

PARECER TÉCNICO PARA A PRESTAÇÃO DE SERVIÇO ANCILAR

UHE JAGUARA

© 2023 /ONS

Todos os direitos reservados.

Qualquer alteração sem autorização é proibida.

RT-ONS DPL 0603/2023

EPE-DEE-NT-070-2023

PARECER TÉCNICO PARA A PRESTAÇÃO DE SERVIÇO ANCILAR

UHE JAGUARA

Parecer Técnico referente a indicação de necessidade para a prestação de serviço ancilar de autorrestabelecimento integral, suporte de potência reativa e controle secundário da frequência.

- UHE Jaguará

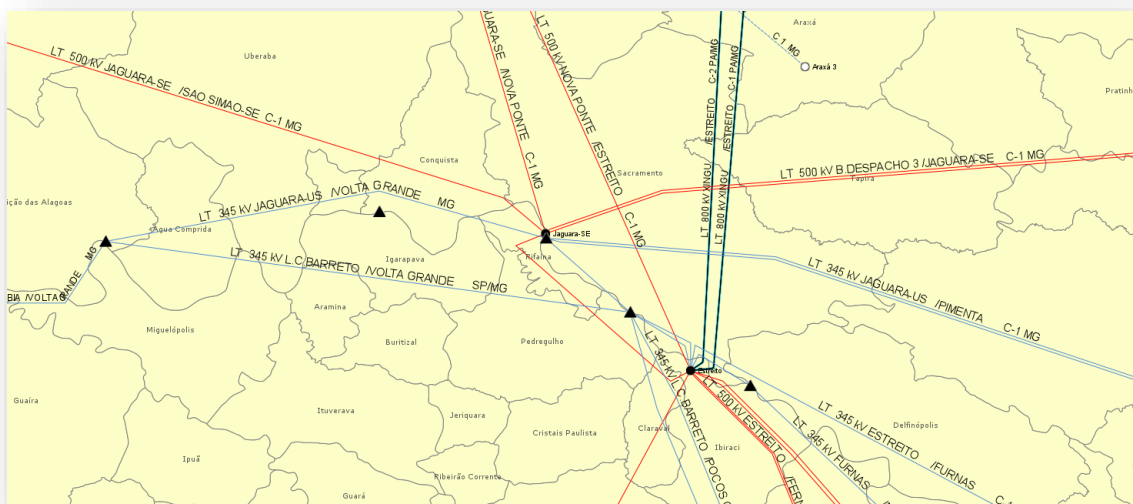
Sumário

1	Introdução	4
2	Objetivo	5
3	Conclusões	6
4	Providências	8
5	Aspectos técnicos do empreendimento	9
6	Critérios e premissas	10
7	Análise técnica	11
7.1	Autorrestabelecimento integral	11
7.2	Suporte de potência reativa	11
7.3	Controle secundário de frequência	16
8	Análise econômica	18
9	Referências	20
10	Anexos	21

1 Introdução

A UHE Jaguará, usina hidroelétrica sob concessão da Engie com potência instalada de 424 MW, é conectada à Rede Básica na SE Jaguará 345 kV, no estado de Minas Gerais. A Figura 1-1 ilustra a localização eletrogeográfica da UHE Jaguará e o seu ponto de conexão e região de influência.

Figura 1-1: Localização eletrogeográfica da UHE Jaguará



O sistema elétrico nas proximidades geográficas/elétricas da usina é caracterizado pela presença de extensas linhas de transmissão em 500 kV e 345 kV e compõe o sistema receptor da interligação Norte/Sudeste, do complexo gerador Teles Pires e dos elos de transmissão em corrente contínua associados ao complexo do Madeira e Belo Monte.

Neste sentido, com base nas conclusões que serão apresentadas neste documento, este Parecer avalia e recomenda:

- A operação das unidades geradoras da UHE Jaguará como compensadores síncronos viabilizando a prestação de serviço ancilar de suporte de potência reativa.
- A sua integração do Controle Automático da Geração (CAG) através da prestação do serviço ancilar de controle secundário da frequência.

2 Objetivo

Conforme estabelecido pelo Submódulo 3.11 [1] dos Procedimentos de Rede e na Resolução Normativa ANEEL 1.030/2022 [2], o ONS possui a atribuição de identificar a necessidade de prestação de serviços ancilares de autorrestabelecimento integral, suporte de potência reativa e controle secundário da frequência para novas instalações ou indicar a adequação de instalações já existentes no SIN.

O presente documento possui a finalidade de apresentar o parecer técnico do ONS, com colaboração da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), referente à necessidade sistêmica da prestação dos serviços ancilares pelo empreendimento em análise e indicar as providências que deverão ser tomadas pelos Agentes responsáveis.

3 Conclusões

A seguir são apresentadas as principais conclusões com relação à viabilidade e à necessidade sistêmica para a prestação dos serviços ancilares de autorrestabelecimento integral, suporte de potência reativa e controle secundário da frequência.

Com relação à viabilidade técnica

Conforme informações apresentadas pelo Agente responsável através do ofício [3], entende-se não existirem restrições de natureza técnica ou operativa para a prestação dos serviços ancilares recomendados por este relatório.

Com relação à prestação do serviço de autorrestabelecimento integral

Não se verifica, neste momento, a necessidade de prestação do serviço de autorrestabelecimento pela UHE Jaguará.

Com relação à prestação do serviço de suporte de potência reativa

A operação das unidades geradoras da UHE Jaguará como compensadores síncronos proporciona benefícios significativos para o SIN, em especial, durante o período seco quando o número de unidades geradoras nas usinas hidroelétricas tende a ser reduzido. Podendo ser também bastante favorável em períodos de carga média, de forte incidência solar, quando as fontes fotovoltaicas da região se encontram a plena potência e o sistema se torna desguarnecido de máquinas girantes.

As principais necessidades atendidas através da prestação do serviço ancilar são:

- Controle de tensão na malha em 345 e 500 kV da área MG;
- Fornecimento de potência de curto-circuito, em especial para o sistema de transmissão em corrente contínua (SE Estreito).
- Possibilidade de acréscimo de 1901 MW.s (quatro UG) de inércia sincronizada ao SIN

Destaca-se que a conversão de unidades geradoras da UHE Jaguará se mostra como uma solução de mínimo custo global quando comparada a soluções alternativas que desempenhem função semelhante na região.

Com relação à prestação do serviço de controle secundário da frequência

A prestação do serviço de controle secundário da frequência pela UHE Jaguara, através da sua participação no CAG, agregará grandes benefícios para a operação do sistema, que já enfrenta desafios para a alocação da reserva de potência operativa para fazer frente à variabilidade da carga e da geração presente no SIN.

4 Providências

A seguir, estão indicadas as providências a serem tomadas pelos Agentes responsáveis pelas instalações em análise.

A Engie

1. Com relação ao serviço de suporte de potência reativa, o Agente deverá adequar as instalações e **implantar recursos necessários para viabilizar a operação simultânea de todas as quatro UG da UHE Jaguará como compensadores síncronos**. As especificações técnicas para a prestação deste serviço estão indicadas na seção 7.2 deste relatório.
2. Com relação ao serviço de controle secundário da frequência, o Agente deverá adequar as instalações e implantar recursos necessários para viabilizar a participação das unidades geradoras da UHE Jaguará no Controle Automático da Geração (CAG). As especificações técnicas para a prestação deste serviço estão indicadas na seção 7.3 deste relatório.

5 Aspectos técnicos do empreendimento

Atualmente, a UHE Jaguará iniciando o seu processo de modernização com previsão de início em 2023, representando em oportunidade de adequação das instalações para prestação de serviços ancilares de autorrestabelecimento, suporte de potência reativa e controle secundário da frequência.

Além dos serviços de modernização das unidades geradoras da UHE Jaguará, está sendo vislumbrada a adequação das instalações para viabilizar a prestação dos serviços ancilares. A Tabela 5-1 apresenta o cronograma de parada das UG para a realização dos serviços, que poderão sofrer alterações em decorrência de fornecedores:

Tabela 5-1: Cronograma de modernização das unidades geradoras da UHE Jaguará

Unidade geradora	Previsão de início	Previsão de conclusão
Projeto executivo, aquisição dos materiais e fabricação dos equipamentos	2023/2024	2028
UG 2	2025	2026
UG 3	2026	2026
UG 4	2027	2027
UG 1	2028	2028

Após o processo de modernização da usina, haverá uma alteração do limite de potência mínima para 49 MW (hoje em 80 MW), na saída do gerador, de operação resultando em ganho da faixa operativa da unidade geradora.

Também foi informado que, com base no histórico de operação da UHE Jaguará, não são esperadas restrições de natureza ambiental para a prestação dos serviços ancilares indicados neste parecer [3].

O diagrama unifilar da UHE Jaguará está contido na seção de anexos deste relatório.

6 Critérios e premissas

Para os estudos apresentados neste relatório, foram considerados os critérios indicados, respectivamente, pelos seguintes submódulos dos Procedimentos de Rede:

- Submódulo 2.3 “*Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos*”;
- Submódulo 3.11 “*Análise técnica dos serviços ancilares de suporte de reativos, controle secundário de frequência e autorrestabelecimento integral*”.

7 Análise técnica

7.1 Autorrestabelecimento integral

Atualmente, a UHE Jaguarua participa do processo de recomposição do SIN durante a fase fluente, se interligando ao corredor da área Luiz Carlos Barreto e auxiliando na recomposição das cargas e instalações do Estado de Minas Gerais.

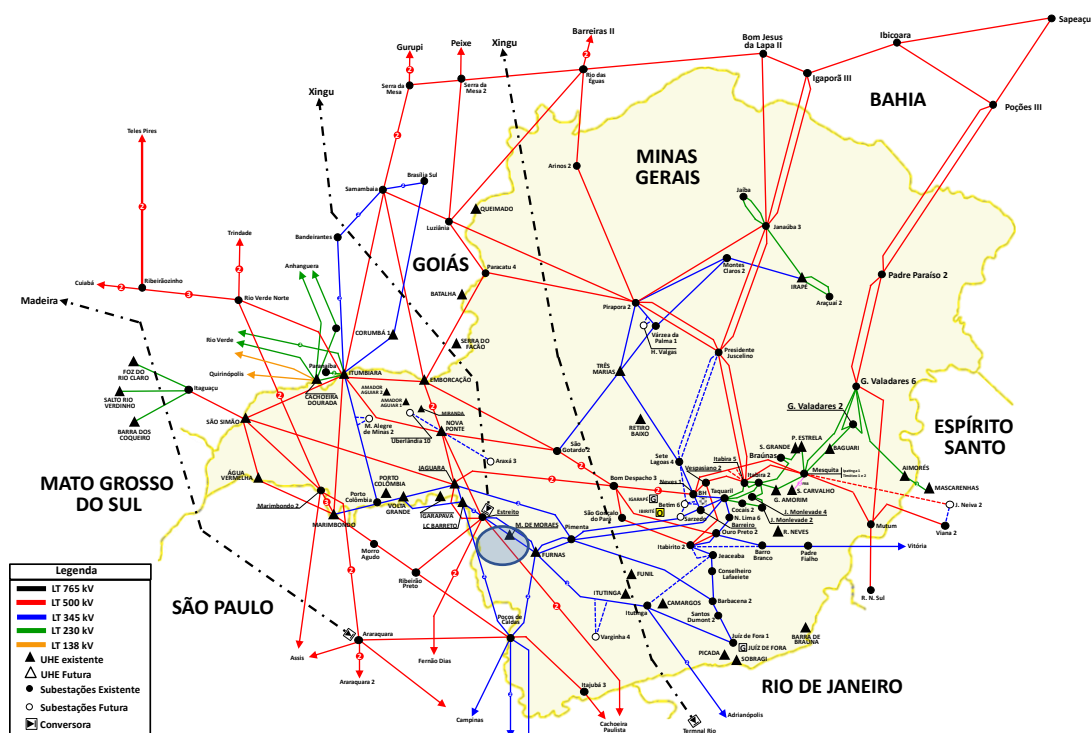
Neste momento, ainda não é possível caracterizar a necessidade de estabelecer um corredor de recomposição fluente a partir da UHE Jaguarua e indicá-la como prestadora do serviço ancilar de autorrestabelecimento integral.

Futuramente, caso o ONS conclua pela necessidade de contratação deste serviço, serão realizadas novas tratativas com a Engie para viabilizar a sua prestação.

7.2 Suporte de potência reativa

A região de influência da UHE Jaguarua é caracterizada pela presença de uma densa rede em 500 e 345 kV que interliga as usinas dos rios Grande e Paranaíba.

Figura 7-1: Diagrama eletro geográfico do sistema de suprimento à área Minas Gerais

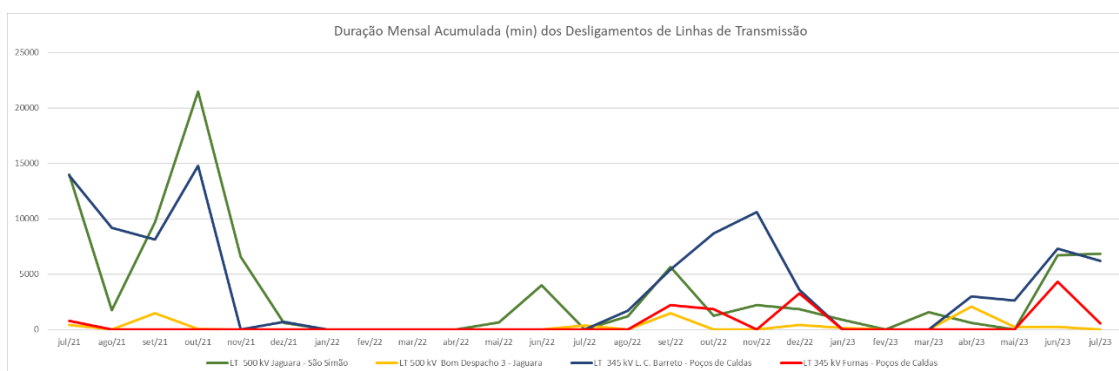


Em função da forte presença de usinas de médio e grande porte, a rede de 345 e 500 kV da região conta com adequada regulação de tensão nos patamares de carga pesada e média, independentemente do cenário de intercâmbio regional. No entanto, nos patamares de carga leve e mínima, a capacidade de regulação de tensão tem sido insuficiente, evidenciando dificuldades para o controle de perfil de tensão elevado, sobretudo em cenários de hidrologia desfavorável, que podem levar à adoção de medidas de abertura de linhas de transmissão após esgotados todos os demais recursos disponíveis: subexcitação de unidades geradoras e compensadores síncronos, manobra de bancos de capacitores e reatores nas redes de transmissão e distribuição, comutação de tapes em transformadores e regulação de compensadores estáticos de reativos.

A Figura 7-2, ilustra a situação descrita no parágrafo anterior. Entre o primeiro semestre de 2021 e o primeiro semestre de 2023 foram registradas pelo ONS aberturas para controle de tensão nas seguintes linhas de transmissão na região de influência da UHE Jaguará:

- LT 500 kV Bom Despacho 3 – Jaguará;
- LT 500 kV Jaguará – São Simão.
- LT 345 kV Furnas – Poços de Caldas;
- LT 345 kV Luis Carlos Barreto - Poços de Caldas;

Figura 7-2: Duração mensal acumulada (min) dos desligamentos de linhas de transmissão na região de influência da UHE Jaguará



O gráfico apresentado mostra que a maioria dos desligamentos ocorreu entre os meses de julho e novembro e que houve uma redução na duração acumulada dos desligamentos no decorrer dos anos, fruto principalmente das medidas que vem sendo tomadas pelo ONS. Porém, ainda assim, os números mostram-se elevados.

É importante ressaltar que a frequente abertura de linhas de transmissão da Rede Básica para controle de tensão em patamares de carga leve e mínima é um tema de grande relevância que vem, há alguns anos, demandando do Operador ações de curto e médio prazos. Inclusive, no PAR/PEL 2022 – ciclo 2023-2027, o tema “controle de tensão” foi novamente revisitado através da realização de um amplo estudo que teve por premissas principais os seguintes pontos:

- carga mínima de domingo/feriado, do período de inverno, do horário entre 1 e 9 horas, do último ano do estudo (2027);
- configuração de rede do último ano do estudo com a inclusão das obras consideradas no último POTEE com data de 2028;
- presença de todos os reatores indicados em ciclos anteriores, já outorgados ou não;
- utilização de até 70% da faixa de absorção de reativos de todos os compensadores síncronos e estáticos disponíveis no SIN;
- geração nula de potência ativa em todas as UFV do SIN;
- controle do fator de potência das principais fronteiras do SIN dentro dos critérios estabelecidos nos Procedimentos de Rede;
- controle do fator de potência no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) das usinas eólicas com a Rede Básica;
- operação como compensadores síncronos de quatro unidades da UHE Marimbondo e de três unidades da UHE São Simão;

Esse estudo já visualizava, porém de forma preliminar, a vantagem para o sistema de ter unidades geradoras da UHE Jaguará operando como compensadores síncronos.

Ao fim desse estudo, que teve por base todas as obras previstas para o ano de 2028, o Operador apresentou no Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo [4], uma lista de equipamentos para melhorar a capacidade de controle de tensão de todo o SIN. Dessa lista, alguns equipamentos foram específicos para a área Minas Gerais, quais sejam:

- SE Santos Dumont 2 500 kV: 100 Mvar;
- SE Pirapora 2 500 kV: 150 Mvar;
- SE Leopoldina 2 500 kV: 136 Mvar;
- SE Itabira 5 500 kV: 100 Mvar;

- SE Itabirito 2 500 kV: 100 Mvar;
- SE São Gotardo 2 500 kV: 91 Mvar;
- SE Bom Despacho 3 500 kV: 180 Mvar;
- CS SE Presidente Juscelino 500 kV: 2 x (+/- 300 Mvar);
- CS Paracatu 4 500 kV: 1 x (+/- 300 Mvar).

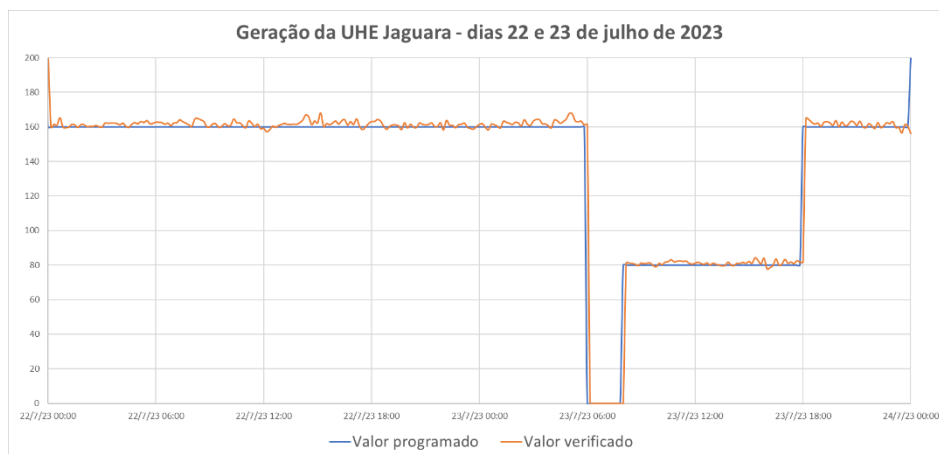
Importante ressaltar que, os reatores das SE Leopoldina e São Gotardo sofreram alterações após as reuniões de compatibilização com a EPE, sendo 200 Mvar e 180 Mvar nas SE Leopoldina 2 500 kV e São Gotardo 2 500 kV, respectivamente.

Todos esses equipamentos foram incluídos no POTEE 2023 – 1ª emissão, exceto os compensadores síncronos das SE Presidente Juscelino e Paracatu, que estão sendo tratados em um documento próprio em elaboração conjunta ONS e EPE.

Cabe ressaltar que, atualmente, não existe qualquer orientação operativa para que a UHE Jaguará opere com um número mínimo de máquinas ligadas. Porém, normalmente a usina é operada com pelo menos uma unidade geradora ligada, de modo a garantir a defluência mínima de sua outorga. O histórico de operação da usina nos mostra que, de fato, em períodos de cargas leve/mínima, a operação ocorre com uma unidade geradora sincronizada, porém também existem momentos de operação com nenhuma unidade em operação.

A Figura 7-3 apresenta a operação da UHE Jaguará nos dias 22 e 23 de julho de 2023. Pode-se observar que no dia 22/07 ela ficou flat em 160 MW, mas no dia 23/07 foi nula entre 06h00min e 08h00min, sendo o seu programa de geração cumprido integralmente em tempo real.

Figura 7-3: Produção da UHE Jaguará nos dias 22 e 23 de julho de 2023



Além do exposto, vale destacar que a crescente expansão das fontes de geração eólicas e fotovoltaicas resulta em um aumento da proporção de geração assíncrona atendendo à carga, dando origem a possibilidade cada vez maior de cenários operativos com baixa inércia sincronizada no SIN.

Tal fato representa um desafio para a operação nos próximos anos do ponto de vista do desempenho dinâmico e de excursão da frequência em situações de contingência, tornando o sistema mais suscetível a atuação dos esquemas regionais de alívio de carga (ERAC) por subfrequência.

O desafio é ainda maior para o subsistema Sudeste/Centro-Oeste, onde encontra-se a UHE Jaguará, uma vez que esse subsistema é um grande importador da energia proveniente das usinas dos Complexos de Teles Pires, Madeira, Belo Monte, Itaipu e das usinas eólicas e fotovoltaicas do Nordeste, e está se concretizando como um local de grande expansão de usinas fotovoltaicas, principalmente nas regiões Triângulo e Norte de Minas Gerais.

Portanto, com base em todos os motivos aqui expostos, o ONS e a EPE entendem que fomentar a conversão de usinas para sua operação como compensador síncrono irá trazer benefícios sistêmicos, uma vez que, essas usinas poderão agregar inércia ao sistema numa condição em que o subsistema da região Sudeste/Centro Oeste estiver operando com um número reduzido de unidades geradoras sincronizadas, bem como agregar maior segurança ao SIN quando da ocorrência de contingências que provoquem grandes excursões de frequência, além do fato desses equipamentos poderem contribuir com suporte de potência reativa para o controle de tensão, aumentar os níveis de curto-circuito com efeito na operação dos elos CCAT do Madeira e Xingu-Estreito e proporcionarem maior flexibilidade operativa.

Assim sendo, e tendo como base as análises realizadas, recomenda-se **a adequação de todas as UG da UHE Jaguará para possibilitar a sua operação como compensadores síncronos, sendo recomendável que as 4 (quatro) unidades possam operar simultaneamente.** Com esta composição espera-se evitar a abertura de linhas de transmissão para o controle de tensão em patamares de carga reduzida, principalmente as de 345 kV da região de influência da usina, e assegurar maior flexibilidade operativa, principalmente em situações de inércia reduzida na região.

7.3 Controle secundário de frequência

O CAG desempenha um importante papel para o SIN, permitindo o controle da sua frequência dentro dos limites estabelecidos para a operação em condições normais frente a variações de carga e geração.

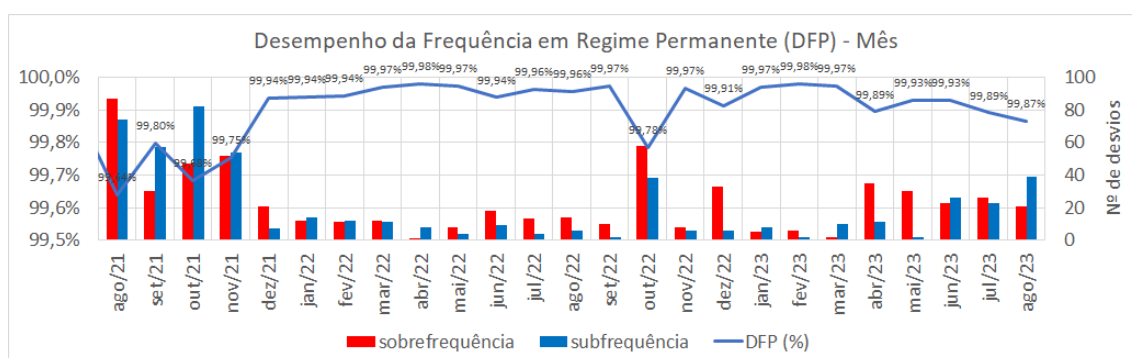
Nos últimos anos, em razão do aumento da participação das fontes renováveis, caracterizadas por não serem despacháveis e intermitentes, tal recurso se torna cada vez mais importante.

Ao mesmo tempo, não se verificou a expansão através de grandes centrais hidroelétricas no SIN que permitam agregar novos recursos ao atual CAG que hoje carece de usinas prestadoras do serviço do controle secundário da frequência, além do fato de que, mesmo as usinas que participam do controle secundário de frequência, enfrentam restrições operativas e ambientais que dificultam a alocação da reserva necessária para fazer frente à atual variabilidade.

A necessidade de novos recursos para prestação deste serviço ancilar tem sido verificada nas etapas da programação diária e da operação em tempo real, onde tem-se encontrado dificuldades para a alocação da reserva necessária nas usinas que hoje participam do CAG. Nos últimos anos, a reserva secundária efetivamente alocada nas usinas disponíveis para o CAG tem sido, em média, da ordem de 40% do valor provisionado, sinalizando que mais usinas devem ser integradas ao CAG.

Como consequência, nas condições mais extremas, tem-se verificado um aumento da quantidade de violações da faixa limite para o controle da frequência do SIN em condições normais de operação ($\pm 0,1$ Hz). As dificuldades se tornam ainda maiores nos períodos de baixas vazões (agosto a novembro), quando se opera com menos unidades geradoras hidráulicas sincronizadas, conforme mostra a Figura 7-4.

Figura 7-4 Indicador de Desempenho da Frequência em Regime Permanente – DFP (*)



(*) DFP é o percentual dos intervalos de 1 minuto do período em que a integral da frequência permaneceu dentro da faixa normal operativa ($\pm 0,1$ Hz).

Neste contexto, a UHE Jaguará se mostra como ótima candidata como prestadora de serviço ancilar de controle secundário da frequência, participando do CAG, devido às suas características e à sua localização eletrogeográfica:

- Usina de grande porte, com capacidade de geração de 424 MW distribuídos em quatro unidades geradoras.
- A UHE possui reservatório, permitindo a alocação da reserva operativa e a modulação da potência gerada, preservando a otimização energética do sistema.
- Inexistência de restrições operativas e/ou ambientais que restrinjam a capacidade de modulação da potência gerada pela usina.
- Não existem restrições elétricas associadas ao sistema de transmissão onde está conectada que restrinjam a modulação da sua potência gerada.

No sentido de atender às necessidades indicadas acima, a inclusão da UHE Jaguará no CAG representa um recurso importante para agregar flexibilidade à operação do SIN e maior segurança, considerando a maior variabilidade enfrentada atualmente como consequência do aumento da participação de fontes renováveis e não despacháveis.

Face ao exposto, após a conclusão do processo de modernização da UHE Jaguará, a faixa para modulação de potência que será disponibilizada pelas suas unidades geradoras será de, pelo menos, 57 MW para cada unidade (totalizando 228 MW na UHE Jaguará), considerando a pior condição de queda.

A UHE Jaguará deverá se integrar ao CAG respondendo aos comandos de elevação e redução da sua potência gerada emitidos pelo COSR-SE atendendo aos requisitos estabelecidos pelo Submódulo 2.12 dos Procedimentos de Rede [6].

8 **Análise econômica**

Tendo em vista as particularidades envolvidas na conversão de unidades geradoras, que podem prover serviços de transmissão, para a análise econômica, foram comparados os custos totais de cada uma das alternativas, buscando incorporar as parcelas de investimento, operação, manutenção e perdas.

Para fins de avaliação da comparação foram consideradas soluções para atender exclusivamente a necessidade de potência reativa caracterizada para solucionar as dificuldades de controle de tensão registradas na seção 7.2. Os outros benefícios obtidos pela operação das UG como compensadores síncronos (inércia, potência de curto-circuito, resposta dinâmica, por exemplo) não foram considerados nesta avaliação.

Na comparação de custos foram elaboradas duas alternativas adicionais, de desempenho elétrico semelhante, para solucionar as sobretensões identificadas na região, compatíveis com a potência total equivalente à avaliada para a usina.

- Alternativa 1: Conversão de quatro unidades geradoras 4 x (-100/+65) Mvar da UHE Jaguara para operação como Compensadores Síncronos;
- Alternativa 2: Implantação de dois reatores de barra de 180 Mvar, e fase reserva, além de adequações;
- Alternativa 3: Implantação de dois compensadores síncronos de 2 x (-200/+200) Mvar.

Destaca-se que foi considerada apenas a utilização de unidades geradoras como compensadores síncronos que estão fora de operação por razões energéticas durante os cenários de carga leve e mínima (Duração Total em horas do Mvar em uso/Ano). Neste sentido, o acionamento destas UG para a prestação do serviço de suporte de potência reativa por necessidade sistêmica não resulta em custos de oportunidade pois não impacta no *unit-commitment* da usina e, conseqüentemente, no seu ponto de operação ótimo.

Tendo em vista as características distintas dos ativos em sua forma de remuneração, na qual a conversão das máquinas como um ativo de geração estaria sujeita a um investimento a ser ressarcido via ESS e uma remuneração adicional, via tarifa de serviços ancilares, para cobertura dos custos adicionais e os reatores e síncronos estariam sujeitos a uma RAP, que já conta com todos os custos (CAPEX e OPEX), foram estabelecidos fluxos de caixa para cada uma das alternativas durante um período de 30 anos e realizada uma avaliação de custos a valor presente.

As estimativas de RAP para os equipamentos de transmissão avaliados foram obtidas a partir de autorizações e licitações de equipamentos similares na região. Para os reatores considerou-se a RAP do ciclo tarifário 2023-2024 [8] para os reatores de barra da SE Buritizeiro 3 (6+1R x 60 Mvar). Para os compensadores síncronos considerou-se uma RAP proporcional do preponente vencedor do Lote 4, composto por três Síncronos de - 300/+300 Mvar na SE Estreito, do leilão de transmissão 002/2021 e atualizações de [8].

A Figura 8-1 sintetiza os resultados obtidos, com os custos de investimento total das alternativas em valor presente, data base julho/2023, os custos estimados em O&M e as perdas elétricas adicionais, valoradas a um CME de R\$205,11 R\$/MW conforme [9].

Figura 8-1 Custos totais de cada uma das alternativas avaliadas



O resultado da comparação econômica demonstra que a conversão das máquinas da UHE Jaguará é a de menor custo global, quando somados os custos de investimentos, O&M e perdas entre as alternativas. Além disso, essa solução apresenta vantagens como menor prazo para entrada em operação e proporciona maior flexibilidade operativa na operação conjunta da usina.

- [1] ONS, Procedimentos de Rede, [Submódulo 3.11 “Análise técnica dos serviços ancilares de suporte de reativos, controle secundário de frequência e autorrestabelecimento integral”](#) vigência em 17 de setembro de 2021;
- [2] ANEEL, [Resolução nº1030/2022 Título III “Dos serviços ancilares e adequação de instalações de centrais geradoras”](#), de 26 de julho de 2022;
- [3] ENGIE, Informações disponibilizadas da UHE Jaguará “Modernização unidades geradoras 1 a 4 – compensador síncrono”, de 17 de abril de 2023;
- [4] ONS, RT-ONS DPL 0637/2022, Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN - PAR/PEL 2022 – ciclo 2023-2027, dezembro de 2022;
- [5] ANEEL, RESOLUÇÃO AUTORIZATIVA Nº 9.693, DE 9 DE FEVEREIRO DE 2021
- [6] ONS, Procedimentos de Rede, Submódulo 2.12 [“Requisitos mínimos de supervisão e controle para a operação”](#) vigência em 01 de janeiro de 2021;
- [7] Quadro Resumo - Resultados da Sessão Pública do Leilão nº 2/2021- ANEEL realizado em 17/12/2021, disponível em [Resultados da Sessão Pública do Leilão nº 2/2021-ANEEL realizado em 17/12/2021](#)
- [8] ANEEL, [RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 3.216](#), DE 4 DE JULHO DE 2023 – Anexo X – Lista de Módulos;
- [9] EPE, [Informe Técnico - Atualização dos Parâmetros Econômicos de Referência para os Estudos de Expansão da Transmissão do Ciclo de Planejamento 2023](#), publicado em 09 de agosto de 2023;

10 Anexos

