



## **Grupo de Estudo de Operação de Sistemas Elétricos-GOP**

### **Desafios na operação dos Bipolos $\pm 800$ kV Xingu/Estreito e Xingu/Terminal Rio**

**ANA BARBARA FERNANDES NEVES(1); BERNARD FERNANDES KÜSEL(1); DELFIM MADURO ZARONI(1); EDINOEL PADOVANI(1); GUILHERME PEREIRA DE MELO AMBONI(1); KLEBER MELO E SILVA(2); ROBERTO LUIZ BERNARDO DA SILVA(1); ONS(1);UnB(2);**

#### RESUMO

Este trabalho apresenta características e lições aprendidas com a operação dos bipolos  $\pm 800$  kV Xingu/Estreito e Xingu/Terminal Rio. São abordados aspectos referentes ao controle de tensão, o intercâmbio de potência ativa e reativa entre os bipolos e o sistema CA, a operação com tensão reduzida, os Sistemas Especiais de Proteção que envolvem os bipolos e o aumento de complexidade dos limites sistêmicos com a entrada dos bipolos. Adicionalmente, é apresentada uma avaliação dos impactos da integração dos bipolos ao SIN sem a expansão prevista na rede CA e as ações mitigadoras que foram implantadas para garantir a segurança da operação.

#### PALAVRAS-CHAVE

HVDC, desafios da operação, UHE Belo Monte

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

O bipolo  $\pm 800$  kV Xingu/Estreito, com capacidade nominal de 4000 MW e 2300 km de extensão conectando a SE Xingu no Pará à SE Estreito em Minas Gerais, foi a solução escolhida para o escoamento da geração da UHE Belo Monte para a região Sudeste. A UHE Belo Monte, localizada no Rio Xingu, é uma usina a fio d'água com previsão de 18 unidades geradoras de 611 MW cada, totalizando 11.000 MW. O bipolo  $\pm 800$  kV Xingu/Terminal Rio, também com capacidade de 4000 MW e previsto para entrar em operação em 2019, complementarará este escoamento. Utilizando o sistema CA para transmissão de potência equivalente à nominal do bipolo Xingu / Estreito, as perdas seriam superiores ao escoamento em CC em aproximadamente 600 MW, o que equivaleria a uma unidade geradora a mais na UHE Belo Monte.

Diferente dos demais elos de corrente contínua do SIN, os bipolos de Xingu estão embutidos no sistema CA existente. Essa característica agrega flexibilidade no controle do fluxo da Interligação Norte Sudeste (FNS), pois variações na ordem de potência do bipolo refletem diretamente na transferência de potência pelo sistema CA. Este ganho de flexibilidade é discutido neste trabalho por meio de gráficos reais de variações do FNS quando de rampas de elevação e redução de potência no bipolo. Por outro lado, essa influência na rede CA, somada à ausência do reforço de transmissão CA previsto, aumentam a complexidade da operação. Os limites de transferência de energia pelas interligações tornaram-se dependentes de diversas variáveis. O limite do bipolo Xingu/Estreito está relacionado com a carga do SIN, FNS, número de unidades geradoras nas UHEs Belo Monte e Tucuruí, bem como as condições de operação da Interligação Norte Sudeste (tensão na SE Serra da Mesa e número de UGs nas usinas conectadas a esta interligação). Para rede CA atual o fluxo nas LTs 500 kV Tucuruí/Xingu tam bém está realcionado as mesmas grandezas que determinam o limite do bipolo. Já o limite de recebimento da região sudeste (RSE) depende do somatório dos fluxos nos bipolos Foz do Iguaçu / Ibiúna, Xingu / Estreito e Madeira e de outras grandezas do SIN.

Como o bipolo Xingu/Estreito foi integrado ao SIN sem a expansão prevista no sistema CA, foi necessária a implantação de um SEP para permitir a máxima utilização da transmissão CA e CC, respeitados os requisitos de desempenho dinâmico e segurança elétrica do SIN. O grande desafio foi conceber um SEP com envolvimento de diversos Agentes e longas distâncias, que garantisse a segurança do sistema e com um investimento financeiro e complexidade compatíveis com um SEP provisório, visto que este será substituído quando da entrada em operação do bipolo Xingu/Terminal Rio. O SEP associado ao bipolo Xingu/Estreito contribui com o SIN quando de contingências na rede CA por meio de ações de Run-Back ou Run-Up, redução ou elevação rápida de potência a uma taxa pré-definida de até 14.000 MW/s. O SEP também pode desligar unidades geradoras nas UHEs Belo Monte e Tucuruí.

## 2.0 - BIPOLO XINGU/ESTREITO

### 2.1 Controle de tensão

O bipolo Xingu / Estreito conta com 8 filtros na SE Xingu e 12 filtros na SE Estreito, conforme mostrado na Figura 1. Estes filtros são ligados automaticamente pelo controle de polo para fornecer a potência reativa consumida pelo bipolo e filtrar as distorções harmônicas produzidas na conversão CA/CC e CC/CA.

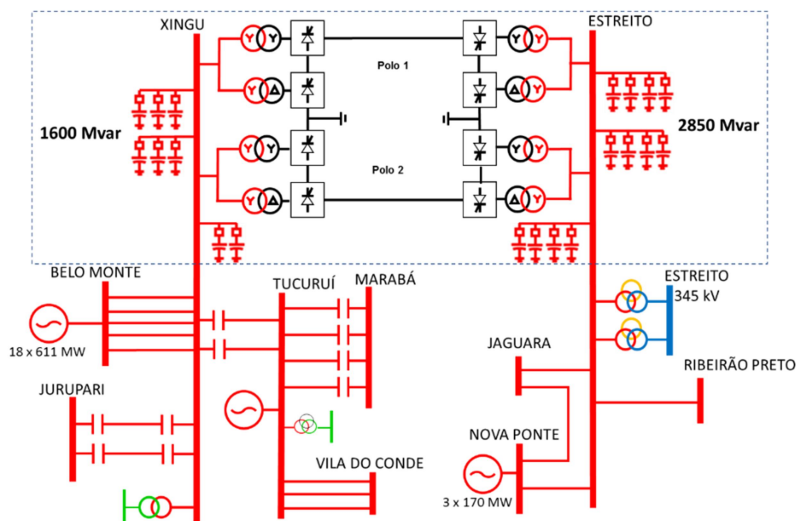


Figura 1 – Diagrama simplificado do bipolo Xingu / Estreito

Quando um filtro é conectado, a potência reativa fornecida não é totalmente absorvida pelos polos, pois o consumo de potência reativa é proporcional a potência ativa transmitida. Dependendo da necessidade do sistema e da disponibilidade de geração, a potência no bipolo pode ser modificada de modo a levá-lo a um ponto de operação onde seu consumo de reativo seja igual ou menor que o fornecido pelos filtros conectados. A Figura 2 mostra a potência ativa transmitida e a reativa consumida pelo bipolo e a potência reativa fornecida pelos filtros durante uma rampa realizada no bipolo Xingu / Estreito. Conforme mostrado na Figura 2, o consumo de potência reativa é diretamente proporcional à potência ativa. Para o período analisado, o consumo de potência reativa foi, em média, 46% da potência ativa transmitida na SE Xingu e 52% na SE Estreito.

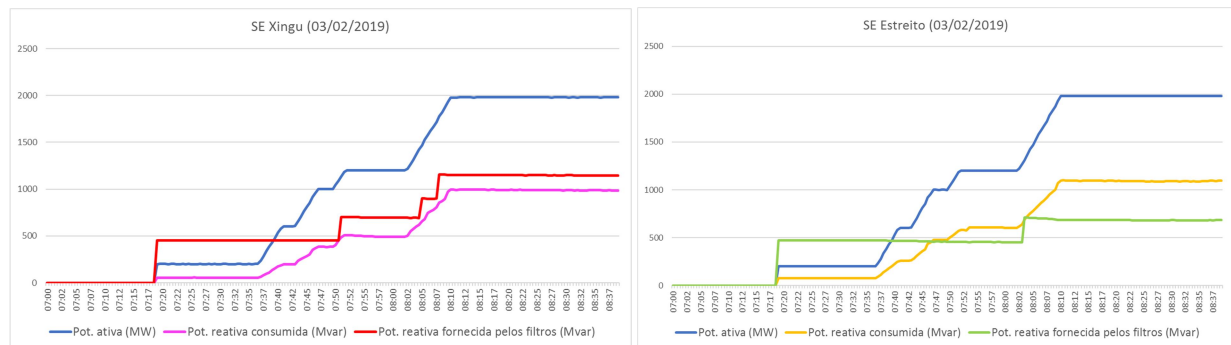


Figura 2 – Potência ativa transmitida x potência reativa consumida pelo bipolo Xingu / Estreito

Ressalta-se que a potência reativa fornecida pelos filtros varia de acordo com a tensão na barra onde estão conectados [1]. Variando a potência ativa do bipolo é possível alterar a diferença entre as potências reativas consumida e fornecida. Em determinados pontos, a potência reativa consumida é igual a fornecida pelos filtros. Essa alteração do ponto de operação do bipolo pode ser utilizada para auxílio ao controle de tensão nas barras da SE Xingu, da SE Estreito e, conseqüentemente, das SEs conectadas a estas. Este é um importante aspecto que deve observado pela operação para auxílio ao controle de tensão.

A variação de potência ativa ocorre durante rampas programadas no bipolo Xingu / Estreito, seja para desligamento de um polo ou seu retorno a operação. A Figura 3 mostra as variações de tensão e potências ativa e reativa na SE Estreito durante a manobra de desbloqueio e rampa de elevação de potência no bipolo. No gráfico da Figura 3 é possível observar que foi necessário reduzir a tensão para 535 kV previamente ao desbloqueio do bipolo. Esta adequação no sistema é necessária pois são conectados dois filtros no momento do desbloqueio. A conexão dos dois filtros no momento do desbloqueio resulta em uma elevação de 10 kV na barra da SE Estreito. Na faixa de 200 a 1200 MW nenhum filtro é conectado. Nesta faixa de potência, é possível observar que uma variação de 1000 MW reflete em uma variação de 11 kV na barra de 500 kV da SE Estreito. Essa variação na tensão ocorre pois o consumo de potência reativa varia de 75 Mvar a 600 Mvar com a citada elevação de potência ativa. Conforme indicado na Figura 3, quando a potência do bipolo ultrapassa 1260 MW, um filtro é conectado e ocorre uma elevação de tensão de 5 kV em Estreito. Já para o caso da SE Xingu, a variação de tensão durante a rampa é menor quando comparada a SE Estreito, isto ocorre devido a resposta das unidades geradas da UHE Belo Monte. Considerando o exposto, é necessário que a operação prepare o sistema antes e durante as rampas para que as faixas de tensão operativas não sejam violadas.

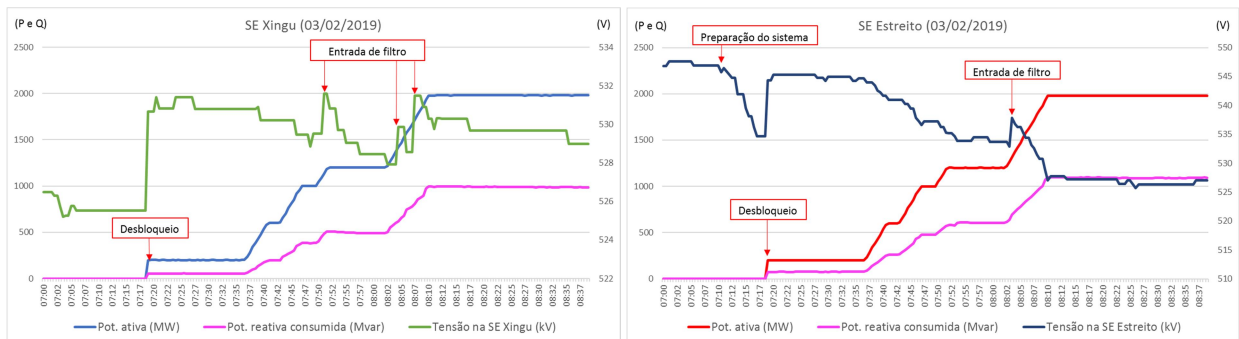


Figura 3 – Rampa no bipolo Xingu / Estreito

## 2.2 Controle do fluxo da Interligação Norte / Sudeste

Como o bipolo Xingu / Estreito está embudido na rede CA, alterações em sua ordem de potência tem reflexos diretos no fluxo das linhas AC. Conforme mostrado na Figura 4, um aumento de 500 MW na potência do bipolo Xingu / Estreito reflete em uma redução de aproximadamente 420 MW no FNS. Nota-se um ganho próximo a 16% com o escoamento de energia pelo bipolo.

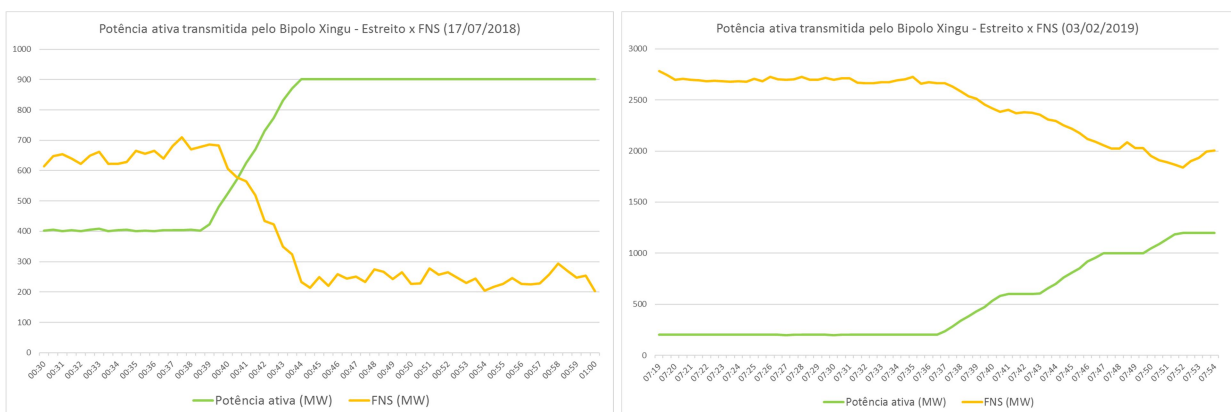


Figura 4 – Potência ativa transmitida pelo bipolo Xingu / Estreito x FNS

Portanto, para reduzir as perdas no sistema de transmissão é importante maximizar a transferência de energia pelo bipolo. No entanto, deve-se manter uma parte escoando pelo sistema CA, pois as tensões ficam bastante elevadas na Interligação Norte / Sudeste para operação com valores reduzidos de FNS.

### 2.3 Operação com tensão reduzida

Na operação com tensão reduzida, o bipolo opera com valores maiores de ângulo de disparo ( $\alpha$ ), resultando em uma tensão menor e consumindo mais potência reativa [2]. O bipolo Xingu / Estreito pode operar com tensão reduzida até 560 kV (0,7pu) do valor nominal. A Figura 5 mostra a operação do bipolo Xingu / Estreito durante uma rampa de variação de tensão de 800 para 560 kV. Nota-se um aumento significativo no consumo de potência reativa pelo bipolo com a redução da tensão CC. Com tensão reduzida, o consumo de potência reativa em relação a potência ativa transmitida chega a 95%.

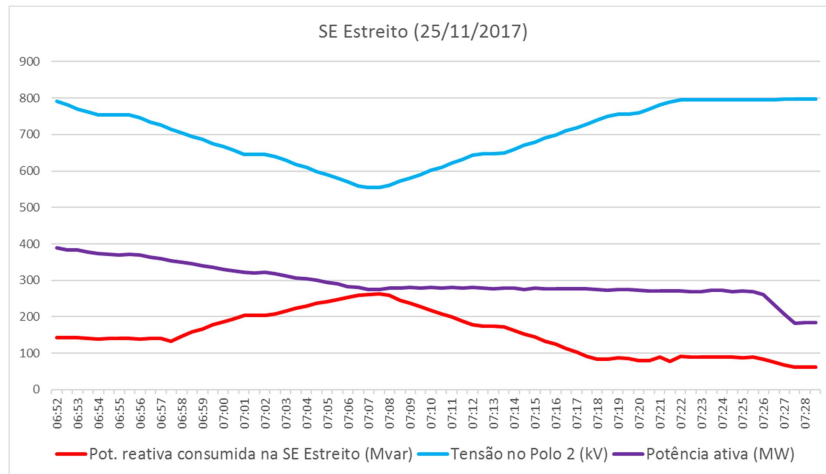


Figura 5 – Bipolo Xingu / Estreito operando com tensão reduzida

### 3.0 - BIPOLO XINGU / TERMINAL RIO

O bipolo Xingu / Terminal Rio está previsto para entrar em operação ainda em 2019, a Figura 6 apresenta a configuração deste bipolo. A SE Terminal Rio seccionará a LT 500 kV Adrianópolis / Resende e a LT 500 kV Adrianópolis / Cachoeira Paulista existentes. Adicionalmente, serão integradas a LT 500 kV Terminal Rio / Nova Iguaçu C1 e C2.

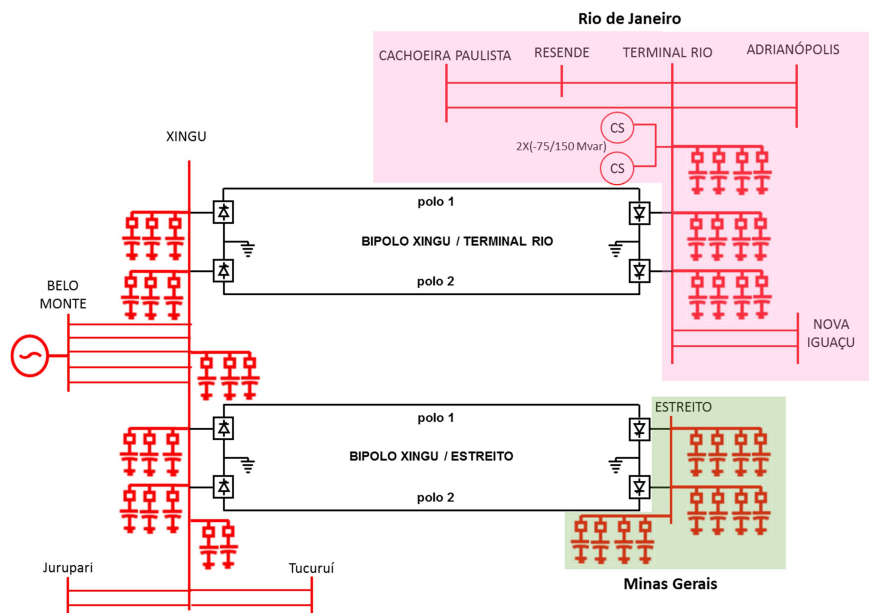


Figura 6 – Diagrama simplificado do bipolo Xingu / Terminal Rio

Além dos desafios similares aos enfrentados com o bipolo Xingu / Estreito, novos desafios surgirão com o bipolo Xingu / Terminal Rio, pois um de seus terminais não é comum aos bipolos, como mostrado na Figura 6. Considerando esta característica, a transferência de potência entre os bipolos, realizada de forma coordenada pelo tempo real, deverá considerar as restrições da rede CA. A transferência de potência realizada automaticamente pelo Controle Mestre após contingência de pólo ou bipolo também será limitada para as restrições dos terminais que estarão sujeitos a elevação automática de potência.

Devido as características da SE Terminal Rio, o projeto incluiu quatro reatores de 60 Mvar para atender a simultaneamente o projeto de filtros e as variações de tensão máximas permitidas na SE. Além de dois compensadores síncronos para agregar nível de curto circuito e permitir o desbloqueio do bipolo em situações de recomposição, ou seja, com a rede degradada.

#### 4.0 - LIMITES SISTÊMICOS

Diversas grandezas são monitoradas em tempo real para garantir a segurança na operação do SIN e algumas possuem relação direta com os limites do FNS, são elas: potência dos bipolos (Madeira e Xingu / Estreito); carga do SIN, fluxo no trecho Tucuruí / Xingu, tensão na SE Serra da Mesa, geração das UGs selecionadas para corte pelo SEP nas UHEs Belo Monte e Tucuruí e número de UGs sincronizadas nas usinas conectadas diretamente na Interligação Norte / Sudeste. Foram definidos limites para cada bipolo, para o FNS e para o fluxo em vários trechos da Interligação Norte / Sudeste, além de tabelas que relacionam esses limites, visto que não é possível explorar a capacidade nominal dos bipolos e da interligação simultaneamente. A Figura 7 mostra essas grandezas e a Tabela 1 apresenta os limites de cada uma separadamente.

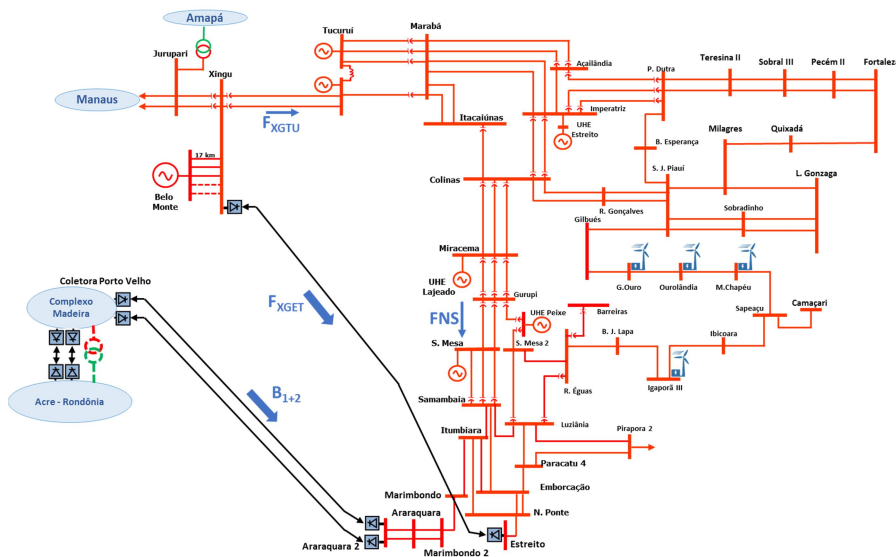


Figura 7 – Fluxos relacionadas com o limite de FNS

Tabela 1 – Limites dos fluxos relacionadas com o limite de FNS

Fluxo	Limite (MW)
FNS	4100
$F_{XGET}$	4000
$B_{1+2}$	6300

Considerando os limites individualizados apresentados na Tabela 1, seria possível transferir 14400 MW para a região Sudeste em um cenário Norte exportador. No entanto, não é possível explorar a transferência pelo bipolos e Interligação Norte / Sudeste simultaneamente. Considerando os bipolos transmitindo sua potência nominal, o FNS pode ser no máximo 1500 MW para carga do SIN menor que 63000 MW, 2000 MW para carga do SIN entre 63000 e 78000 MW e 2200 MW para carga do SIN maior que 78000 MW. Esses limites são mais restritivos e consideram como critério a perda de um bipolo transmitindo sua capacidade nominal.

Para cada cenário energético, os limites são diferenciados e definidos para otimizar a transferência de energia entre regiões e estão diretamente relacionados à capacidade e seletividade dos SEPs implantados. Ao longo do ano, ocorrem cenários bem distintos devido ao regime hidrológico da região Norte, o que impacta na geração das usinas. Como pode ser visto na Figura 8, o comportamento das vazões nos rios da região Norte tem variações significativas ao longo do ano, impactando a geração das usinas a fio d'água e, conseqüentemente, o cenário energético e o intercâmbio de energia entre regiões.

Em um cenário caracterizado por gerações elevadas nas UHEs Belo Monte e Tucuruí, o bipolo Xingu / Estreito e a interligação Norte / Sudeste operam com fluxos elevados no sentido Norte para Sudeste. Adicionalmente, com a evolução do parque eólico da região Nordeste, a exportação desta região pode ser concidente e contribuir para o esgotamento da capacidade de transmissão da Interligação Norte / Sudeste. Neste cenário, os bipolos do Madeira

também estão com fluxos elevados, visto que as UHEs Jirau e Santo Antônio têm um regime de aflúências semelhante, como mostrado também na Figura 8.

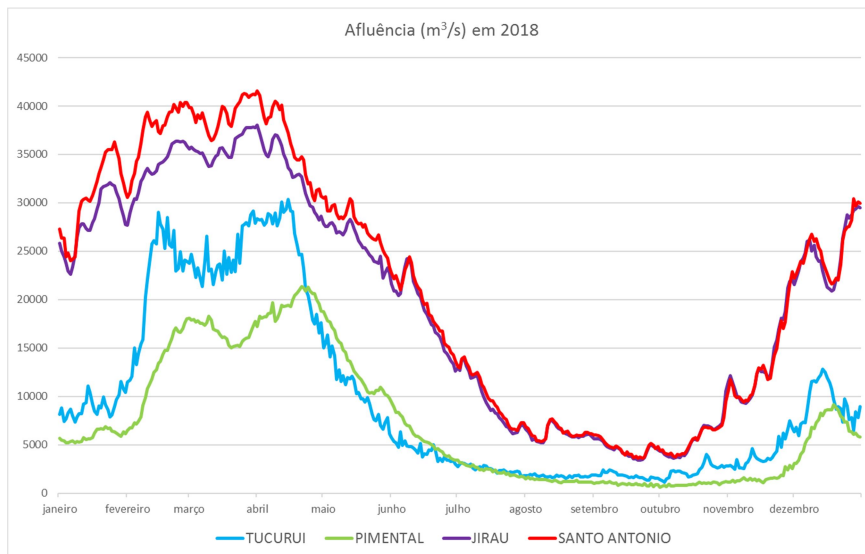


Figura 8 - Aflúência (m<sup>3</sup>/s) em 2018 das UHEs Tucuruí, Belo Monte (Pimental), Jirau e Santo Antônio

Os limites para o cenário Norte exportando para Sudeste são diferentes dos definidos para o período de baixas aflúências na região Norte, onde o Sudeste exporta para o Norte. Neste último caso, mesmo que por um curto período no ano, pode ocorrer a inversão no sentido do fluxo do bipolo Xingu / Estreito, passando a operar no sentido de Estreito para Xingu.

#### 5.0 - IMPACTOS DO ATRASO DA REDE CA

Aliado aos desafios já impostos à operação dos bipolos, está ainda a ausência da rede CA que foi planejada para estar disponível quando do início da entrada em operação da UHE Belo Monte. A Figura 9 mostra a rede CA planejada e a existente na entrada em operação do bipolo Xingu / Estreito.



Figura 9 – Sistema de transmissão da região Norte/Nordeste com destaque para a linhas em atraso.

O grupo Abengoa foi vencedor de uma série de lotes de leilões de transmissão realizados pela ANEEL nos anos de 2013 e 2014, ficando responsável pela construção das principais linhas de transmissão e subestações que escoariam a energia das novas usinas que estavam previstas, estando as principais obras indicadas na Figura 9. No final do ano de 2015, a matriz da Abengoa na Espanha entrou em situação de pré-concurso, ficando impossibilitada de manter o financiamento das obras que estavam em andamento no Brasil, culminado, em setembro de 2017, na Portaria nº 373 do MME, que declarou a caducidade e consequente extinção das concessões outorgadas às empresas ligadas ao grupo Abengoa.

O atraso na entrada dessas linhas de transmissão tem imposto restrições no escoamento da geração das usinas da região Norte, notadamente para UHEs Tucuruí e Belo Monte, que, durante os períodos úmidos, acabam vertendo montantes que seriam turbináveis, devido à inexistência de capacidade de transmissão para toda a geração. Estes atrasos também tem impactado a capacidade de escoamento da geração eólica da região nordeste.

Para minimizar as restrições, os recursos existentes são utilizados no limite máximo, o que requer atenção especial para garantir a segurança da operação e a estabilidade do sistema. Para isso, um complexo sistema especial de proteção foi implantado.

## 6.0 - SISTEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO

Como o bipolo Xingu / Estreito foi integrado ao SIN sem a expansão prevista no sistema de transmissão CA, foi necessária a implantação de um SEP para permitir a máxima utilização da transmissão CA e CC, respeitados os requisitos de desempenho dinâmico e segurança elétrica do SIN. O grande desafio foi conceber um SEP para garantir a segurança do sistema nas contingências críticas com um investimento financeiro e complexidade compatíveis com um SEP provisório, visto que este será substituído quando da entrada em operação do bipolo Xingu / Terminal Rio. Com esse segundo bipolo, as lógicas serão migradas para o Controle Mestre, que terá um sistema de comunicação dedicado e interface com os dois bipolos.

A Figura 10 mostra os pontos monitorados pelo SEP. As ações após contingência dependem do sentido do fluxo nas linhas de transmissão envolvidas.

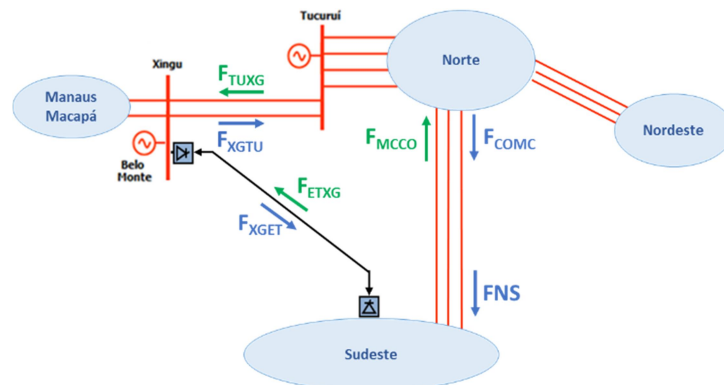


Figura 10 - Grandezas monitoradas pelo SEP

O SEP implantado considera as seguintes contingências:

- Perda simples (Lógica 1) e dupla (Lógica 2) na LT 500 kV Tucuruí / Xingu;
- Perda do bipolo Xingu Estreito (Lógica 3);
- Perda dupla na Interligação Norte / Sudeste (Lógica 4);
- Perda de Unidades Geradoras na UHE Belo Monte (Lógica 5).

As lógicas do SEP atuam quando de perda do bipolo ou de linhas da rede CA por meio de desligamento de unidades geradoras nas UHEs Belo Monte e Tucuruí e de ações de Run-Back (redução) ou Run-Up (elevação) de potência no bipolo, a uma taxa pré-definida de rampa de até 14.000 MW/s. Uma vantagem do bipolo Xingu / Estreito estar embutido na rede CA é a possibilidade de contribuir com o sistema em caso de contingências na Interligação Norte / Sudeste. Este é o caso da lógica 4 que realiza ação de Run-Up no bipolo para eliminar sobrecargas no circuito remanescente quando de perda dupla em qualquer trecho dessa interligação.

Além da complexidade inerente aos estudos do SEP, a implantação foi um grande desafio devido ao envolvimento de equipamentos de diversos Agentes, diferentes fabricantes e longas distâncias, aproximadamente 1455 km de canais de comunicação.

## 7.0 - CONCLUSÃO

As análises apresentadas neste trabalho mostram que os bipolos trazem uma série de benefícios elétricos e energéticos ao SIN, mas aumentam de forma significativa a complexidade da operação do sistema. Isso requer treinamento e atenção das equipes envolvidas para garantir a segurança e continuidade do suprimento de energia.

Um grande desafio associado a esses empreendimentos é o controle de tensão nos terminais e nas barras das subestações adjacentes. O consumo de potência reativa pelo bipolo para potências elevadas é superior a potência reativa fornecida pelos filtros, solicitando potência reativa do SIN e reduzindo a tensão. Por outro lado, para potências reduzidas, o fornecimento de reativo pelos filtros é superior ao consumo dos bipolos. Neste caso, há uma elevação da tensão. O desafio é operar o bipolo em uma faixa de potência em que o balanço de reativo entre o bipolo e o sistema seja favorável ao controle de tensão, considerando a disponibilidade de geração e respeitando os limites estabelecidos. Além disso, é importante maximizar a transferência de energia pelo bipolo para reduzir as perdas na transmissão.

Por estar embutido na rede CA, o bipolo Xingu / Estreito, e futuramente o bipolo Xingu / Terminal Rio, são alternativas rápidas de alteração do FNS, seja por ação coordenada em tempo real ou as ações automáticas associadas à contingência no sistema CA. Adicionalmente, destaca-se que este bipolo podem escoar energia das usinas do Norte para o Sudeste, bem como escoar energia do Sudeste para o Norte em outro período do ano.

Um desafio que surgirá com a entrada em operação do bipolo Xingu / Terminal Rio é a transferência de potência entre este e o bipolo Xingu / Estreito. Seja transferência manual ou automática, realizada pelo Controle Mestre após contingência de polo ou bipolo, o remanejamento de potência será controlado para atender as restrições dos sistemas receptores.

Embora a entrada em operação do bipolo Xingu / Estreito tenha minimizado as restrições para despacho das usinas da região Norte, principalmente da UHE Belo Monte, permanecem problemas importantes associados à deficiência da rede CA. Para minimizar as restrições de despacho nas usinas da região Norte, sem comprometimento da segurança operativa, foi necessária a concepção de um SEP com ações definidas pelo ONS e implantadas com a participação de diversos agentes do setor. Além da complexidade inerente aos estudos para definição das lógicas, a implantação do SEP foi um grande desafio pelo envolvimento de equipamentos de diversos Agentes e longas distâncias. A entrada do bipolo Xingu / Terminal Rio também ocorrerá sem o reforço previsto na rede CA. As ações do SEP atual foram revistas e as ações migradas para o Controle Mestre. Estão previstos testes reais no SEP, o que demandará grande esforço da operação para preparação do sistema. Para o Controle Mestre há um grande desafio por envolver mais agentes, equipamentos de diversos fabricantes e longas distâncias de canais de comunicação dedicados.

Outro aspecto importante, que está sendo avaliado e estudado, é a ocorrência de curto-circuito na rede de 500 kV da região Sudeste que podem provocar falhas de comutação nos vários polos de corrente contínua. A ocorrência deste fenômeno causa uma interrupção transitória do fornecimento de potência para o sistema que pode atingir grandes proporções. Este déficit de potência provoca uma resposta dinâmica no sistema que, em algumas situações, pode causar instabilidade no SIN com risco de colapso de tensão.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Fundamentos de Análise de Circuitos Elétricos. David E. Johnson, John L. Hilburn e Johny R. Johnson. Quarta edição, Prentice/Hall do Brasil.
- (2) Technical Report ABB, "Parâmetros do circuito principal, bipolo 1", 2008.

## 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



ANA BÁRBARA FERNANDES NEVES é Engenheira Eletricista, graduada pela Universidade Federal de Uberlândia em 2012 e com mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília em 2014. Trabalha no ONS desde 2014, atuando na Gerência de Análise e Procedimentos para Operação do Centro Nacional do Sistema (CNOS) e Centro de Regional de Operação Norte / Centro-Oeste (COSR-NCO).  
E-mail: aneves@ons.org.br  
Fone: (61) 3241-5331



BERNARD FERNANDES KÜSEL é Engenheiro Eletricista, graduado e Mestre pela Universidade de Brasília (UnB) em 2011 e 2014, respectivamente, e busca o título de Doutor em Engenharia Elétrica também pela UnB desde 2019. Trabalha no ONS desde 2012, atuando na Gerência de Pós Operação do CNOS/COSR-NCO.



E-mail: [bernard.kusel@ons.org.br](mailto:bernard.kusel@ons.org.br)  
 Fone: (61) 3241-5281



DELFINO MADURO ZARONI é Engenheiro Eletricista, graduado pela Universidade Federal Fluminense em 1982, com especialização em Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá em 1984 e MBA em Administração de Empresas pela PUC Rio em 2005. Trabalhou na Eletrobras de 1985 a 1999. Trabalha no ONS desde 2000, atualmente é gerente de Análise e Procedimentos para Operação do Centro Nacional do Sistema (CNOS) e Centro de Regional de Operação Norte / Centro-Oeste (COSR-NCO).

E-mail: [delfim@ons.org.br](mailto:delfim@ons.org.br)  
 Fone: (61) 3241-5255



EDINOEL PADOVANI é Engenheiro Eletricista, graduado pela Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos em 1984, com especialização em Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá em 2004 e especialização em Desenvolvimento Gerencial pela PUC Rio em 2012. Trabalhou na Engevix de 1986 a 1989 e na Eletronorte de 1989 a 2000. Trabalha no ONS desde 2000, atuando na Gerência de Análise e Procedimentos para Operação do Centro Nacional do Sistema (CNOS) e Centro de Regional de Operação Norte / Centro-Oeste (COSR-NCO).

E-mail: [edinoel@ons.org.br](mailto:edinoel@ons.org.br)  
 Fone: (61) 3241-5422



GUILHERME AMBONI é Engenheiro Eletricista, graduado pela Universidade de Brasília em 2003, especialização em Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá em 2009. Trabalha no ONS desde 2006, atuando na Gerência de Análise e Procedimentos para Operação do Centro Nacional do Sistema (CNOS) e Centro de Regional de Operação Norte / Centro-Oeste (COSR-NCO).

E-mail: [amboni@ons.org.br](mailto:amboni@ons.org.br)  
 Fone: (61) 3241-5430



KLEBER DE MELO E SILVA é Engenheiro Eletricista, graduado em 2004 pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), e Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela UFCG em 2005 e 2009, respectivamente. Em 2007, foi professor Visitante da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). De 2008 a 2009 foi professor efetivo do Instituto Federal da Paraíba (IFPB). Desde 2009 é professor no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília (UnB).

E-mail:

Fone:



ROBERTO LUIZ BERNARDO DA SILVA é Engenheiro Eletricista, graduado pela Universidade Federal de Mato Grosso em 1983, com especialização em Sistemas de Potência pela UNICAMP em 1989. Trabalhou na CEMAT de 1983 a 1985, na Eletronorte de 1985 a 1986, na Itaipu Binacional de 1987 a 1999, cedido ao CNOS da Eletrobrás de 1993 a 1998. Trabalha no ONS desde 1999, atuando na Gerência de Análise e Procedimentos para Operação do Centro Nacional do Sistema (CNOS) e Centro de Regional de Operação Norte / Centro-Oeste (COSR-NCO).

E-mail: [bob@ons.org.br](mailto:bob@ons.org.br)  
 Fone: (61) 3241-5426