

Modelo ANATEM do Master Control/SEP Associado ao Sistema de Transmissão HVDC de Belo Monte

- O modelo foi desenvolvido com base no relatório DPL-REL-0294/2019 (“Sistema Especial de Proteção (SEP) do Sistema de Transmissão em Corrente Contínua Associado à SE Xingu”), de fevereiro de 2020.
- O modelo deve ser usado com a versão 11.8.1 do ANATEM ou superior.
- O modelo detecta eventos aplicados através do comando DEVT, processa estes eventos, identifica as condições de atuação das lógicas e executa as ações do SEP automaticamente, sem necessidade de intervenção do usuário.
- O modelo deve ser declarado como um controlador não específico (código DCNE). O número do CDU deve ser 96000 e o número do DCNE deve ser 9992.
- O modelo pode ser desligado através do parâmetro #ON (ligado: #ON=1, desligado: #ON=0). Quando desligado, nenhuma ação automática é realizada.
- As lógicas 1, 2, 3, 4 e 5 possuem chaves específicas liga/desliga (#L1_ON, #L2_ON, #L3_ON, #L4_ON e #L5_ON).
- Ações executadas automaticamente pelo modelo:
 - ✓ Trip de unidades geradoras em Belo Monte (EXPORT STGER);
 - ✓ Trip de unidades geradoras em Tucuruí (EXPORT STGER);
 - ✓ Correção da reatância do transformador elevador de Belo Monte (EXPORT RTRF/ XTRF);
 - ✓ Correção da reatância dos transformadores elevadores de Tucuruí (EXPORT RTRF/XTRF);
 - ✓ Runup/Runback nos Bipolos Xingu-Estreito e Xingu-Terminal Rio (EXPORT CDU);
 - ✓ Bloqueio dos Bipolos Xingu-Estreito e Xingu-Terminal Rio (EXPORT CDU);
 - ✓ Trip do transformador de Xingu 500/230 kV (EXPORT STLIND/STLINP).
- As seguintes lógicas do SEP foram representadas no modelo:
 - Lógica 1 – Perda simples da LT Xingu - Tucuruí
 - Lógica 2 – Perda dupla da LT Xingu - Tucuruí
 - Lógica 3 – Bloqueio de bipolo ou do último polo
 - Lógica 4 – Perda dupla na interligação N/SE
 - Lógica 5 – Perda de geração na UHE Belo Monte

A tabela ao fim do documento apresenta maiores detalhes acerca das lógicas implementadas.

- As seguintes lógicas **não** foram representadas no modelo:
 - Lógica 6 – Desconexão do Bipolo 1 do sistema CA em Xingu

- Esquema local em Estreito de bloqueio do Bipolo 1 por desconexão do sistema CA (fora do SEP)
 - Esquema local em Estreito de alívio de carregamento dos disjuntores de interligação de barramento (fora do SEP)
- O tempo de atuação do SEP (Lógicas 1, 2, 3 e 5) é definido pelo usuário através dos parâmetros #TDROP (default: 150ms) para corte de máquina (Belo Monte e Tucuruí), #TDPO (default: 70ms) para ações de Runup, Runback e bloqueio de bipolo e #TTRF (default: 250ms) para o desligamento do transformador de Xingu 500/230 kV. Este tempo corresponde ao intervalo entre a contingência que dispara o SEP e o início da ação comandada automaticamente.
- Para a Lógica 4, o tempo entre a contingência na interligação Norte-Sudeste ou atuação da PPS da LT Gurupi - S.Mesa C1 e a chegada do sinal em Tucuruí e Xingu é dada pelo parâmetro #TL4 (default: 400ms). Os Runups serão comandados em TL4+TDPO (default: 470ms). O corte de máquina em Belo Monte será comandado em TL4+TDROP (default: 550ms). O corte em Tucuruí será comandado após um tempo dado pelo parâmetro #TL4TU (default: 50ms), ou seja, em TL4+TL4TU (default: 450ms).
- O tempo de comunicação entre estações é definido pelo usuário através do parâmetro #TTLC (default: 30ms). Esse tempo é usado para considerar o atraso no envio de ordens de Runup e Runback para o terminal retificador quando o sentido de transmissão de potência é Estreito→Xingu ou Terminal Rio→Xingu. Isso é necessário porque os Runups/Runbacks são aplicados sempre no terminal retificador, mas a detecção e processamento das contingências são feitos em Xingu. Neste caso, esse tempo se soma ao tempo #TDPO apresentado no item anterior.
- Foram disponibilizados parâmetros para o usuário informar ao SEP que a comunicação entre estações está em operação ou indisponível. O bipolo no qual a comunicação esteja indisponível fica impossibilitado de realizar Runups e Runbacks (margem igual a zero), conforme definido nas lógicas do SEP. Os parâmetros #TELC1 e #TELC2 (disponível: 1, indisponível: 0) se referem aos sistemas de comunicação entre estações dos Bipolos 1 e 2, respectivamente.
- Os fluxos pré-falta são medidos com base nos valores obtidos do caso de fluxo de potência, não sendo atualizados com a dinâmica do sistema. Como consequência, não é possível realizar eventos em cascata, ou seja, eventos que levem a atuação do SEP mais de uma vez durante a simulação.
- Runups/Runbacks são aplicados a uma taxa definida pelo parâmetro #TXDPO (default: 14000 MW/s).
- Runups/Runbacks são repartidos entre os bipolos em função das suas margens de Runup/Runback, conforme detalhado no relatório DPL-REL-0294/2019.
- A Lógica 3 considera a potência DC perdida e o patamar de FNS para o corte de geração em Belo Monte (quando a LT Xingu – Tucuruí está em operação). A potência DC perdida é

calculada com base nas margens de Runup (considerando o limite de curta-duração), conforme detalhado no relatório DPL-REL-0294/2019.

- O usuário pode definir as capacidades de curta-duração (5s) e de longa duração (30min) dos bipolos. Estes valores são dados em pu (na base 4000 MW se está em operação bipolar e 2000 MW se está em operação monopolar). Estes valores serão usados para calcular as margens de Runup dos bipolos. Diferentes valores são atribuídos para os Bipolos 1 e 2 e para os dois sentidos de transmissão de potência:

Bipolo 1:

#MX1XE = Capacidade de curta-duração no sentido X→E (default: 1.50 pu)

#CP1XE = Capacidade de longa-duração no sentido X→E (default: 1.33 pu)

#MX1EX = Capacidade de curta-duração no sentido E→X (default: 1.22625 pu)

#CP1EX = Capacidade de longa-duração no sentido E→X (default: 1.087275 pu)

Bipolo 2:

#MX2XR = Capacidade de curta-duração no sentido X→TR (default: 1.50 pu)

#CP2XR = Capacidade de longa-duração no sentido X→TR (default: 1.33 pu)

#MX2RX = Capacidade de curta-duração no sentido TR→X (default: 1.22625 pu)

#CP2RX = Capacidade de longa-duração no sentido TR→X (default: 1.087275 pu)

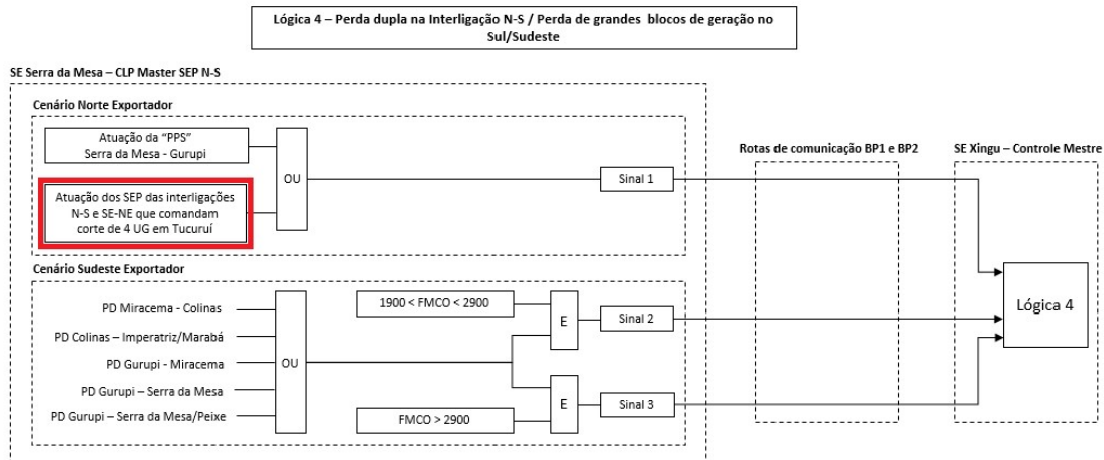
- O usuário pode definir limitações associadas aos sistemas CA associados aos bipolos. Estes valores também serão usados para calcular as margens de Runup dos bipolos:

#ACMX1 = Limitação do sistema AC terminal – Bipolo 1 (default: 9999 MW)

#ACMX2 = Limitação do sistema AC terminal – Bipolo 2 (default: 9999 MW)

- O SEP corta no máximo 7 UG em Belo Monte, pois esse é o número máximo de UGs selecionadas para corte na usina.
- O modelo efetua corte de máquina em Tucuruí. Como o SEP do sistema de transmissão em 765 kV associado à Itaipu 60 Hz também efetua corte de máquinas nessa usina, foi introduzido um bloco IMPORT CDU, associado a um EXPORT CDU gerado no modelo do SEP 765 kV.
- O SEP corta no máximo 4 UG em Tucuruí, pois esse é o número máximo de UGs selecionadas para corte na usina.
- A Lógica 4 é ativada pelo recebimento de sinais externos (Sinal 1, Sinal 2 ou Sinal 3). Estes sinais são originados no CLP Master de Serra da Mesa do SEP da interligação N/SE. Como o SEP da Interligação N/SE não está modelado no ANATEM, foi necessário representar parte das lógicas deste SEP no modelo do SEP de Belo Monte, para automatizar a sua atuação. A

única parte que não está automatizada no modelo é a parte marcada em vermelho no diagrama abaixo.



O Sinal 1 é ativado automaticamente quando a PPS da LT Gurupi – Serra da Mesa C1 for sensibilizada por oscilação de potência. O Sinal 1 também deveria ser ativado quando de contingências na interligação Norte – Sudeste que levasse ao corte de 4 UG em Tucuruí. Porém, esta parte não está representada no modelo e sua ativação deve ser feita por intermédio do comando TCDU no código DEVT, conforme mostrado abaixo:

```
( Ativação do Sinal 1 da Lógica 4 do SEP (variável L4RUP1)
(
(Tp) ( Tempo)( EL )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (B1)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
TCDU 0.1      96000      1      4000
)
```

O Sinal 1 efetua um Runup de 1000 MW e, se não houver margem suficiente, pode efetuar o corte de UG em Belo Monte. O sinal também comanda o corte de 4 UG em Tucuruí.

O Sinal 1 é inibido por 10s quando há atuação da Lógica 3.

Os Sinais 2 e 3 são ativados automaticamente quando de perdas duplas na interligação Norte – Sudeste. Se um circuito estiver previamente desligado no caso de fluxo de potência e ocorrer a perda do outro circuito, isso também caracterizará uma perda dupla e o sinal será ativado. Quando existirem três circuitos em paralelo, na ocorrência de uma perda tripla, o sinal de perda dupla também será ativado.

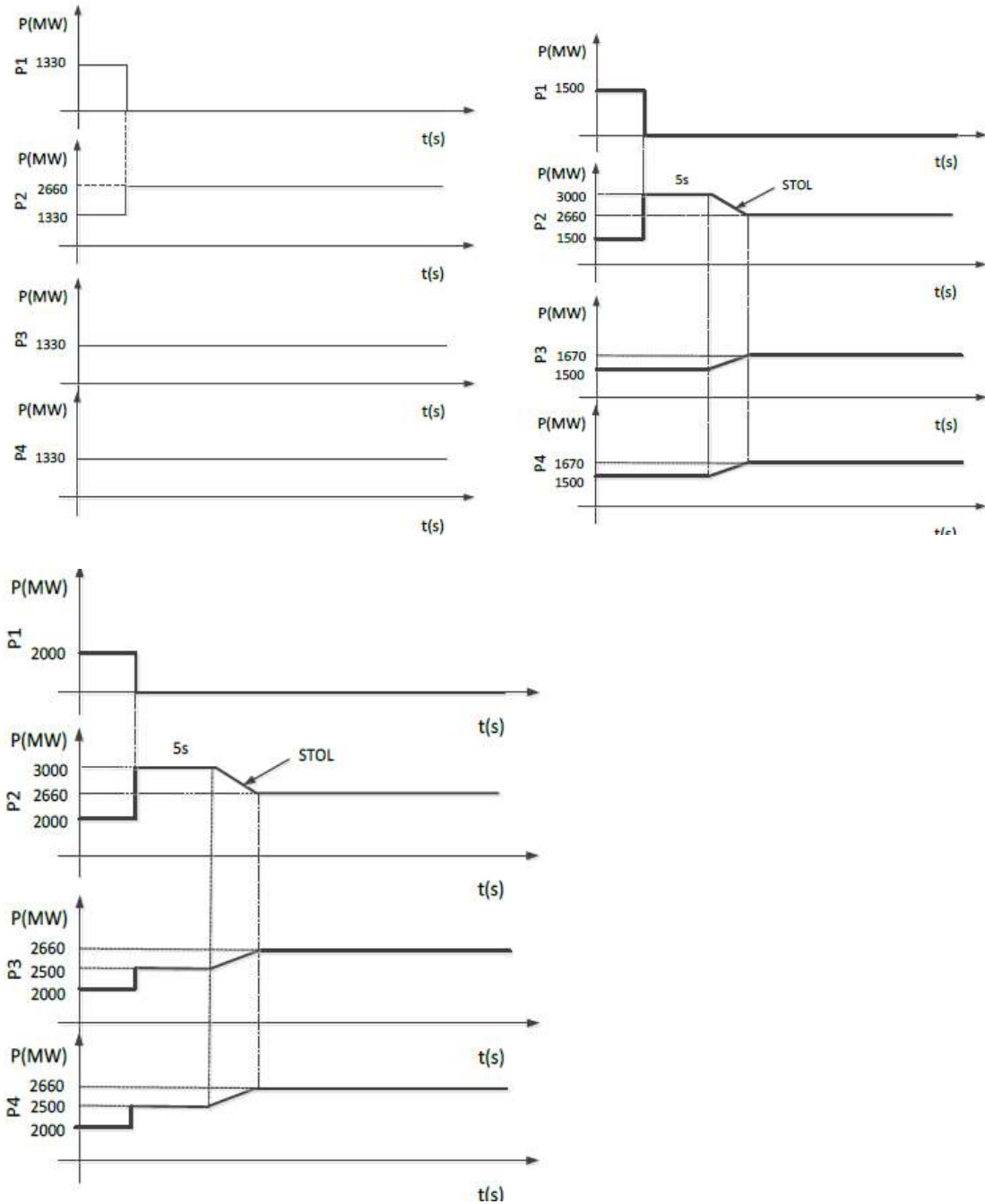
Os Sinais 2 e 3 são pré-habilitados somente se pelo menos um dos circuitos entre Xingu e Tucuruí estiver em operação.

O Sinal 2 é ativado quando o fluxo FMICO estiver entre 1900 MW e 2900 MW (Sudeste Exportador). Este sinal comanda um Runup de 1000 MW.

O Sinal 3 é ativado quando FMICO for superior a 2900 MW (Sudeste Exportador). Este sinal comanda um Runup de 2100 MW.

- A perda de um polo é compensada dentro de cada bipolo individualmente até a capacidade de sobrecarga de curta duração do polo remanescente. Essa ação é realizada pelos Station

Control de cada bipolo. A potência não atendida pelo polo remanescente é enviada pelo Master Control para o outro bipolo, limitado à sua margem de Runup. Se o outro bipolo não tiver capacidade de assumir todo o excedente, a potência não atendida é absorvida pelo sistema CA, ou seja, não é efetuado corte de máquina nessa situação. Pode haver atuação do limitador de sobrecarga do polo remanescente (se a sobrecarga de curta duração for demandada). Neste caso, a potência que vai deixando de ser atendida é automaticamente transferida para o outro bipolo, sendo esta ação também realizada pelo Master Control. As possíveis situações são mostradas nas figuras abaixo:



Lógica	Evento	Condição de atuação	Ações realizadas pelo modelo
Lógica 1A1	<ul style="list-style-type: none"> Perda simples da Xingu - Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Norte exportador Fluxo Xingu → Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Runup BP1/BP2 Corte de máquinas em Belo Monte Correção da impedância do transformador elevador
Lógica 1A2	<ul style="list-style-type: none"> Perda simples da Xingu - Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Norte exportador Fluxo Tucuruí → Xingu 	<ul style="list-style-type: none"> Runback BP1/BP2
Lógica 1B1	<ul style="list-style-type: none"> Perda simples da Xingu - Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Sudeste exportador Fluxo Xingu → Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Runback BP1/BP2
Lógica 2A1	<ul style="list-style-type: none"> Perda dupla da Xingu - Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Norte exportador Fluxo Xingu → Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Runup BP1/BP2 Corte de máquinas em Belo Monte Correção da impedância do transformador elevador Trip do Trafo Xingu 500/230 kV
Lógica 2A2	<ul style="list-style-type: none"> Perda dupla da Xingu - Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Norte exportador Fluxo Tucuruí → Xingu 	<ul style="list-style-type: none"> Runback BP1/BP2 Bloqueio BP1/BP2 Sinal de inibição da Lógica 3 Corte de máquinas em Tucuruí Correção da impedância do transformador elevador Trip do Trafo Xingu 500/230 kV
Lógica 2B1	<ul style="list-style-type: none"> Perda dupla da Xingu - Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Sudeste exportador Fluxo Xingu → Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Runback BP1/BP2 Bloqueio BP1/BP2 Sinal de inibição da Lógica 3 Trip do Trafo Xingu 500/230 kV
Lógica 2B2	<ul style="list-style-type: none"> Perda dupla da Xingu - Tucuruí 	<ul style="list-style-type: none"> Sudeste exportador Fluxo Tucuruí → Xingu 	<ul style="list-style-type: none"> Runup BP1/BP2 Trip do Trafo Xingu 500/230 kV
Lógica 3	<ul style="list-style-type: none"> Perda de bipolo 	<ul style="list-style-type: none"> Potência DC pré-falta Margem de Runup 	<ul style="list-style-type: none"> Runup BP1/BP2
		<ul style="list-style-type: none"> Potência DC perdida Patamar de FNS Norte exportador Status da LT Xingu-Tucuruí Sinal permissivo da Lógica 2 	<ul style="list-style-type: none"> Corte de máquinas em Belo Monte Correção da impedância do transformador elevador Inibe Sinal 1 da Lógica 4 Corte de máquinas em Tucuruí Correção da impedância do transformador elevador

Lógica	Evento	Condição de atuação	Ações realizadas pelo modelo
Lógica 4	<ul style="list-style-type: none"> Atuação da PPS da LT Gurupi – S.Mesa C1 Ativação manual do Sinal 1 Perdas duplas na interligação N/SE 	<ul style="list-style-type: none"> Status da LT Xingu-Tucuruí <ul style="list-style-type: none"> Patamar de FMICO Sinal permissivo da Lógica 3 	<ul style="list-style-type: none"> Runup BP1/BP2 Corte de máquinas em Belo Monte Correção da impedância do transformador elevador Corte de máquinas em Tucuruí Correção da impedância do transformador elevador
Lógica 5	<ul style="list-style-type: none"> Perda de UG em Belo Monte 	<ul style="list-style-type: none"> LT Xingu-Tucuruí aberta <ul style="list-style-type: none"> Norte exportador 	<ul style="list-style-type: none"> Runback BP1/BP2
		<ul style="list-style-type: none"> LT Xingu-Tucuruí aberta <ul style="list-style-type: none"> Sudeste exportador 	<ul style="list-style-type: none"> Runup BP1/BP2