natural) por àquela armazenada nos períodos de energia renovável excedente;
  - O aproveitamento eficiente de diversas fontes renováveis para geração de eletricidade, aportando controle de tensão, de frequência e de inércia ao sistema interligado;
  - O armazenamento da energia excedente produzida por fontes renováveis intermitentes;
  - A integração de diferentes fontes de geração de energia com o uso final de energia elétrica;
  - A geração de energia elétrica próximo aos centros de carga aportando inércia, capacidade de curto-circuito e de controle de tensão;
  - A postergação da expansão do sistema de transmissão

As tecnologias de armazenamento de energia podem ser utilizadas através do SIN, na geração distribuída de energia e em sistemas isolados (não conectados à rede). Existem diversas aplicações relacionadas tanto à operação dos sistemas eletro-energéticos quanto na comercialização de energia, nas quais o armazenamento de energia é um recurso bastante atrativo.

Em função dos tempos de descarga e das potências envolvidas podem ser mencionadas diferentes aplicações, tais com armazenamento sazonal, comercialização de energia, postergação de investimento via deslocamento de oferta ou de demanda de energia, além de diversos serviços ancilares tais como controle de tensão e de frequência, inércia sintética, reserva girante, acompanhamento de carga e capacidade de auto-restabelecimento.

A Figura a seguir apresenta, genericamente, o campo de aplicação das diferentes tecnologias de armazenamento de energia considerando-se a potência requerida e o tempo de descarga (energia a ser disponibilizada), que é o produto destes dois fatores. Elas efetuam a compensação das intermitências das fontes renováveis (solar e eólica) de energia elétrica, destacando-se as usinas hidroelétricas reversíveis que podem atender tanto as demandas de potência elevada por períodos de algumas horas como aquelas de caráter sazonal com tempos de descarga elevados (dezenas a centenas de horas). Por outro lado, os conjuntos de baterias, seriam capazes de atender a demanda de dezenas ou centenas de megawatts durante algumas horas.



Nos curto e médio prazos os estudos de seleção das tecnologias de armazenamento de energia para o SIN, de modo a reduzir a necessidade de ampliação do parque térmico, irão invariavelmente apontar como solução as usinas hidroelétricas reversíveis ou os sistemas de baterias.

Cumpra realçar que, embora tenha havido hidroelétricas reversíveis implantadas pela São Paulo Light nos anos 40 (Traição e Pedreira) e pela Rio Light (Vigário) nos anos 50 do século passado (usinas que dispunham de unidades reversíveis), essas unidades integravam dois esquemas que tinham por objetivo principal a transposição de vertentes da Serra do Mar para geração de energia elétrica em usinas de alta queda (Cubatão e Henry Borden em São Paulo e Fontes e Nilo Peçanha no Rio de Janeiro). Por falta de regulação, novas hidroelétricas reversíveis, embora reconhecidamente cada vez mais necessárias, não foram mais implantadas no País.

## Benefícios dos serviços ancilares propiciados pelas hidroelétricas

O modelo atual do sistema interligado contempla vários agentes com diferentes funções, tipos de fontes, equipamentos e interesses de negócio, que trouxeram grandes desafios para o planejador, para o regulador e para o operador do sistema interligado.

A transição energética vem incorporando novos desafios com acentuado aumento de complexidade operativa.

Nesses novos cenários, os serviços ancilares são essenciais para viabilizar, com modicidade tarifária, o suprimento de energia elétrica com adequados níveis de confiabilidade, de segurança elétrica, de resiliência e de adequabilidade.

A correta definição dos serviços ancilares, incluindo os critérios a serem adotados, a aferição e a precificação, torna-se uma das questões mais complexas.

As unidades geradoras das usinas hidroelétricas possuem atributos e recursos que muito contribuem para a operação eletroenergética robusta de sistemas interligados, tais como:

- Controle do perfil de tensão da rede de EAT;
- Manutenção da inércia do sistema;
- Controle da frequência da rede (regulação primária, secundária e terciária);
- Controle do carregamento da rede de transmissão e de equipamentos;
- Compensação dos desvios de geração e intermitência das usinas eólicas e solares;
- Compensação das rampas e picos de carga (curva do pato);
- Controle dos limites de transmissão para cada condição operativa (*Available Transmission Capacity*);
- Rápida resposta durante perturbações;
- Amortecimento das oscilações eletromecânicas;
- Manutenção de níveis mínimos de curto-circuito;
- Capacidade de recomposição dos sistemas após perturbações;
- Possibilidade de execução de desligamentos programados de circuitos/equipamentos;
- Ilhamento por subfrequência de médias e pequenas usinas hidroelétricas, com carga local durante perturbações, reduzindo o montante de carga desligada e acelerando o processo de recomposição;
- Operação de unidades hidroelétricas como compensadores síncronos.

A operação de unidades de usinas hidroelétricas como compensadores síncronos é um excelente recurso para o adequado desempenho do sistema. Não é, no entanto, necessário que todas as máquinas de uma usina possuam esses recursos. Nesta condição operativa essas unidades também contribuem para o aumento da inércia do sistema, para reduzir variações da frequência, para evitar problemas de auto excitação de unidades geradoras etc.

As unidades hidroelétricas que operam como compensadores síncronos podem também ser comutadas automaticamente para operação como gerador, quando a frequência cair abaixo de um determinado valor, em geral 59,5 Hz.

## Efeitos da transição energética

A transição energética é resultado de um forte e amplo compromisso mundial que tem por finalidade, a médio prazo, reduzir a utilização de combustíveis fósseis e a emissão associada de gases de efeito estufa com o conseqüente aquecimento global.

A implementação da transição energética vem avançando significativamente com alguns resultados positivos e enormes desafios. Entre os desafios destaca-se acentuado acréscimo de geração de energia elétrica por fontes renováveis não despacháveis e a substituição do consumo de derivados de petróleo e de carvão por energia elétrica na indústria e no transporte. Os recentes incentivos à geração distribuída (sobretudo painéis fotovoltaicos em edificações, desprovidas de baterias) têm ocasionado acréscimos de riscos operativos e de custos para as concessionárias de distribuição, para o sistema interligado e, conseqüentemente, para o consumidor cativo. Apesar da matriz elétrica no Brasil ser predominantemente composta por fontes renováveis, o sistema interligado enfrenta graves dificuldades operativas devido ao exponencial crescimento de instalação de fontes renováveis intermitentes que não possuem capacidade de seguimento da carga, nem controle de tensão ou de frequência e, nem mesmo capacidade de reserva de energia.

A Empresa de Pesquisa Energética EPE prevê a necessidade de acréscimo de potência ao SIN atual, de 5.500 MW em 2028 por fontes despacháveis. Aos acréscimos de fontes renováveis intermitentes, deverá corresponder acréscimos de capacidade em usinas despacháveis em toda a evolução futura do sistema interligado. Será também necessário dotar algumas subestações do SIN de adequada compensação dinâmica de reativos, através da instalação de novos compensadores síncronos.

Para os sistemas de armazenamento de energia, baterias ainda são dispendiosas e impactantes ao meio ambiente, desde a mineração dos insumos de seus componentes até o seu descarte. Sistemas de baterias não são adequadas para reserva de energia de longa duração.

Uma parcela das termoelétricas brasileiras são necessárias para operação na base, em complementação à energia renovável, garantindo um nível adequado de suprimento. Além de dispendiosas e impactantes ao meio ambiente, as termoelétricas necessitam serem ligadas com antecedência e desligadas lentamente, o que significa que seu despacho para atendimento de rampa e da ponta de carga do SIN, implica na emissão de maiores quantidades de gases de efeito estufa, sujando a atual matriz elétrica nacional. Entretanto, para que a garantia de suprimento seja mantida em nível adequado e como tem havido dificuldades no licenciamento de novas hidroelétricas que são de tecnologia conhecida e tradicionalmente adotada no Brasil e no exterior, prevê-se a curto prazo, significativa ampliação da geração termoelétrica neste País, contrariando compromissos ambientais assumidos pelo Brasil em fóruns internacionais.

## Conclusões e recomendações

- A hidroeletricidade é internacionalmente reconhecida como fonte renovável e limpa. Neste sentido, a hidroeletricidade se insere no contexto do desenvolvimento sustentável.
- Nas hidroelétricas, na transformação da energia potencial em energia mecânica e depois em energia elétrica, não há significativa participação de energia em forma de calor, o que permite o aproveitamento da quase totalidade da fonte primária com elevado rendimento.
- Ao contrário de muitas outras fontes, as hidroelétricas apresentam períodos de operação muito superiores aos adotados nas avaliações econômicas. No Brasil há hidroelétricas que permanecem operando há mais de cem anos.
- Hidroelétricas com investimentos totalmente amortizados podem continuar produzindo energia com custos exclusivamente de operação e manutenção, que costumam ser muito discretos.
- Considerando a vertiginosa evolução da instalação de geração renovável, variável e não despachável, principalmente na geração distribuída que escapa ao controle do ONS, e considerando os benefícios ancilares inerentes à operação de usinas hidroelétricas reversíveis, urge que seja implementada a regulação para usinas hidroelétricas reversíveis, bem como para sistemas de baterias.
- Recomenda-se que sejam reconhecidos, adotados, devidamente valorados e monetizados, os serviços ancilares à produção de energia elétrica por usinas hidroelétricas.
- No caso de descomissionamento de uma usina termoelétrica movida a carvão, conectada ao SIN e eletricamente próxima a plantas renováveis intermitentes, deve-se analisar a viabilidade da conversão de suas unidades geradoras para compensadores síncronos, para que possam contribuir para a necessária compensação dinâmica de reativos e controle de tensão regional.
- Considerando que empreendimentos que implicam em implantação de reservatórios necessitam, em geral, de elevados investimentos, recomenda-se que sempre seja considerada a otimização econômica e ambiental da implantação de usos múltiplos nos reservatórios, além da geração de energia elétrica.
- Considerando os elevados custos dos outros sistemas de garantia de suprimento energético e os seus efeitos econômicos deletérios à sociedade, recomenda-se que sejam corretamente valorados os benefícios econômicos e ambientais dos usos múltiplos de reservatórios de hidroelétricas.
- Torna-se necessário o estabelecimento de um correto arcabouço regulatório ou modelo comercial que permita a real viabilidade econômica de empreendimentos hidroelétricos.
- Recomenda-se que sejam estudadas as possibilidades de aumento de unidades geradoras nas diversas usinas hidroelétricas que dispõem de *bays* para instalação de unidades geradoras adicionais. São muitas as hidroelétricas de porte que dispõem de possibilidade de consideráveis acréscimos de capacidade e cujas

implementações podem ser efetuadas com baixíssimos impactos ambientais negativos.

- Recomenda-se a análise da realização de *retrofit* de usinas hidroelétricas antigas. Há estudos da EPE que indicam a possibilidade de acréscimos de geração e de segurança operativa, com desprezíveis impactos ambientais negativos.
- Considerando a existência de milhares de reservatórios que foram implantados para outras finalidades e que talvez possam ser aproveitados para instalação de unidades geradoras, sugere-se a realização de estudos para verificar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de instalação de unidades geradoras de energia elétrica aproveitando a existência desses reservatórios, com ou sem ampliação.
- Considerando que as hidroelétricas propiciam, além da geração de energia elétrica, benefícios ancilares sem os quais novas unidades geradoras renováveis se tornam inviáveis, recomenda-se que seja efetuada revisão no manual de estudos de inventário hidroenergético que, na versão atual, penaliza alternativas de partição de queda que incluem reservatórios de regularização. Adicionalmente recomenda-se que nos inventários hidroenergéticos disponíveis sejam feitas revisões de partição de queda levando-se em conta a correta valoração de reservatórios e as alterações operativas de reservatórios que estão sendo demandadas na presente fase de transição energética.
- Deve-se reconhecer o papel fundamental desempenhado pelos geradores síncronos na manutenção da estabilidade do sistema e no controle da tensão e da frequência do sistema. Deve-se considerar que para a execução de determinadas funções existem soluções que são consagradas, por se constituírem nas melhores alternativas técnicas e econômicas. Este é o caso, por exemplo, da utilização dos chamados "sinais adicionais estabilizadores (PSS)" nos sistemas de excitação das unidades geradoras. Caso não sejam utilizados, será necessário recorrer a reforços no sistema de transmissão (novos circuitos e/ou equipamentos de compensação reativa), cujo custo global é notoriamente superior.
- Deve-se garantir que os atributos de geração que apresentam os melhores desempenhos e vantagens tecno-econômicas para solucionar determinados problemas, sejam devidamente preservados, sob pena de serem sacrificadas a segurança operativa do sistema e a sua economicidade, comprometendo o principal propósito de reestruturação do setor elétrico.
- As unidades geradoras hidroelétricas tornam-se aptas para prestar todos os seus serviços ancilares quando equipadas com robustos sistemas de excitação estática acrescidos de sinais adicionais estabilizadores – PSS com estrutura definida nos procedimentos de rede do ONS, de modo a assegurar uma rápida resposta transitória e um adequado amortecimento das oscilações eletromecânicas.
- Caso por determinação do ONS, seja necessário que algumas unidades geradoras apresentem características que excedam tais requisitos mínimos, o agente gerador deverá ter direito ao ressarcimento dos custos adicionais de investimento.

- Deve haver, para cada hidroelétrica, a correta definição dos serviços a serem considerados como ancilares, incluindo os critérios a serem adotados e a sua aferição. A justa precificação dos serviços ancilares é uma das questões mais complexas, porém necessária e urgente.
- O ONS e a ANA devem persistir no esforço de identificar e achar meios de mitigar as restrições operativas impostas às hidroelétricas com o propósito de evitar bruscas flutuações de nível de água dos reservatórios e dos rios a jusante das usinas.