

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

RECOMENDAÇÃO DE REFORÇOS BASEADOS EM COMPENSAÇÃO SÍNCRONA PARA PROVIMENTO DE CONFIABILIDADE E MAIOR FLEXIBILIDADE EM CENÁRIOS CRÍTICOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

THAÍS PACHECO TEIXEIRA(1); TIAGO CAMPOS RIZZOTTO(1); RODRIGO RODRIGUES CABRAL(1)
EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA - EPE(1)

RESUMO

A malha elétrica do sistema São Paulo e sua vizinhança são pontos de concentração de sistemas receptores de elos em Corrente Contínua, no Sistema Interligado Nacional, configuração conhecida como *multi-infeed*. Nesse contexto, a presença de equipamentos que contribuem com compensação reativa variável é fundamental para proporcionar o controle da tensão, em níveis aceitáveis para a operação das válvulas conversoras, após a ocorrência de grandes perturbações elétricas. Neste trabalho, foi avaliado o desempenho dinâmico da rede elétrica em situações de operação críticas, demonstrando que reforços de compensação síncrona podem contribuir para o aumento da confiabilidade e flexibilidade operativa do sistema.

PALAVRAS-CHAVE

Multi-infeed, Compensação Síncrona, Planejamento da Transmissão

1.0 INTRODUÇÃO

O aproveitamento energético de diferentes bacias hidrográficas do sistema brasileiro, através da construção de usinas hidrelétricas de grande porte, motivou, nos últimos anos, a expressiva expansão da capacidade das interligações regionais.

Devido às longas distâncias envolvidas e à elevada capacidade de expansão necessária, a tecnologia em Corrente Contínua em Alta Tensão (CCAT) mostrou-se uma solução efetiva do ponto de vista técnico-econômico, tendo sido recomendada sempre em associação a reforços e expansões do sistema em Corrente Alternada (CA).

Como soluções planejadas, foram concebidos os sistemas CCAT, atualmente em operação no SIN: (i) dois bipolos em $\pm 600\text{kV}$ CC e aproximadamente 3 GW de capacidade nominal, cada, associados ao escoamento da geração da usina de Itaipu, com retificadoras conectadas na subestação de Foz do Iguaçu e inversoras localizadas na subestação de Ibiúna (no estado de São Paulo); (ii) dois bipolos em $\pm 600\text{kV}$ CC e aproximadamente 3 GW de capacidade nominal, cada, associados ao escoamento da geração das usinas do complexo do Rio Madeira, com retificadoras localizadas na subestação Porto Velho e inversoras conectadas à subestação Araraquara (no estado de São Paulo) e (iii) dois bipolos em $\pm 800\text{kV}$ CC e 4 GW de capacidade nominal, cada, associados ao escoamento da geração da usina de Belo Monte, com conversoras conectadas às subestações Xingu (no estado do Pará), Estreito (na divisa entre São Paulo e Minas Gerais) e Terminal Rio (no Rio de Janeiro), as quais podem operar como retificador ou como inversor, a depender das características energéticas do cenário operativo.

Devido à concentração de conversoras na região Sudeste, a depender do cenário energético, os sistemas CCAT podem injetar grandes blocos de potência, de até 20 GW, diretamente na rede elétrica do estado de São Paulo e sua vizinhança, configuração conhecida como *multi-infeed*.

2.0 IMPACTO SOBRE O DESEMPENHO ELÉTRICO DO SISTEMA INTERLIGADO

Por questões inerentes à tecnologia LCC (*Line commutated current-sourced converters*), fortemente consolidada e adotada não apenas nos sistemas CCAT brasileiros, como também pela comunidade internacional, em inúmeros projetos envolvendo transmissão de potência a longas distâncias, deve-se considerar a possibilidade de ocorrência de falhas de comutação nas conversoras CA/CC, após a ocorrência de eventos críticos, como curtos-circuitos ou

outros que provoquem desequilíbrio ou afundamento de tensão no lado CA das subestações inversoras, o que pode provocar, transitoriamente, a interrupção da potência transmitida por esses equipamentos.

Cabe ressaltar que as falhas de comutação são fenômenos previstos desde a etapa de concepção dos sistemas em corrente contínua, nos estudos de planejamento, uma vez que são inerentes ao processo de chaveamento das válvulas conversoras baseadas em tiristores, cujo desempenho é fortemente dependente de condições de equilíbrio de módulo e fase da onda de tensão, no lado CA da conversora.

A ocorrência desse fenômeno não deve ser encarada, isoladamente, como um problema de desempenho para o sistema, desde que após a extinção do defeito causador da referida falha, ocorra a recuperação da potência originalmente transmitida pelos bipolos, dentro de intervalos de tempo de referência (tipicamente entre 150 e 350 ms).

O principal ponto de atenção associado à configuração *multi-infeed*, portanto, está relacionado à adequabilidade do desempenho do sistema elétrico face à ocorrência de falhas de comutação simultâneas, em múltiplos elos CCAT, já que, nessa situação, pode ocorrer a interrupção da potência total transmitida por esses equipamentos, por um período de tempo transitório.

Diante dessa possibilidade, o planejamento da expansão tem buscado dotar a rede de transmissão de maior robustez e flexibilidade, de modo a torná-la resiliente à perda transitória de grandes blocos de energia transmitidos em corrente contínua.

Nesse sentido, estudos de desempenho dinâmico de longo prazo mostram a importância de se reforçar, não só a capacidade de intercâmbio entre subsistemas, como também a capacidade de controle rápido de tensão na região receptora, *multi-infeed*, a fim de que sejam garantidas condições de desempenho adequado para a operação das válvulas conversoras CA/CC, após a ocorrência de grandes perturbações.

3.0 CASO DE ESTUDO REAL

Este artigo apresenta os resultados de um estudo de planejamento, recém-concluído pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) [1], que objetivou avaliar reforços que garantissem um melhor desempenho do sistema, buscando aumentar a confiabilidade e flexibilidade operativa, bem como garantir o controle de tensão, em situações de operação críticas que tendem a ocorrer em cenários de elevada importação de energia pela região Sudeste.

O principal resultado do estudo foi a recomendação de reforços baseados em compensação reativa variável, a saber, três unidades de compensadores síncronos, de 300Mvar, cada, na subestação de Estreito 500kV, com base em análises de desempenho dinâmico.

As análises demonstraram inúmeros benefícios sistêmicos, proporcionados pelos reforços recomendados, tais como: (i) aumento da capacidade de controle de tensão, com redução de afundamentos de tensão no sistema São Paulo, durante perturbações e redução de sobretensões dinâmicas na subestação de Estreito 500kV, após bloqueio de bipolo; (ii) recuperação mais rápida da potência transmitida pelo bipolo ∓ 800 kV Xingu – Estreito, após ocorrência de falhas de comutação; (iii) aproveitamento otimizado da capacidade de sobrecarga dinâmica do referido bipolo; (iv) melhor desempenho de todos os elos CCAT conectados na região Sudeste; (v) melhor amortecimento de tensão das barras de interligação CA durante perturbações e (vi) operação da conversora da subestação de Estreito em condições mais seguras (menos suscetíveis à ocorrência de falhas de comutação).

4.0 PREMISSAS E CRITÉRIOS DO ESTUDO

O horizonte de análise do estudo foi o ano 2029, com ênfase nas análises elétricas dos anos 2024 e 2029.

Nas análises elétricas, foi avaliado o desempenho do sistema face a ocorrência de eventos de natureza dinâmica, como curto-circuito, perdas duplas de linhas de transmissão CA e CC e falhas de comutação.

Em todos os anos da análise, o objetivo era o atendimento ao critério N-1, sem atuação de sistema especial de proteção (SEP), para indisponibilidade de circuito simples CA ou de um polo de circuito CC. No caso de contingências múltiplas de elementos de transmissão, como perda de bipolo, admitiu-se atuação de SEP de corte de geração, quando necessário.

Por conservadorismo, foi simulada ocorrência de falha de comutação forçada em todas as inversoras CC, com duração entre 16 e 100 ms, após aplicação de defeitos na rede CA, conforme severidade da perturbação. Para defeitos locais, considerou-se a duração das falhas de comutação igual à duração da própria falta na rede CA (100ms no sistema de 500 kV).

Outros critérios de desempenho requeridos foram: (i) Valores de tensão superiores a 0.8 p.u., durante a primeira oscilação, após extinção de defeitos na rede CA; (ii) Máxima tensão transitória de 140% dos valores nominais, no instante t_0+ , após a ocorrência de defeitos ou manobras; (iii) Estabilização da tensão, na rede de 500kV, entre 1.0 e 1.1 p.u., em regime permanente; (iv) Tempo de recuperação dos bipolos em corrente contínua, após qualquer falta no sistema CA, entre 150 e 350ms (200ms no caso dos bipolos conectados ao complexo do Rio Madeira e 220ms

no caso dos bipolos Xingu-Estreito e Xingu-Terminal Rio, valores estabelecidos no ato da licitação dos empreendimentos).

5.0 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

Dentre os cenários operativos avaliados, foram selecionados três, considerados mais críticos do ponto de vista da estabilidade eletromecânica.

5.1 Cenário Norte/Nordeste exportador no patamar de carga média

Neste cenário, denominado como 1A, observa-se o máximo intercâmbio de energia entre os subsistemas Norte/Nordeste e Sudeste/Centro Oeste, no patamar de carga média, adotando-se as premissas abaixo:

- Elevada disponibilidade hídrica na região Norte;
- Elevado fator de capacidade nas usinas solares, devido à coincidência com período diurno;
- Elevado fator de capacidade das usinas eólicas no Nordeste, compatível com valores extraídos de curva de permanência do histórico de geração;

Nesse cenário, a exportação total do Norte/Nordeste foi de aproximadamente 16.460MW no ano 2024 e 22.800MW no ano 2029.

A partir do cenário base, foram realizadas análises de sensibilidade, que consistiram na redução de 1.000MW no despacho de geração das usinas hidrelétricas da bacia do rio Paranapanema (SP e PR), acompanhada pelo aumento, nas mesmas proporções, de geração nas hidrelétricas da bacia dos rios Grande, Paranaíba e Paraná. Esta alteração, apesar de não provocar mudança significativa dos intercâmbios regionais, reduziu a inércia e capacidade de curto-circuito no estado de São Paulo. Este último cenário será tratado, ao longo deste trabalho, como cenário 1B.

5.2 Cenário de máxima importação de potência pela região Sudeste no patamar de carga média

No cenário denominado como 2A, observa-se a máxima importação simultânea de potência da região Sudeste/Centro-Oeste, pelos demais subsistemas, no patamar de carga média, adotando-se as premissas abaixo:

- Elevada disponibilidade hídrica nos subsistemas Norte e Sul;
- Elevado fator de capacidade nas usinas solares, devido à coincidência com período diurno;
- Elevado fator de capacidade das usinas eólicas no Nordeste, compatível com valores extraídos de curva de permanência do histórico de geração;

Nesta condição, a importação simultânea do Sudeste/Centro-Oeste pelo Sul e pelo Norte/Nordeste foi de 33.000MW.

5.3 Cenário Norte/Nordeste exportador no patamar de carga mínima

No cenário denominado como 3A, observa-se o máximo intercâmbio entre os subsistemas Norte/Nordeste e Sudeste/Centro Oeste no patamar de carga mínima, adotando-se as premissas abaixo:

- Elevada disponibilidade hídrica na região Norte;
- Despacho nulo das usinas solares;
- Elevado fator de capacidade das usinas eólicas no Nordeste, compatível com valores extraídos de curva de permanência do histórico de geração;

Apesar do valor da exportação total do Norte/Nordeste, da ordem de 10.400MW, ser inferior ao verificado nos demais cenários, essa configuração é considerada crítica no que se refere a menor inércia e capacidade de curto-circuito disponível na região Sudeste, visto que, em função da menor demanda a ser atendida e da elevada oferta de geração renovável não controlável disponível no SIN, o despacho de geração térmica e hidráulica é reduzido na região em que se concentram os terminais receptores dos sistemas CCAT.

6.0 RESULTADOS DO ESTUDO

A característica comum dos três cenários avaliados é a elevada exportação de excedentes de geração das regiões Norte/Nordeste para a região Sudeste/Centro-Oeste, visto que essa condição é a que mais solicita suporte dos equipamentos que fornecem potência reativa para controle de tensão.

Nessas condições, foram mensurados inúmeros benefícios ao desempenho dinâmico do sistema proporcionados pela inclusão de compensação síncrona variável, na região de concentração dos elos CCAT existentes, mais especificamente próximo ao terminal de conexão de uma das conversoras CA/CC, na SE Estreito 500kV.

Para demonstração dos benefícios, compara-se, nas seções abaixo, o resultado de desempenho dinâmico do sistema, face à ocorrência de inúmeras contingências, na configuração de rede original (linha contínua vermelha) e na configuração de rede após inclusão da compensação síncrona na subestação de Estreito (linha contínua azul).

6.1 Aumento da capacidade de controle de tensão, com redução de afundamentos de tensão durante perturbações

Nos cenários analisados, principalmente no patamar de carga média, as tensões na rede de transmissão da região Sudeste e das interligações regionais podem sofrer acentuados afundamentos durante perturbações envolvendo os elos CCAT.

A partir da Figura 1 – (a), nota-se que, com a inclusão dos compensadores síncronos, ocorre menor afundamento de tensão na barra da SE 500 kV Estreito, após o bloqueio do bipolo Xingu-Terminal Rio. Além disso, o módulo da tensão pós-falta, na subestação conversora, converge para um valor mais próximo à condição pré-falta, em função da injeção de potência reativa adicional, indicada na Figura 1- (b).

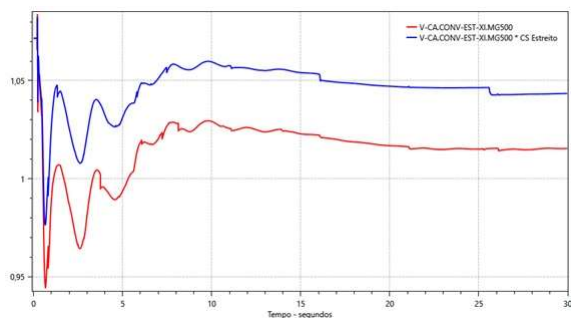


FIGURA 1 – (a) Tensão (p.u.) na SE Estreito 500kV (Cenário 1A)

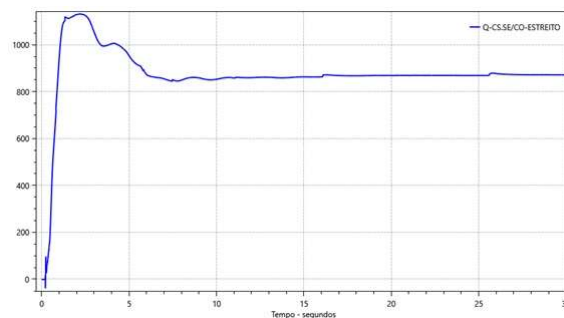


FIGURA 1 – (b) Potência reativa (Mvar) injetada pelo compensador síncrono (Cenário 1A)

6.2 Redução de sobretensões dinâmicas na subestação de Estreito 500kV, após bloqueio de bipolo

Conectam-se na subestação de Estreito sete linhas de transmissão em 500 kV e outras quatro linhas de transmissão em 345 kV, que integram uma densa rede de transmissão na região Sudeste. Essa rede de transmissão, tão malhada, traz consigo a dificuldade de controle de tensão nos cenários de baixo fluxo de potência, que ocorrem principalmente nos patamares de carga reduzida, como a do cenário 3A.

Adiciona-se a esta dificuldade a possibilidade do bloqueio da potência da conversora de Estreito, seguida do desligamento parcial e escalonado dos grupos de filtros de componentes harmônicas a ela conectados, o que pode demandar suporte de absorção de potência reativa para evitar sobretensão transitória na rede de transmissão da região Sudeste.

A partir da Figura 2 – (a), demonstra-se que na ocorrência do bloqueio do elo CCAT Xingu-Estreito pode ocorrer sobretensão de até 4% na SE 500 kV Estreito, por aproximadamente 20 segundos, no caso sem os compensadores síncronos. Por outro lado, após a inclusão desses equipamentos, a sobretensão passa a ser inferior a 2% e por período de tempo menor do que 12 segundos.

A Figura 2 – (b) indica os montantes de potência reativa absorvidos pela compensação síncrona, demonstrando a importância da capacidade indutiva deste equipamento, no sentido de prover melhoria do controle de sobretensões dinâmicas.

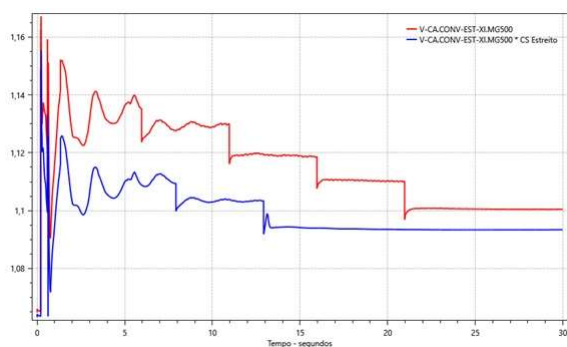


FIGURA 2 – (a) Tensão (p.u.) na SE Estreito 500kV (Cenário 3A)

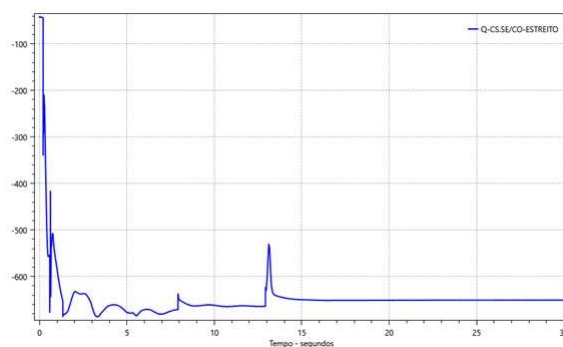


FIGURA 2 – (b) Potência reativa (Mvar) absorvida pelo compensador síncrono (Cenário 3A)

6.3 Recuperação mais rápida da potência transmitida pelo bipolo ± 800 kV Xingu – Estreito, após ocorrência de falhas de comutação

No cenário 1A, quando o SIN está operando com carregamentos elevados nas interligações entre os subsistemas Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste, o tempo de interrupção de potência dos elos CCAT é determinante para a estabilidade do sistema.

Nesse sentido, almeja-se que na ocorrência de qualquer perturbação que provoque falha de comutação na conversora de Estreito, esta seja capaz de recuperar, o mais rápido possível, a transmissão de potência para o nível de operação antes da perturbação.

A Figura 3 – (a) demonstra que com a inclusão dos compensadores síncronos na SE Estreito, o tempo de recuperação de potência pelo bipolo Xingu-Estreito, após um curto-circuito na SE Estreito seguido de abertura da LT 500kV Estreito - Fernão Dias é reduzido em 130ms, satisfazendo o critério de recuperação de potência estabelecido como premissa para este estudo.

Observa-se, na Figura 3 – (b), que após a aplicação do curto-circuito, em $t=200$ ms, os compensadores síncronos de Estreito atuaram rapidamente no suporte de potência reativa. Nota-se, também, que mesmo após a eliminação da falta, em $t=300$ ms, os equipamentos são solicitados a injetar potência reativa no sistema por alguns segundos, permitindo um desempenho melhor do bipolo Xingu-Estreito.

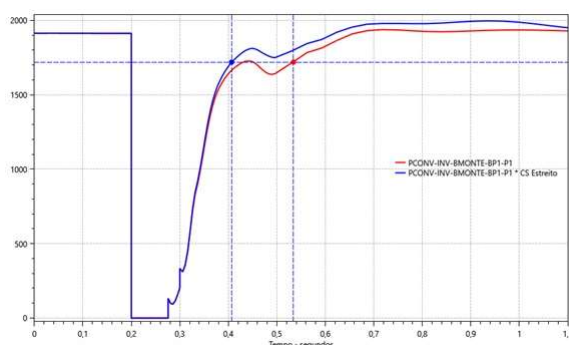


FIGURA 3 – (a) Potência (MW) por polo do elo CCAT Xingu – Estreito (Cenário 1A)

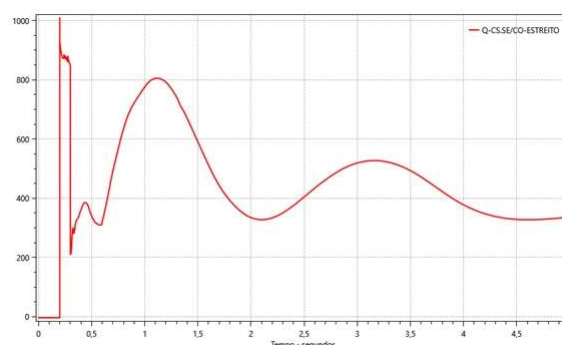


FIGURA 3 – (b) Potência reativa (Mvar) injetada pelo compensador síncrono (Cenário 1A)

6.4 Aproveitamento otimizado da capacidade de sobrecarga dinâmica do referido bipolo

Nos estudos que recomendaram a implantação dos bipolos Xingu-Estreito e Xingu-Terminal Rio, foi identificado como um requisito importante para a estabilidade do sistema, a capacidade de sobrecarga dinâmica de 50% por 5 segundos (sobrecarga de curta duração) e, na sequência, uma sobrecarga de 33% por 30 minutos (sobrecarga de longa duração), possibilitando a ação de *Run-up*, que consiste na transmissão temporária de potência adicional pelos sistemas CCAT, após perda de outras linhas de transmissão.

Contudo, para que seja possível o pleno aproveitamento do recurso de sobrecarga dinâmica dos sistemas CCAT, é necessário que o sistema elétrico em que estão inseridos tenha capacidade de prover todo o suporte de reativos demandado para essa operação.

A Figura 4 ilustra a potência por polo do elo CCAT Xingu-Estreito após o bloqueio do elo CCAT Xingu-Terminal Rio, com e sem a presença de compensação síncrona em Estreito, no Cenário 1A.

Nota-se que após a aplicação de *Run-up* de 50% no bipolo Xingu-Estreito, a máxima sobrecarga de curta duração alcançada foi de 41%, ao passo que no caso em que estão presentes os compensadores síncronos em Estreito, essa sobrecarga foi de 46% (valor mais próximo a plena capacidade).

Outra melhora significativa ocorreu na capacidade de sobrecarga de longa duração, que se inicia em sequência, devendo seguir uma rampa negativa até 133% da potência nominal.

Nota-se que, no caso com os compensadores síncronos alocados na SE Estreito, a potência do bipolo Xingu-Estreito apresentou o comportamento ideal, entretanto, no caso sem a compensação adicional, a potência deste bipolo caiu para 27,5% após a rampa e só atingiu 32,4% de sobrecarga após 20 segundos.

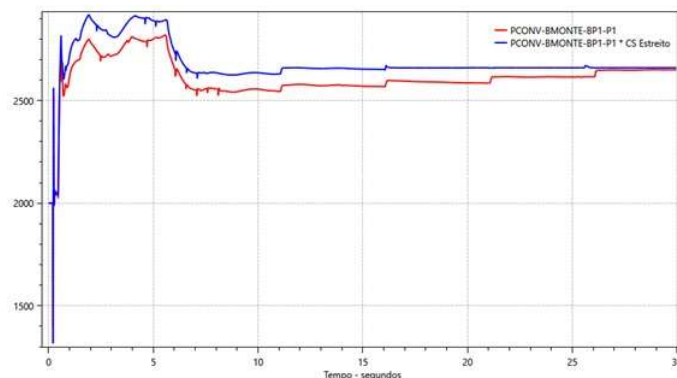


FIGURA 4 - Potência (MW) por polo do elo CCAT Xingu – Estreito (Cenário 1A)

6.5 Melhor desempenho de todos os elos CCAT conectados na região Sudeste

O benefício proporcionado pelos compensadores síncronos da SE Estreito ao desempenho de outras conversoras conectadas em pontos eletricamente próximos, na região Sudeste, é ilustrado na Figura 5, que expõe o resultado da simulação de curto-circuito seguido de abertura dupla da LT 500 kV Estreito - Cachoeira Paulista, no cenário 1B, no ano 2029, com aplicação de falha de comutação forçada em todos os bipolos CCAT.

Observa-se, na Figura 5 – (a), uma recuperação 7 segundos mais rápida da conversora de Ibiúna em relação ao caso sem compensadores síncronos na SE Estreito. As linhas tracejadas representam o ponto em que a potência transmitida pelo bipolo ultrapassa 90% da potência pré-falta, sem decaimento posterior.

Outra característica positiva e relevante para o desempenho do sistema, nessa condição, foi o perfil de tensão da SE 345 kV Ibiúna, barra em que se conecta a conversora do bipolo de Itaipu na região Sudeste. Conforme ilustrado na Figura 5 – (b), apenas no caso com compensadores síncronos alocados na SE Estreito o perfil de tensão restabeleceu-se rapidamente após o primeiro afundamento de tensão, sendo que no caso sem estes equipamentos houve um segundo afundamento de tensão, ocasionando retardo na recuperação de potência da conversora de Ibiúna.

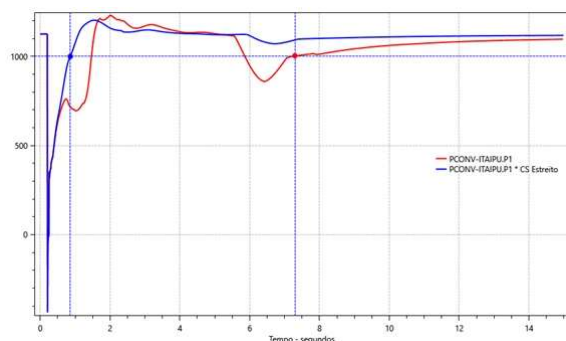


FIGURA 5 – (a) Potência (MW) por polo do elo CCAT de Itaipu (Cenário 1B)

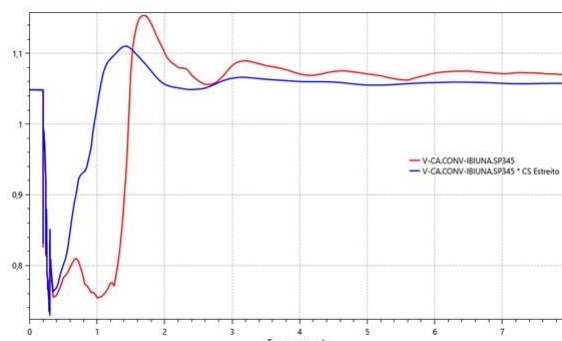


FIGURA 5 – (b) Tensão (p.u.) na SE Ibiúna 345kV (Cenário 1B)

6.6 Melhor amortecimento de tensão das barras de interligação CA durante perturbações

Assim como o desempenho dos bipolos é aprimorado com o suporte adicional de potência reativa prestado pelos compensadores síncronos em Estreito, os troncos de transmissão CA que interligam as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste também apresentam melhor desempenho quanto à amplitude e tempo de amortecimento das oscilações de tensão.

Para expor esse benefício, apresenta-se, na Figura 6, o perfil de tensão na SE 500 kV Serra da Mesa 2 durante a perda dupla da LT 500 kV Estreito - Cachoeira Paulista, no Cenário 1A, a partir da qual pode-se concluir que a inclusão dos compensadores síncronos na SE Estreito reduz o tempo de amortecimento das oscilações de tensão na interligação Norte-Sul.

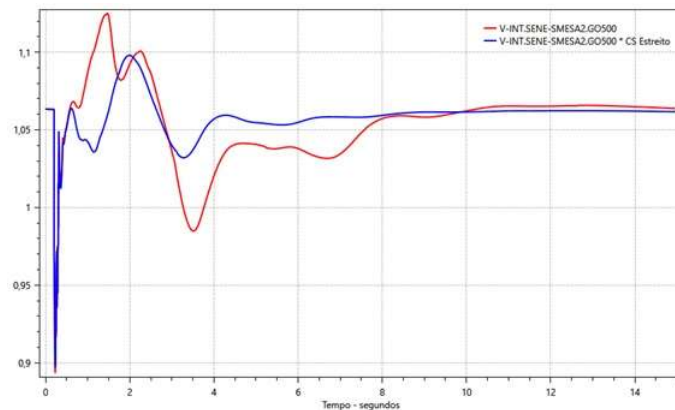


FIGURA 6 – Tensão (p.u.) na SE Serra da Mesa 2 500kV (Cenário 1A)

6.7 Operação da conversora da subestação de Estreito em condições mais seguras (menos susceptíveis à ocorrência de falhas de comutação).

Outro benefício que os compensadores síncronos em Estreito trazem ao Sistema Interligado Nacional refere-se à operação mais segura da conversora de Estreito durante perturbações. Grandezas físicas, como tensão e ângulo de extinção (gama), passam a operar em faixas mais conservadoras, minimizando o risco de ocorrência de falhas de comutação.

O bloqueio do bipolo Xingu-Terminal Rio, no cenário 2A, permite observar com clareza a diferença no modo de operação da inversora de Estreito, com e sem a compensação síncrona adicional.

A Figura 7 – (a) apresenta, para a referida perturbação, a alternância da operação da inversora de Estreito entre o modo de controle de tensão e controle de gama. Em condições normais, ela opera em modo de controle de tensão, na tentativa de igualar a tensão DC na retificadora a 1 p.u., variando, para isso, o ângulo gama acima do valor considerado como mínimo.

Durante a perturbação, a tensão DC cai e o ângulo de extinção atinge seu valor mínimo, o que representa uma condição de maior susceptibilidade à ocorrência de falhas de comutação. Nesta condição, a inversora perde a capacidade de controle de tensão e passa a controlar gama, impedindo que ele reduza a valores abaixo do mínimo.

A Figura 7 – (b) mostra que no caso original, a inversora opera por 35 segundos em modo de controle de gama, condição de maior exposição a ocorrência de falhas de comutação, enquanto no caso com compensação síncrona, ela permanece nesse modo de operação por apenas 11 segundos, operando na maior parte do tempo no modo de controle de tensão, mais seguro no sentido de apresentar menor risco de ocorrência de falhas de comutação.

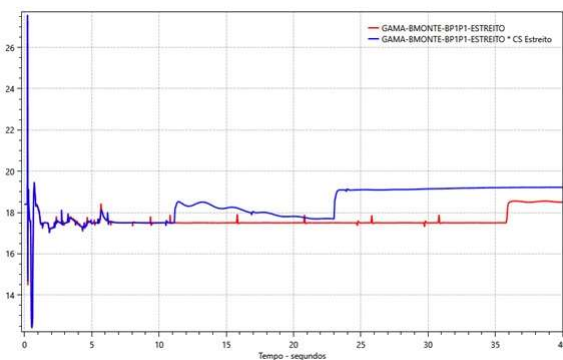


FIGURA 7 – (a) Ângulo de extinção na conversora CA/CC de Estreito (Cenário 2A)

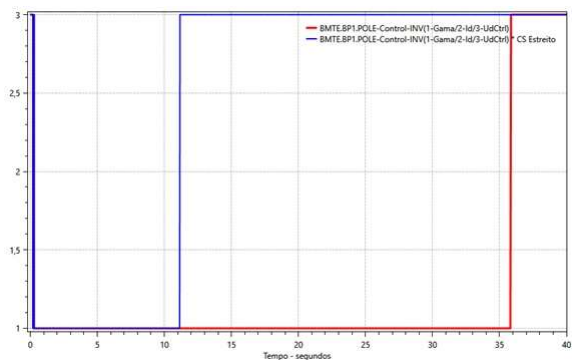


FIGURA 7 – (b) Modo de controle na conversora CA/CC de Estreito (Cenário 2A)

7.0 CONCLUSÕES

Os resultados do estudo demonstraram inúmeros benefícios proporcionados pela inserção de compensação reativa variável no subsistema Sudeste/Centro-Oeste.

Em função da característica preponderantemente importadora dessa região, da elevada concentração de conversoras CA/CC e da possibilidade de ocorrência de cenários com número reduzido de máquinas sincronizadas, o suporte de potência reativa oferecido pelos compensadores síncronos torna-se relevante para a melhoria do

desempenho dinâmico do sistema, no que se refere ao controle de tensão, tornando-o mais seguro face à ocorrência de perturbações na rede elétrica.

Conforme demonstrado nos resultados das simulações, a inclusão de compensação síncrona na SE Estreito 500kV foi capaz de proporcionar melhorias no controle de tensão local e no desempenho sistêmico.

Foram observados ganhos de confiabilidade associados ao melhor amortecimento das tensões nas barras de interligação CA, ao melhor aproveitamento da capacidade de sobrecarga de curta e longa duração, à redução nos tempos de recuperação dos elos CCAT do SIN após perturbações dinâmicas e à operação desses elos em condições menos susceptíveis à ocorrência de falhas de comutação.

Além disso, foi demonstrado que o suporte de potência reativa variável e a contribuição de curto-circuito fornecidos pelos compensadores síncronos proporcionam maior flexibilidade na operação do sistema, à medida que garantem atendimento aos critérios de desempenho em diferentes cenários operativos, desde aqueles de carga média e elevada importação de potência pela região Sudeste/Centro-Oeste até aqueles de carga reduzida e menor número de máquinas sincronizadas nessa região.

Com a expansão da geração prospectiva, prevista para ocorrer nos próximos anos, na região Norte/Nordeste, a qual deve ser acompanhada pela expansão da capacidade das interligações regionais, a necessidade de reforços em compensação reativa variável na região Sudeste/Centro-Oeste deve se tornar ainda mais proeminente, em função da elevação dos montantes de importação máxima e da maior diversidade de cenários operativos possíveis.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) EPE - Empresa de Pesquisa Energética. EPE-DEE-NT-005/2021-rev0 – Desempenho Dinâmico do Sistema de SP no Horizonte de Médio/Longo Prazo. Brasil.

DADOS BIOGRÁFICOS**(1) THAÍS PACHECO TEIXEIRA**

Possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela UFRJ. Atuou na área de modelagem computacional de sistemas elétricos, entre 2012 e 2015, em empresa de consultoria e, ao longo de 2015, no ONS. Iniciou suas atividades na EPE em dezembro de 2015, como Analista de Pesquisa Energética, desempenhando atividades relacionadas ao planejamento da expansão do sistema de transmissão, dentre as quais: estudos elétricos de fluxo de potência, curto-circuito e estabilidade eletromecânica, bem como análise técnico-econômica de alternativas de expansão da transmissão. Atua desde 2020 como Consultora Técnica, na EPE, coordenando os grupos de Base de Dados e Interligações regionais.

(2) TIAGO CAMPOS RIZZOTTO

Tiago Campos Rizzotto, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Uberlândia em 2007; mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2016. É Analista de Pesquisa Energética desde 2008 na Empresa de Pesquisa Energética – EPE onde desempenha atividades relacionadas ao planejamento da expansão de sistemas de transmissão de energia.

(3) RODRIGO RODRIGUES CABRAL

Rodrigo Rodrigues Cabral engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal Fluminense em 2011; mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2015. É Analista de Pesquisa Energética desde 2013 na Empresa de Pesquisa Energética – EPE onde desempenha atividades relacionadas ao planejamento da expansão de sistemas de transmissão de energia.