



Impacto da implantação de BESS adjacente a um grande centro de carga (RJ)

BLOCO 2

Power Consult

Carlos Eduardo Vizeu, João Carlos Ayres

EPPEI

China Electric Power Planning & Engineering Institute

PD 10307-0222/2023

Pesquisa de aplicação de sistemas de armazenamento de energia de baterias (BESS) no sistema de transmissão.

IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE BESS ADJACENTE A UM GRANDE CENTRO DE CARGA

QUAL CAPACIDADE? → DECISÃO POR UM BESS DE 1000 MW

ONDE? → NA SUBESTAÇÃO 500/138 kV
NOVA IGUAÇU (RJ)

MOTIVO? → POSIÇÃO ESTRATÉGICA

POR QUE ESTRATÉGICA? → PERMITE EXPLORAR DIVERSOS ATRIBUTOS DO BESS
NAQUELA POSIÇÃO ESPECÍFICA



IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE BESS ADJACENTE A UM GRANDE CENTRO DE CARGA

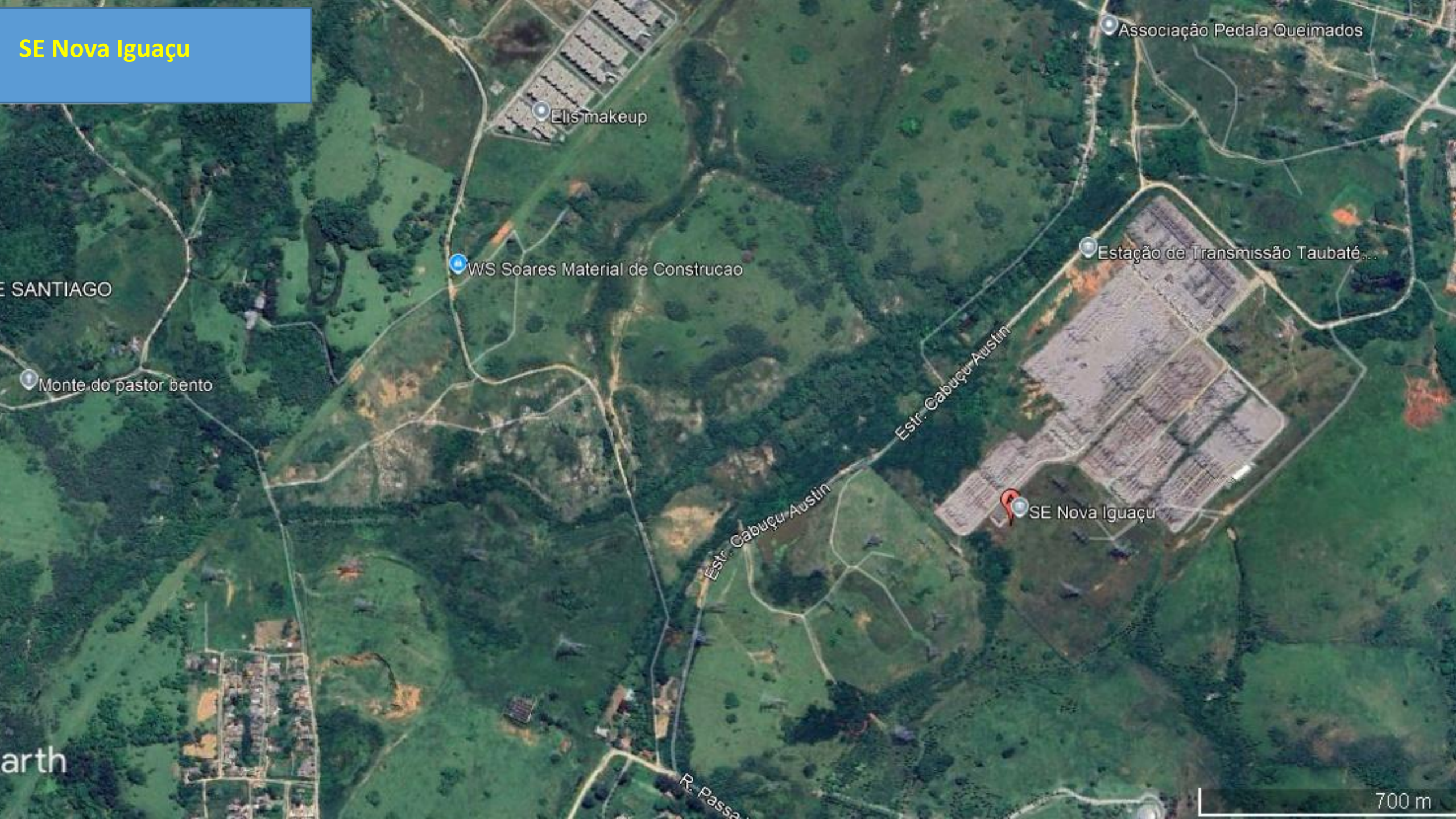
(AVALIAÇÃO DE UM BESS DE 1000 MW NA SUBESTAÇÃO 500/138 kV NOVA IGUAÇU)

ATRIBUTOS:

- ***AUXILIA NO ATENDIMENTO À PONTA DO SISTEMA***
- ***ACELERA A RECOMPOSIÇÃO DOS SERVIÇOS AUXILIARES DAS UTNs DE ANGRA***
- ***REDUZ AS FALHAS DE COMUTAÇÃO DA ESTAÇÃO CONVERSORA TERMINAL RIO***
- ***PERMITE RECOMPOR O SISTEMA COM A ESTAÇÃO CONVERSORA TERMINAL RIO***
- ***PERMITE O ADIAMENTO DO TRANSFORMADOR 500/138 kV-900 MVA DE NOVA IGUAÇU***
- ***AUXILIA NA ESTABILIDADE DO SISTEMA E NO CONTROLE DE TENSÃO***



SE Nova Iguaçu



Associação Pedala Queimados

Elis makeup

WS Soares Material de Construcao

Estação de Transmissão Taubaté...

E SANTIAGO

Monte do pastor bento

Estr. Cabuçu-Austin

Estr. Cabuçu-Austin

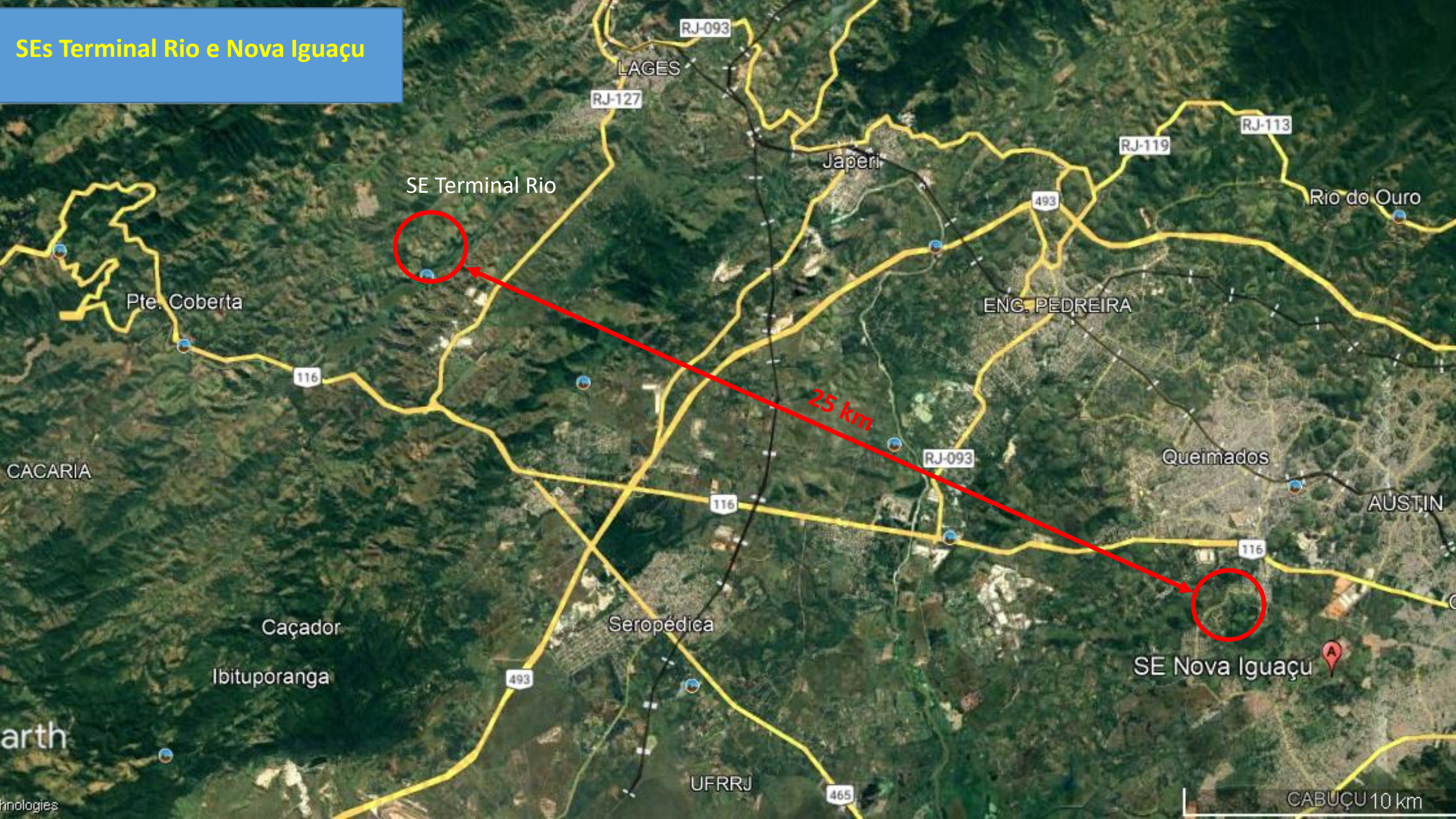
SE Nova Iguaçu

arth

R. Passa...

700 m

SEs Terminal Rio e Nova Iguaçu



SE Terminal Rio

Legenda

- Linhas de Transmissão R
- SE Terminal Rio
- Sítio das Andorinhas
- XRTE



EC Terminal Rio - XRTE

Sítio das Andorinhas

Estrada Floresta

Linhas de Transmissão Rio - Paracambi

XRTE - Xingu-Rio Transmissora de...

SE Terminal Rio

400 m

arth

MAPA EPE – POSIÇÃO GEOGRÁFICA DOS PONTOS-CHAVE CONSIDERADOS PARA A APLICAÇÃO DO BESS EM MULTI-FUNÇÃO

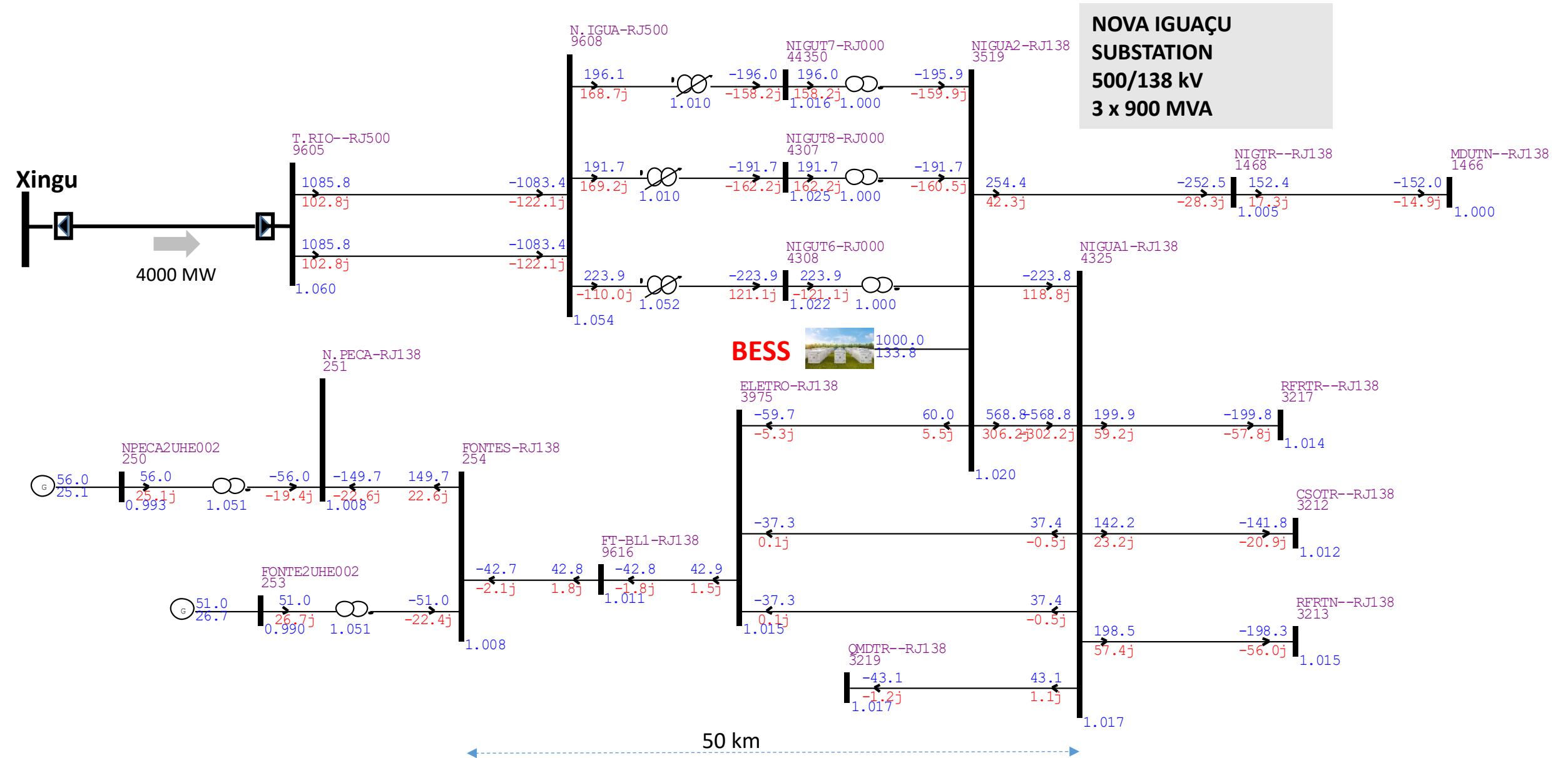


INSTALAÇÃO DE UM BESS DE 1000 MW NA SUBESTAÇÃO NOVA IGUAÇU

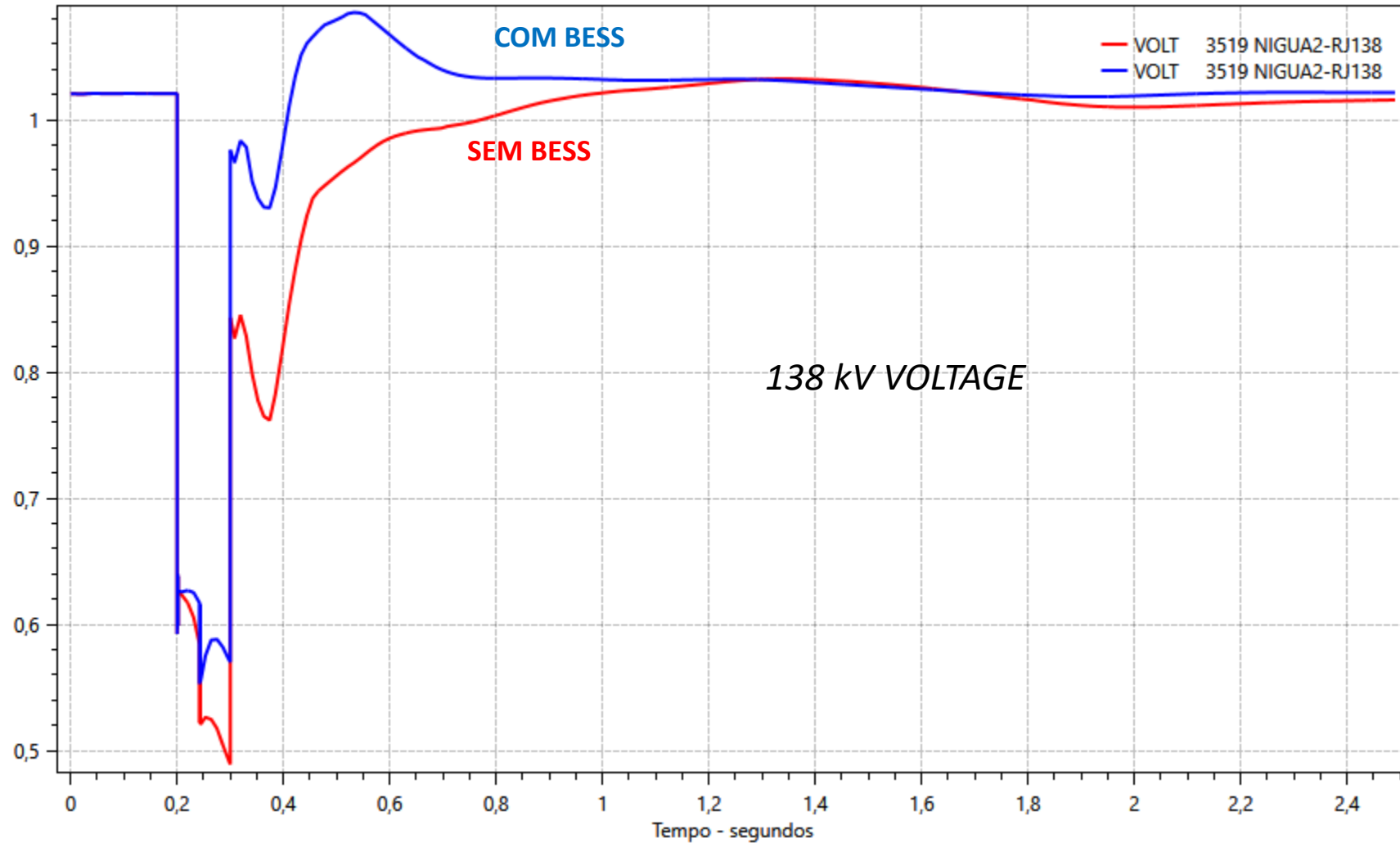
ANÁLISES DE REGIME PERMANENTE E DINÂMICO



ONS PARPEL 2024-2028_CARGA PESADA_VERÃO 2025/2026 - Caso com BESS de 1000 MW instalado na SE Nova Iguaçu

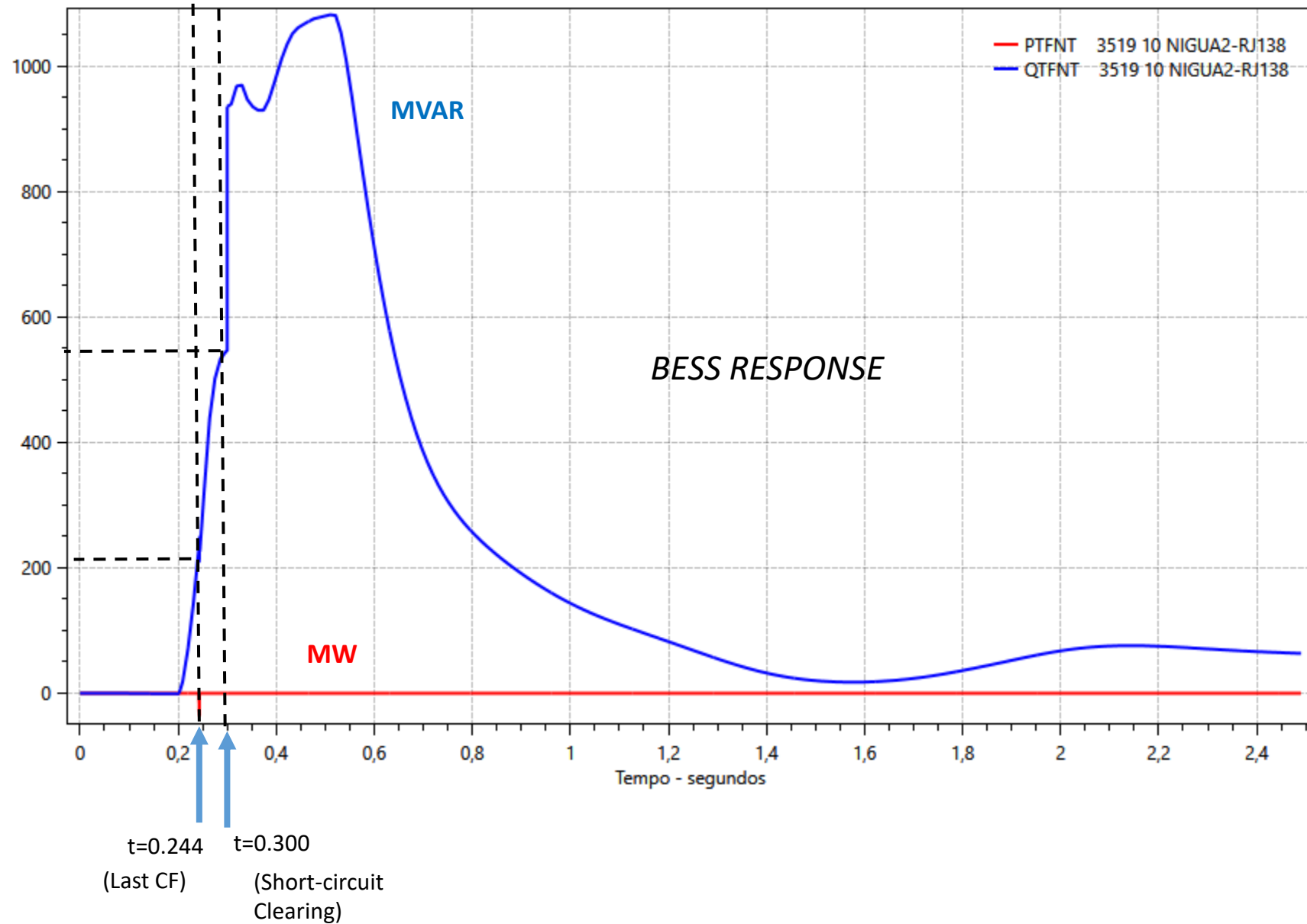


ONS PARPEL 2024-2028_CARGA PESADA_VERÃO 2025/2026 - Caso com um BESS de 1000 MW instalado na SE Nova Iguaçu
*** Emergencia: Perda do transformador 500/138 kV-900 MVA ***



ONS PARPEL 2024-2028_CARGA PESADA_VERÃO 2025/2026 - Caso com um BESS de 1000 MW instalado na SE Nova Iguaçu

*** Emergencia: Perda do transformador 500/138 kV-900 MVA ***



FALHAS DE COMUTAÇÃO NAS SUBESTAÇÕES CONVERSoras LCC UHVDC DURANTE O CURTO-CIRCUITO EM LT DE 500 kV

SEM BESS

T= 0.2000s APCC - Aplicou afundamento de tensão na barra 27 CPAUL2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 1202 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 1204 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 1206 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 1208 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 3206 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 3208 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2020s RECUPERACAO - Conversor 1202 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2020s RECUPERACAO - Conversor 1204 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2020s FALHA COMUTACAO - Conversor 3202 da barra 3010 ESTREI-MG500

T= 0.2020s FALHA COMUTACAO - Conversor 3204 da barra 3010 ESTREI-MG500

T= 0.2030s RECUPERACAO - Conversor 3202 da barra 3010 ESTREI-MG500

T= 0.2030s RECUPERACAO - Conversor 3204 da barra 3010 ESTREI-MG500

T= 0.2230s RECUPERACAO - Conversor 1206 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2230s RECUPERACAO - Conversor 1208 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2410s RECUPERACAO - Conversor 3206 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2410s RECUPERACAO - Conversor 3208 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2420s FALHA COMUTACAO - Conversor 3206 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2420s FALHA COMUTACAO - Conversor 3208 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2430s RECUPERACAO - Conversor 3206 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2430s RECUPERACAO - Conversor 3208 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.3000s RMCB - Removeu curto-circuito da barra 27 CPAUL2-SP500

T= 0.3000s ABCI - Abrir circuito 105 ANGRA--RJ500 27 CPAUL2-SP500 1

COM BESS

T= 0.2000s APCC - Aplicou afundamento de tensão na barra 27 CPAUL2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 1202 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 1204 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 1206 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 1208 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 3206 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2010s FALHA COMUTACAO - Conversor 3208 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2020s RECUPERACAO - Conversor 1202 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2020s RECUPERACAO - Conversor 1204 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2020s RECUPERACAO - Conversor 1206 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2020s RECUPERACAO - Conversor 1208 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2030s FALHA COMUTACAO - Conversor 1206 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2030s FALHA COMUTACAO - Conversor 1208 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2230s RECUPERACAO - Conversor 1206 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2230s RECUPERACAO - Conversor 1208 da barra 7057 ARARQ2-SP500

T= 0.2430s RECUPERACAO - Conversor 3206 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2430s RECUPERACAO - Conversor 3208 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2440s FALHA COMUTACAO - Conversor 3206 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2440s FALHA COMUTACAO - Conversor 3208 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2450s RECUPERACAO - Conversor 3206 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.2450s RECUPERACAO - Conversor 3208 da barra 9605 T.RIO--RJ500

T= 0.3000s RMCB - Removeu curto-circuito da barra 27 CPAUL2-SP500

T= 0.3000s ABCI - Abrir circuito 105 ANGRA--RJ500 27 CPAUL2-SP500 1

SEM FALHA DE COMUTAÇÃO
NA CONVERSORA DE
ESTREITO



INSTALAÇÃO DE UM BESS DE 1000 MW NA SUBESTAÇÃO NOVA IGUAÇU

RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA APÓS UM BLECAUTE



MAPA EPE – POSIÇÃO GEOGRÁFICA DOS PONTOS-CHAVE CONSIDERADOS PARA A APLICAÇÃO DO BESS EM MULTI-FUNÇÃO





**Operador Nacional
do Sistema Elétrico**

**PERTURBAÇÃO NO
SISTEMA INTERLIGADO
BRASILEIRO NO DIA
10 DE NOVEMBRO DE 2009
ÀS 22h13min**

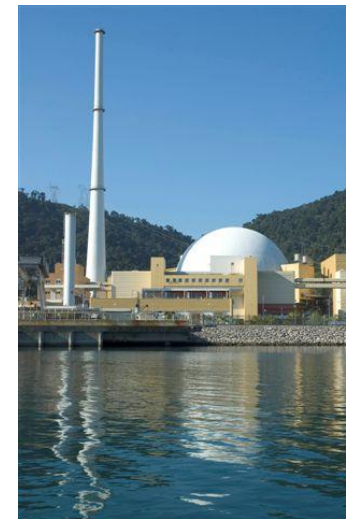
Seqüência das desconexões devido ao distúrbio



Colapso de tensão no RJ, ES e SP logo após a perda das interligações regionais -> Blackout

Blackout causa bloqueio das usinas nucleares Angra 1 e 2

Às **22h13**, as usinas nucleares foram desconectadas da rede devido ao blecaute e perderam as duas fontes de seu serviço auxiliar, que são responsáveis por abastecer as bombas de refrigeração do reator.



Com a perda do fornecimento externo, os **geradores a diesel de emergência** das usinas foram ativados para operar automaticamente.

As **bombas** que resfriam o reator nuclear **foram desligadas** e o resfriamento passou a ser realizado por **circulação natural**. Por esse motivo, a usina nuclear declarou, às **22h15**, o estado de '**evento incomum**' em ambas as unidades.

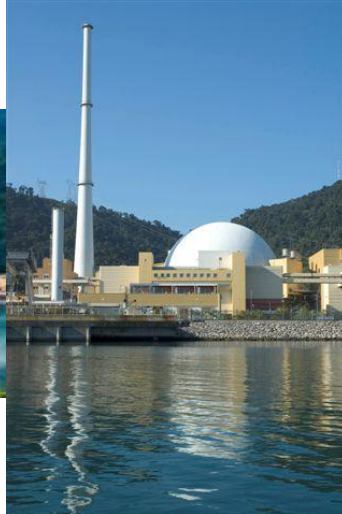
Às **23h15**, a falta do retorno esperado do fornecimento externo de energia levou a usina nuclear a evoluir a classificação da situação para um '**estado de alerta**'

Com o retorno do fornecimento externo às **2h05 do dia seguinte (4 horas depois!)**, foi possível reiniciar as bombas de resfriamento do reator de Angra I e, às **4h10**, as bombas de resfriamento de Angra II

O retorno das duas usinas à rede foi realizado às **17h50** (Angra 1) e às **18h57** (Angra 2) nesta quarta-feira (11).

Blackout causa bloqueio das usinas nucleares Angra 1 e 2

Qual é o custo para a sociedade de um vazamento de radiação atômica de um reator nuclear próximo a áreas densamente povoadas?



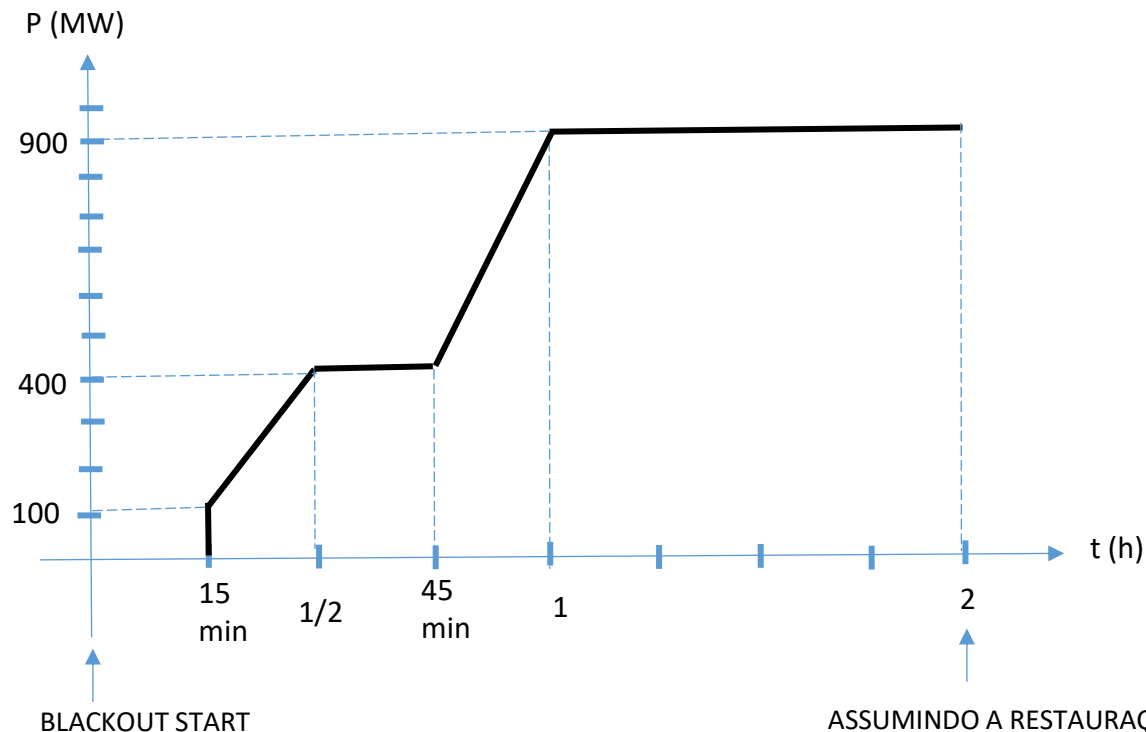
➡ Resposta: ?????

Qual o custo para a sociedade de uma súbita interrupção no fornecimento de energia (sob o ponto de vista do consumidor)?

➡ Resposta: **Custo de interrupção**

CUSTO DE INTERRUPÇÃO EVITADO COM O USO DE BESS NA RECOMPOSIÇÃO FLUENTE DO SISTEMA

CURVA DE CONEXÃO DE CARGA



FATORES DE PARTICIPAÇÃO NA CURVA DE CARGA:

Residencial: 29,7 %

Comercial: 10,9 %

Industrial: 59,4 %

CUSTO ASSOCIADO A: 400 MW por 30 min + 900 MW por 60 min

ASSUMINDO A RESTAURAÇÃO
DOS SERVIÇOS AUXILIARES DAS
USINAS NUCLEARES

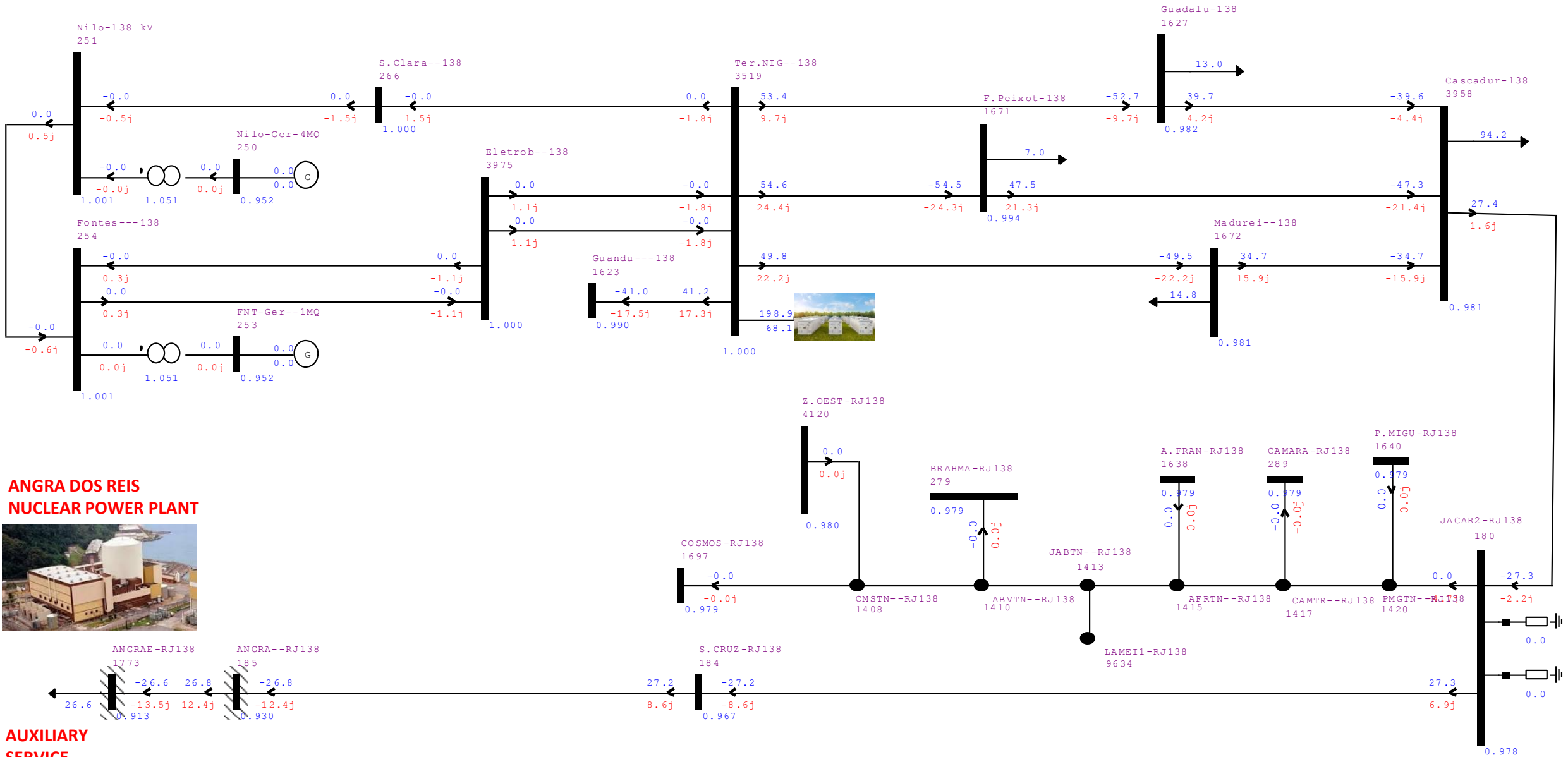
CUSTO DE INTERRUPÇÃO (IC400) = $(3,81 \times 0.297 + 155,71 \times 0.109 + 18,65 \times 0.594) \times 400,000 \times 0.5 = 5.8$ US\$ milhões

CUSTO DE INTERRUPÇÃO (IC900) = $(3,81 \times 0.297 + 155,71 \times 0.109 + 18,65 \times 0.594) \times 900,000 \times 0.5 = 26.3$ US\$ milhões

CUSTO DE INTERRUPÇÃO TOTAL (ICTOTAL) = $(5.8 + 26.3) \times 1.31 \times 6.0 = 252$ R\$ milhões

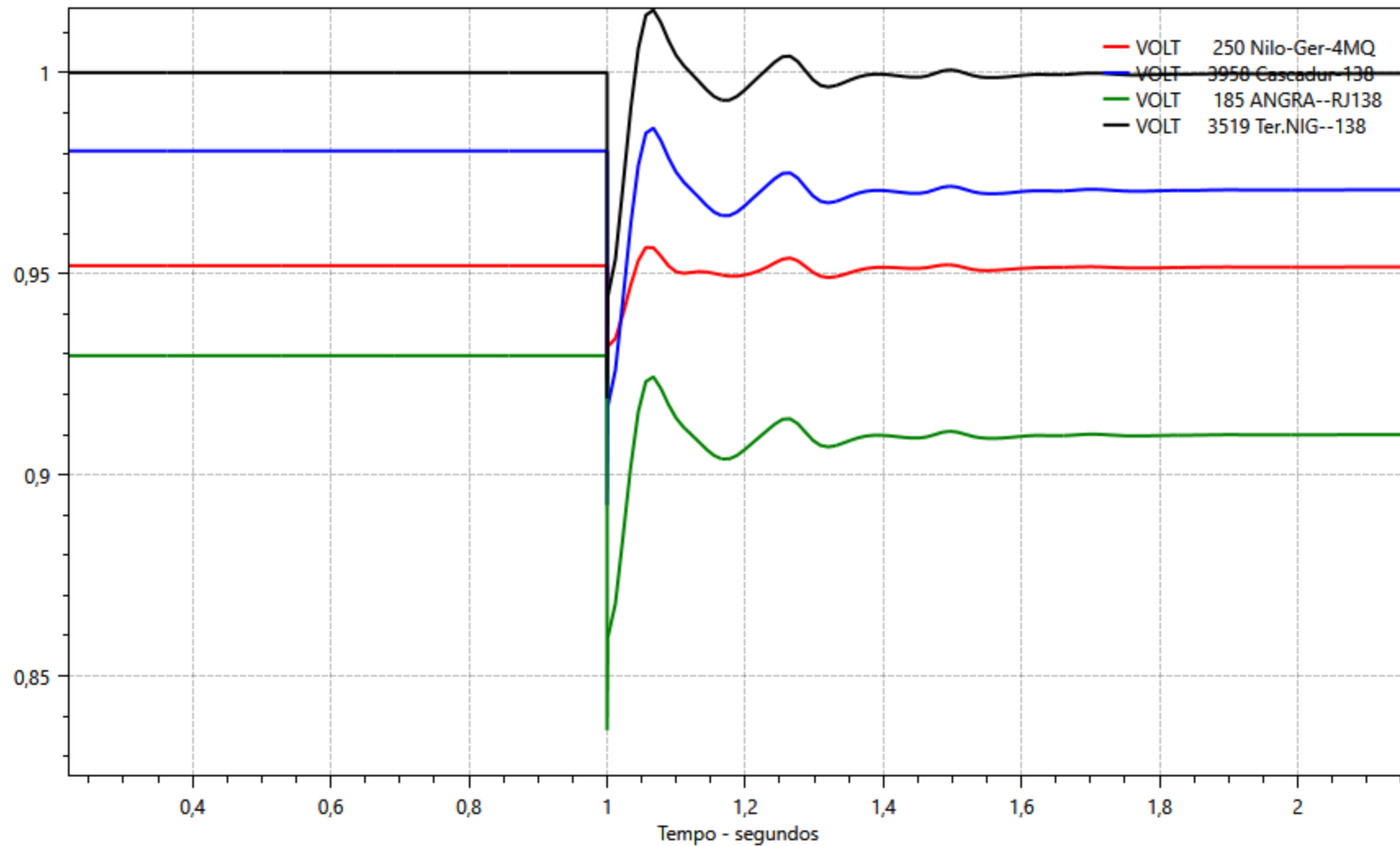
ONS PARPEL 2024-2028_CARGA PESADA_VERÃO 2025/2026

Recomposição do sistema após um blecaute usando BESS em Nova Iguaçu (Black start remoto da usina de Nilo Peçanha)



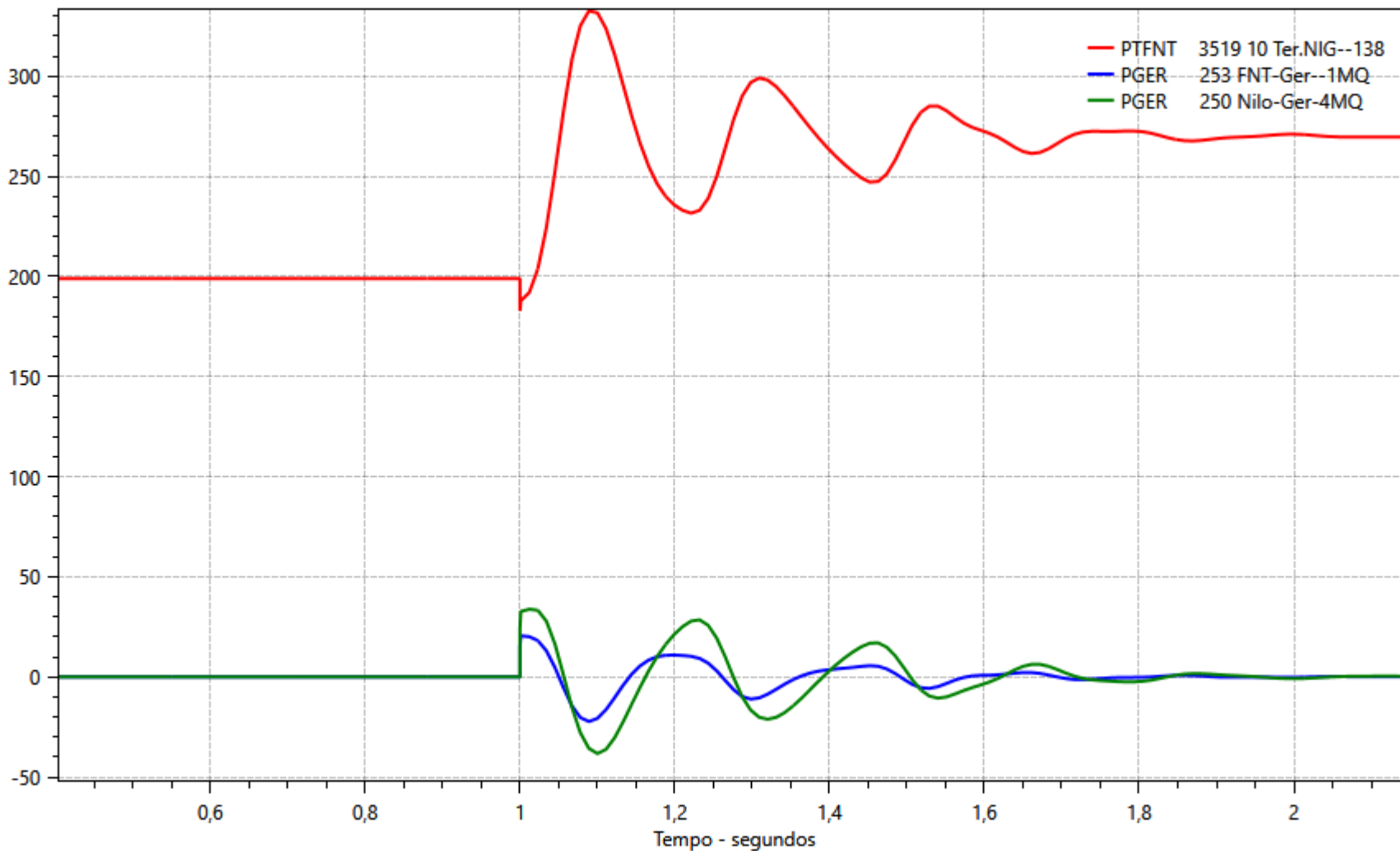
CARGA PESADA_VERÃO 2025/2026

Recomposição do sistema usando BESS: conexão da subestação Padre Miguel: 76+j21 MVA



CARGA PESADA_VERÃO 2025/2026

Recomposição do sistema usando BESS: conexão da subestação Padre Miguel: 76+j21 MVA



INSTALAÇÃO DE UM BESS DE 1000 MW NA SUBESTAÇÃO NOVA IGUAÇU

RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA APÓS UM BLECAUTE

BESS PARA AUXILIAR A PARTIDA DO ELO CC PARA PARTICIPAR DA RECOMPOSIÇÃO



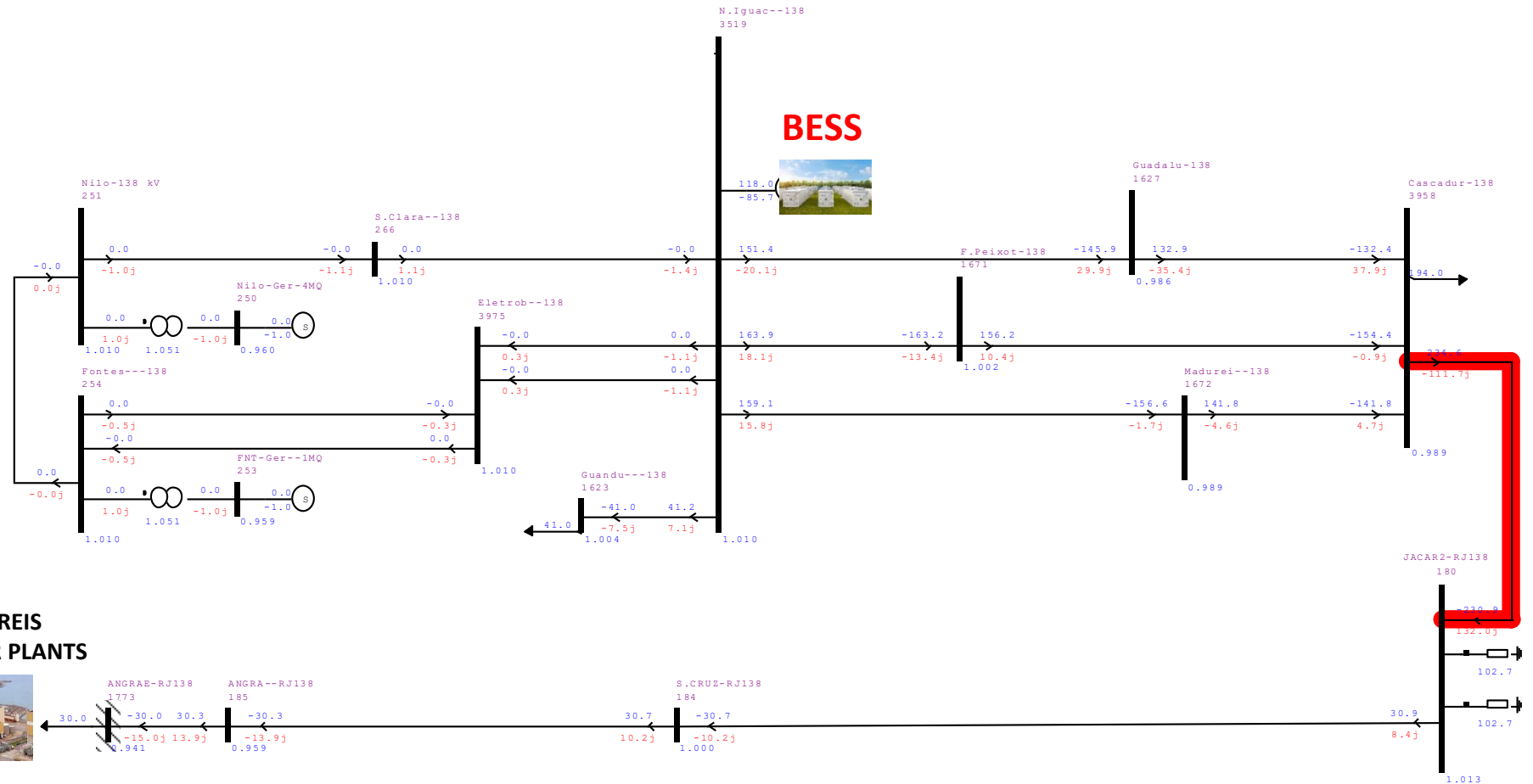
ANÁLISE DE REGIME PERMANENTE

RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA USANDO BESS E ELO LCC UHVDC – Verão 2025/2026-Carga Pesada

NORTH/NORTHEAST
REGIONS
ARE ON

NOVA IGUAÇU
SUBSTATION

SOUTHEAST/CENTRAL-WEST
REGIONS
AT BLACKOUT



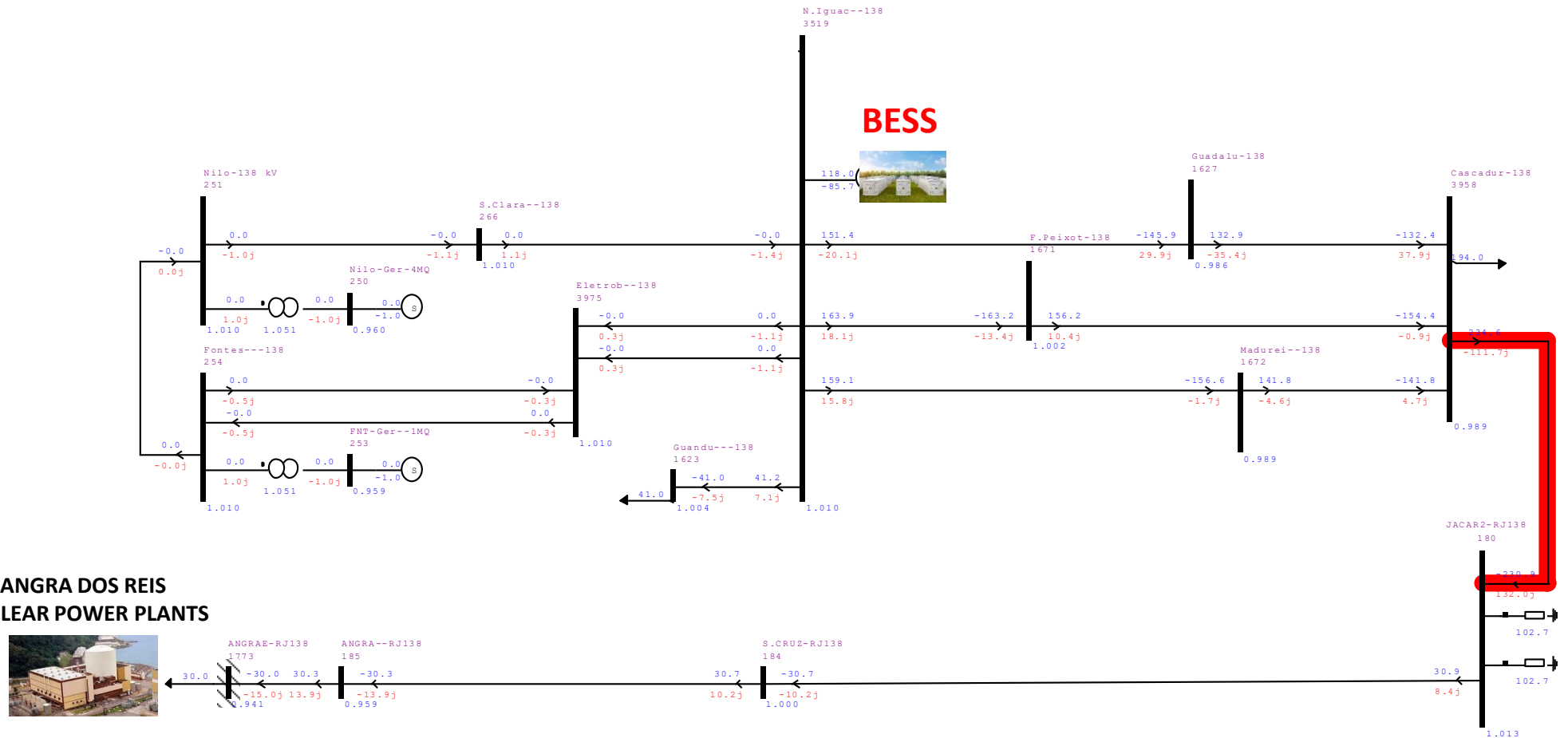
ANGRA DOS REIS
NUCLEAR POWER PLANTS



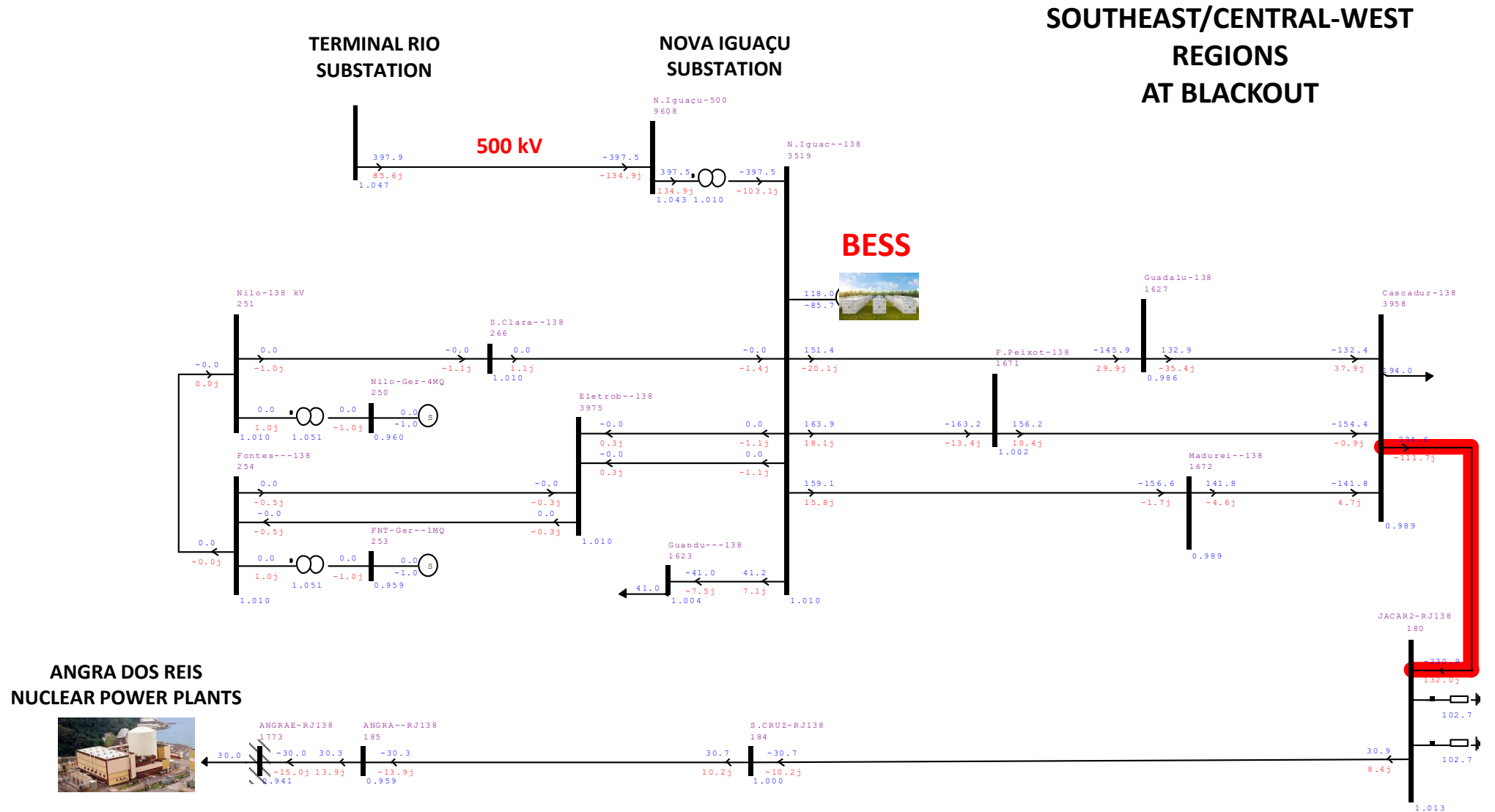
RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA USANDO BESS E ELO LCC UHVDC – Verão 2025/2026-Carga Pesada

NOVA IGUAÇU
SUBSTATION

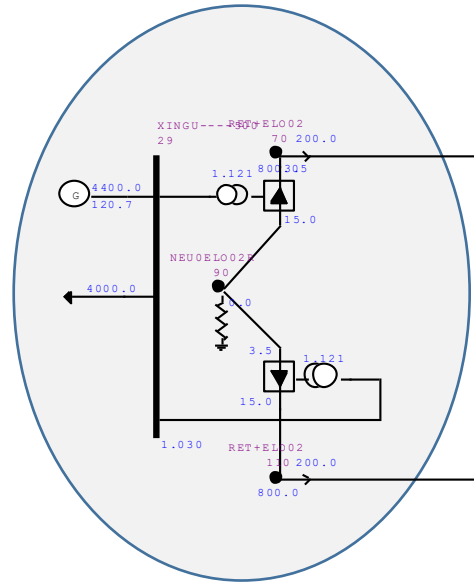
SOUTHEAST/CENTRAL-WEST
REGIONS
AT BLACKOUT



RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA USANDO BESS E ELO LCC UHVDC – Verão 2025/2026-Carga Pesada

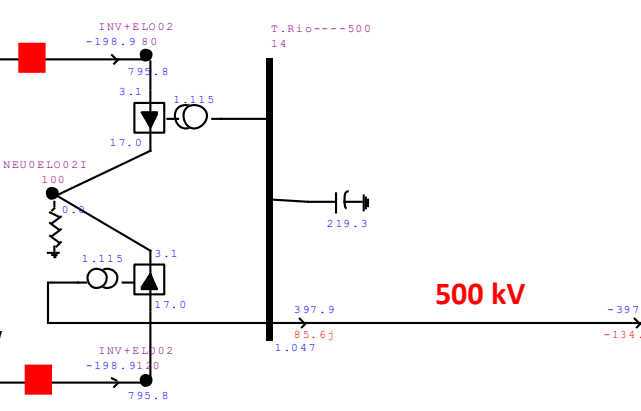


RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA USANDO BESS E ELO LCC UHVDC – Verão 2025/2026-Carga Pesada



200 MW

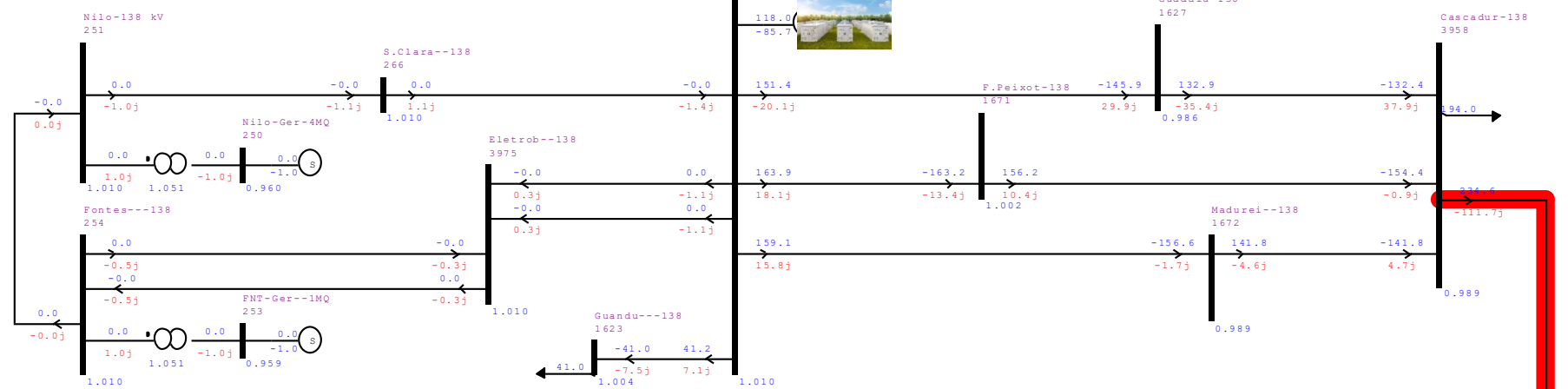
200 MW



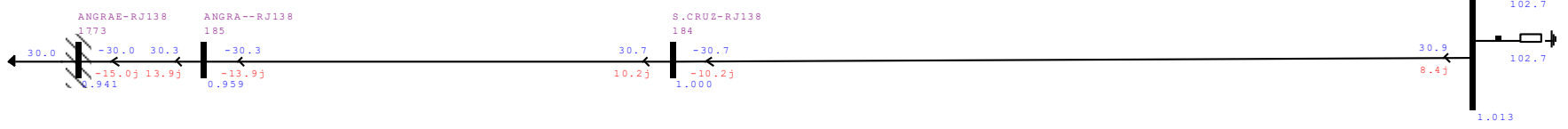
500 kV

SOUTHEAST/CENTRAL-WEST REGIONS AT BLACKOUT

BESS



ANGRA DOS REIS NUCLEAR POWER PLANTS



ANÁLISE DINÂMICA

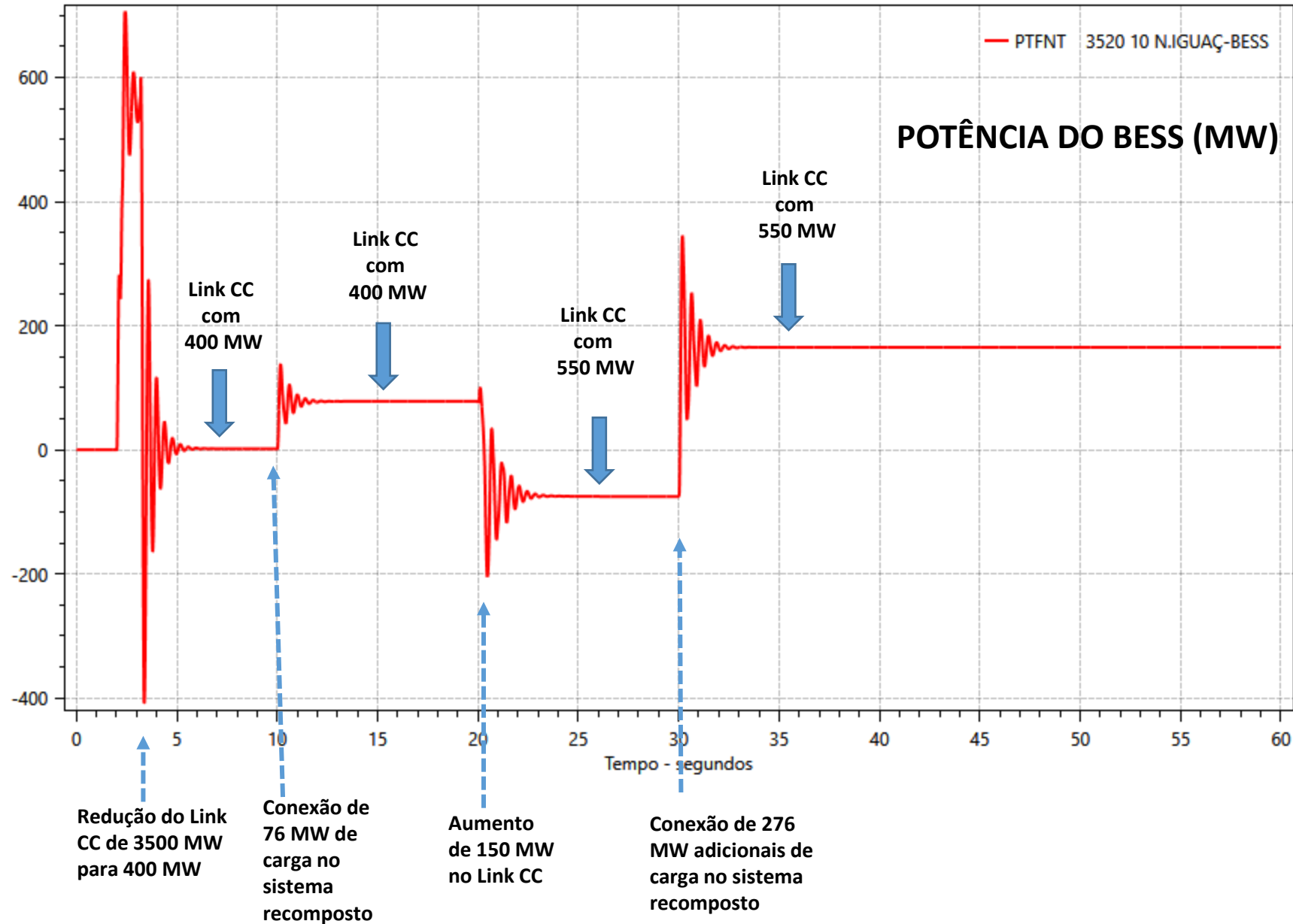
T= 2.0 s → Elo CC reduz de 3500 MW para 400 MW

T= 10.0 s → Conexão de 76 MW de carga no sistema recomposto

T= 20.0 s → Incremento de 150 MW no elo CC

T= 30.0 s → Conexão adicional de 276 MW de carga no sistema recomposto

RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA USANDO BESS E DC LINK LCC – Verão 2025/2026 - Carga Pesada



INSTALAÇÃO DE UM BESS DE 400 MW NA SUBESTAÇÃO NOVA IGUAÇU

BESS COMO UMA ALTERNATIVA DE REFORÇO EM SUBESTAÇÃO DE TRANSMISSÃO

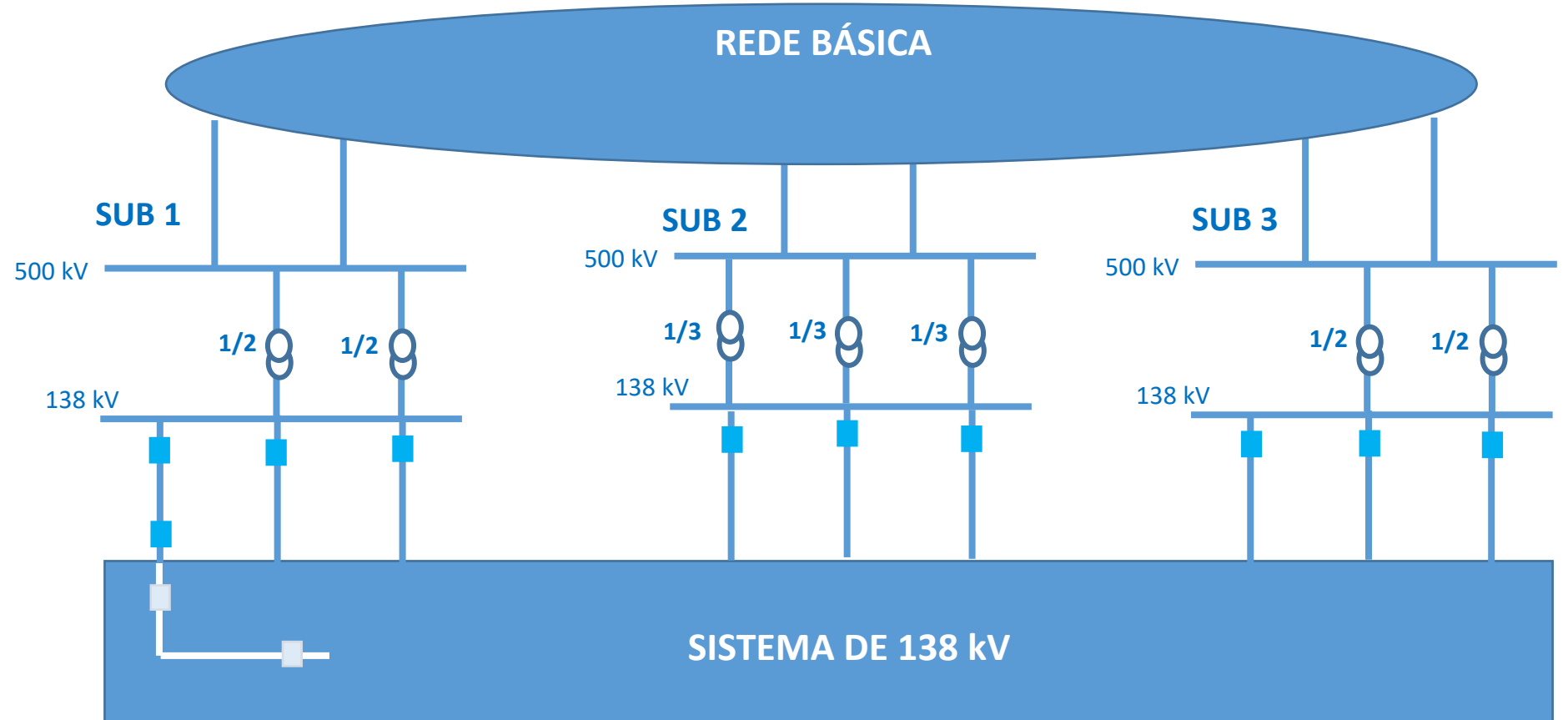
- POSTERGAÇÃO DO TERCEIRO TRANSFORMADOR 500/138 kV-900MVA DA SUBESTAÇÃO
- POSTERGAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DE DISJUNTORES DE 138 kV



BESS COMO UMA ALTERNATIVA DE REFORÇO EM SUBESTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Custo de Equipamentos

Equipamento	R\$ mi
3º TR 500/138 kV-900 MVA	70
Modulo 500 kV	15
Modulo 138 kV	7
Nova SE 500/138 kV-2x900 MVA	303



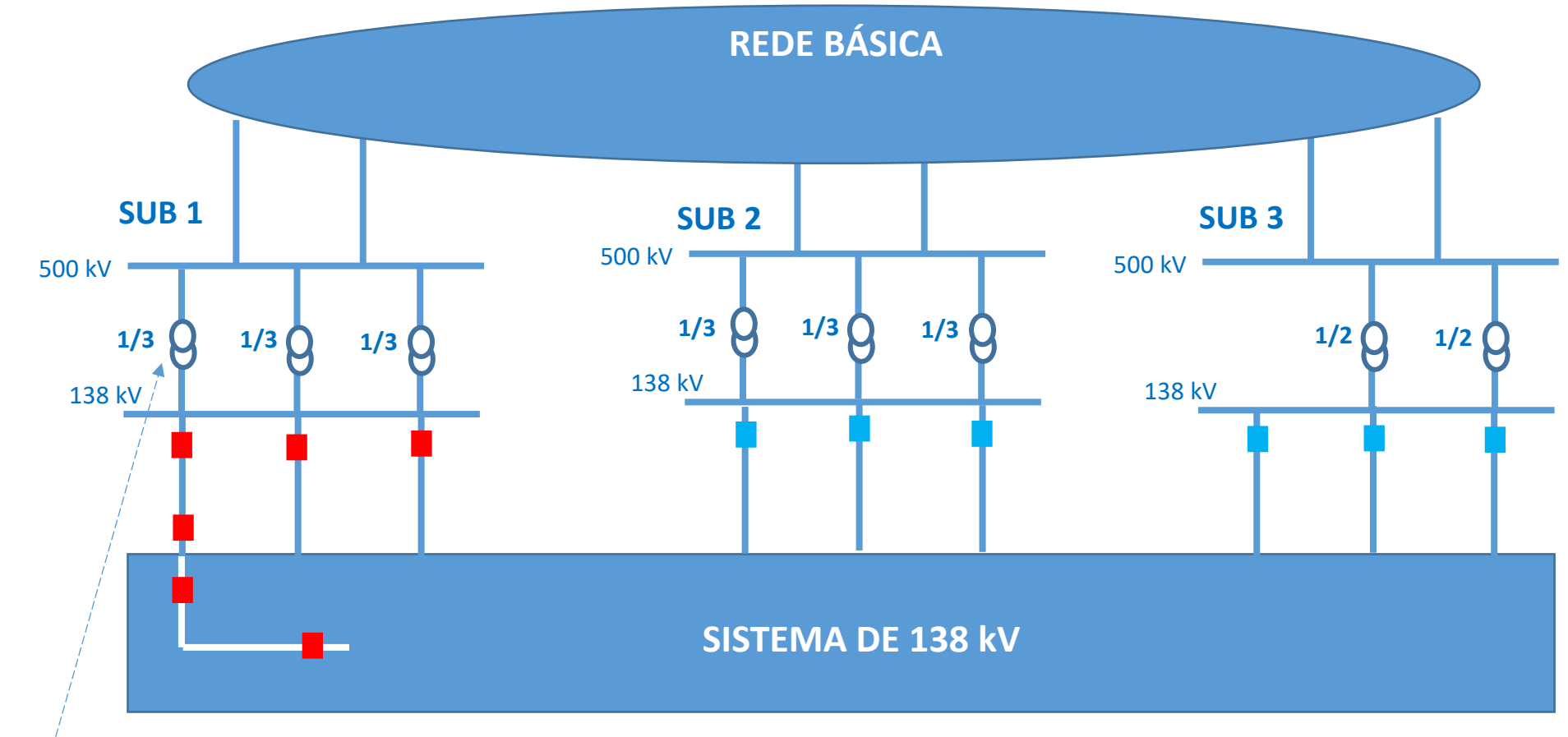
BESS COMO UMA ALTERNATIVA DE REFORÇO EM SUBESTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Custo de Equipamentos

Equipamento	R\$ mi
3º TR 500/138 kV-900 MVA	70
Modulo 500 kV	15
Modulo 138 kV	7
Nova SE 500/138 kV-2x900 MVA	303

SE NOVA IGUAÇU

Equipamento	Data de Entrada
1º TR 500/138 kV-900 MVA	Fev/2018
2º TR 500/138 kV-900 MVA	Mai/2022
3º TR 500/138 kV-900 MVA	Jun/2022

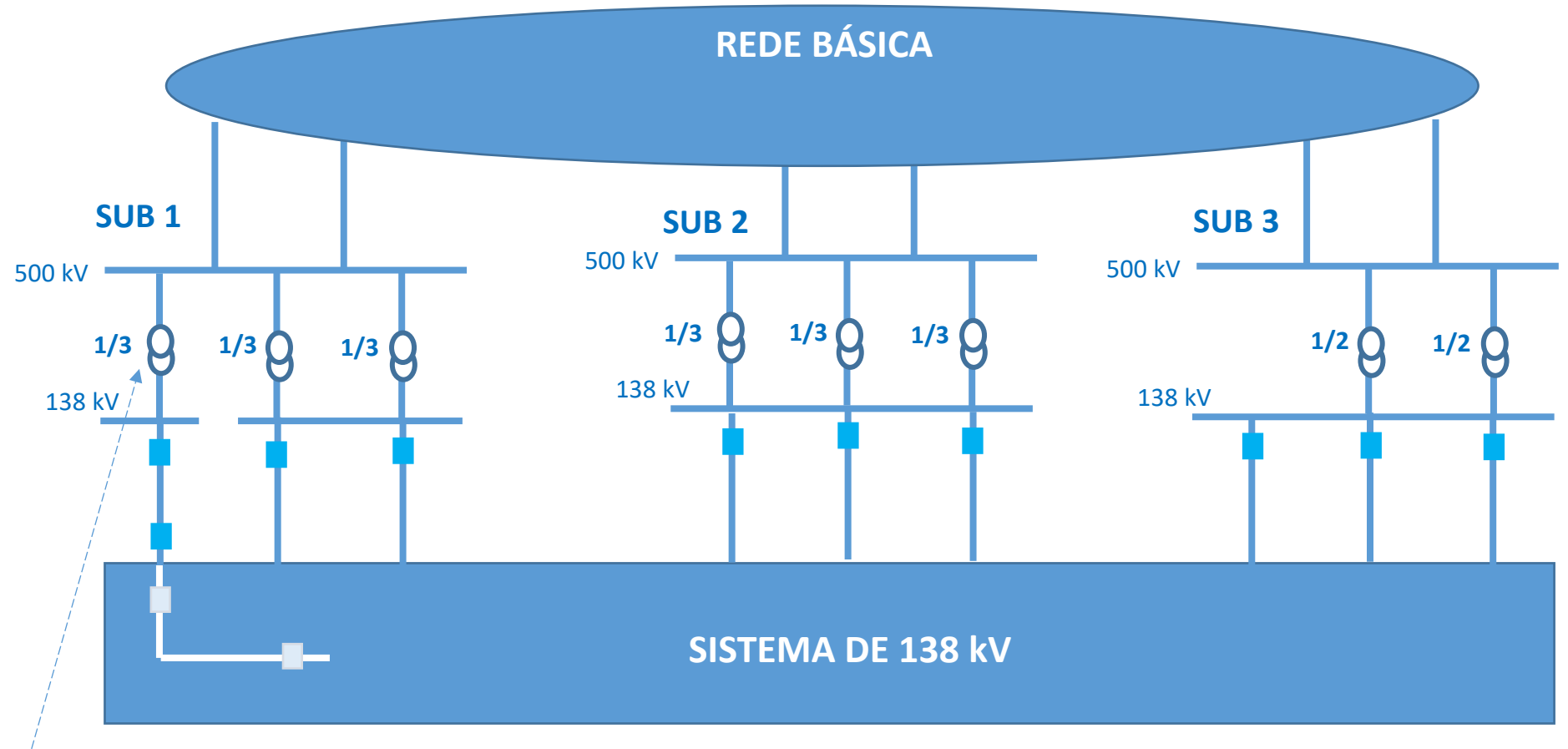


Entrada do 3º trafa eleva o Nível de CC

BESS COMO UMA ALTERNATIVA DE REFORÇO EM SUBESTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Custo de Equipamentos

Equipamento	R\$ mi
3º TR 500/138 kV-900 MVA	70
Modulo 500 kV	15
Modulo 138 kV	7
Nova SE 500/138 kV-2x900 MVA	303

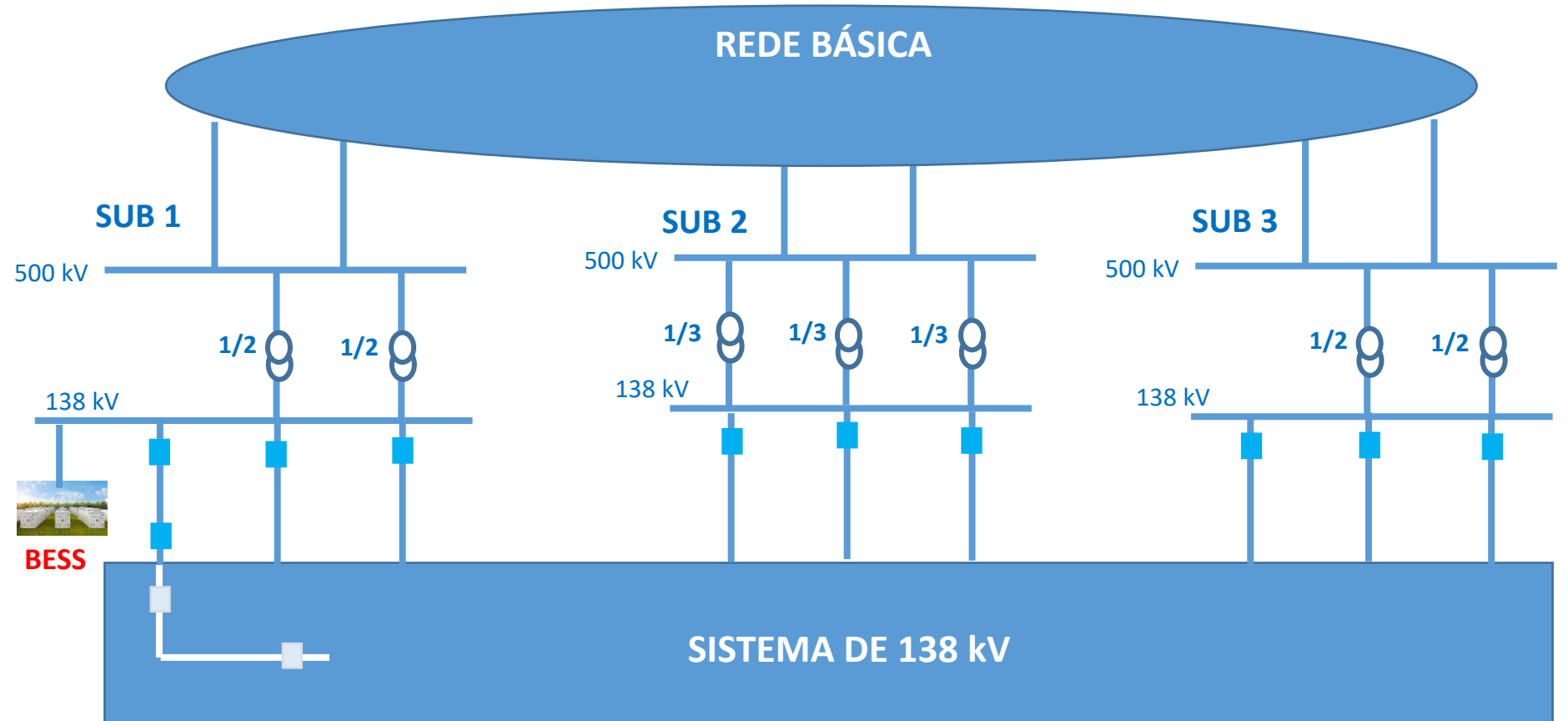


Má solução (indesejável) para a entrada do 3º transformador: Operar com barramento aberto

BESS COMO UMA ALTERNATIVA DE REFORÇO EM SUBESTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Custo de Equipamentos

Equipamento	R\$ mi
3º TR 500/138 kV-900 MVA	70
Modulo 500 kV	15
Modulo 138 kV	7
Nova SE 500/138 kV-2x900 MVA	303



BESS COMO UMA ALTERNATIVA DE REFORÇO EM SUBESTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

WITH TRANSFORMER (TR)

ORDER	QUANT	TR INICIAL DEMAND	TR FINAL DEMAND	SUBSTA-TION FINAL DEMAND	TIME UNTIL REINFORCMENT	EMERGENCY VALUE
1º E 2º	2	0.4	0.6	1.2	13 years 9 months	1.2
3º	3	0.4	0.8	2.4	23 anos e 6 meses	1.2

WITH TRANSFORMER AND BESS OF 0.4

ORDER	QUANT	TR INICIAL DEMAND	TR FINAL DEMAND	SUBSTA-TION FINAL DEMAND	TIME UNTIL REINFORCMENT	EMERGENCY VALUE
1º E 2º	2	0.4	0.6	1.2	13 years 9 months	1.2
BESS	2	0.6	0.8	1.6	9 years 9 months	1.2
3º	3	0.533	0.933	2.8	18 years 11 months	1.2

SOME THECNICAL ADVANTAGES:

A) EXTENSION OF THE TIME FOR NEEDING A NEW SUBSTATION BY 5 YEARS AND 2 MONTHS

WITH TRASNFORMER: NEW SUBSTATION AFTER 37 YEARS AND 3 MONTHS

WITH TRANSFORMER AND BESS: NEW SUBSTATION AFTER 42 ANOS AND 5 MONTHS

B) POSTPONEMENT IN 9 YEARS AND 9 MONTHS OF THE NEED OF THE THIRD POWER TRANSFORMER

C) POSTPONEMENT IN 9 YEARS AND 9 MONTHS OF THE NECESSITY TO REPLACE "N" CIRCUIT BREAKERS

TABLE OF DEMAND GROWING AT 3% A YEAR

ANO	DEMANDA (p.u.)		
0	0.400	0.600	0.533
1	0.412	0.618	0.549
2	0.424	0.637	0.565
3	0.437	0.656	0.582
4	0.450	0.675	0.600
5	0.464	0.696	0.618
6	0.478	0.716	0.636
7	0.492	0.738	0.656
8	0.507	0.760	0.675
9	0.522	0.783	0.695
10	0.538	0.806	0.716
11	0.554	0.831	0.738
12	0.570	0.855	0.760
13	0.587	0.881	0.783
14	0.605 (*1)	0.908 (*3)	0.806
15	0.623		0.830
16	0.642		0.855
17	0.661		0.881
18	0.681		0.907
19	0.701		0.935 (*4)
20	0.722		
21	0.744		
22	0.766		
23	0.789		
24	0.813 (*2)		
25	0.837		
26	0.863		
27	0.888		
28	0.915		

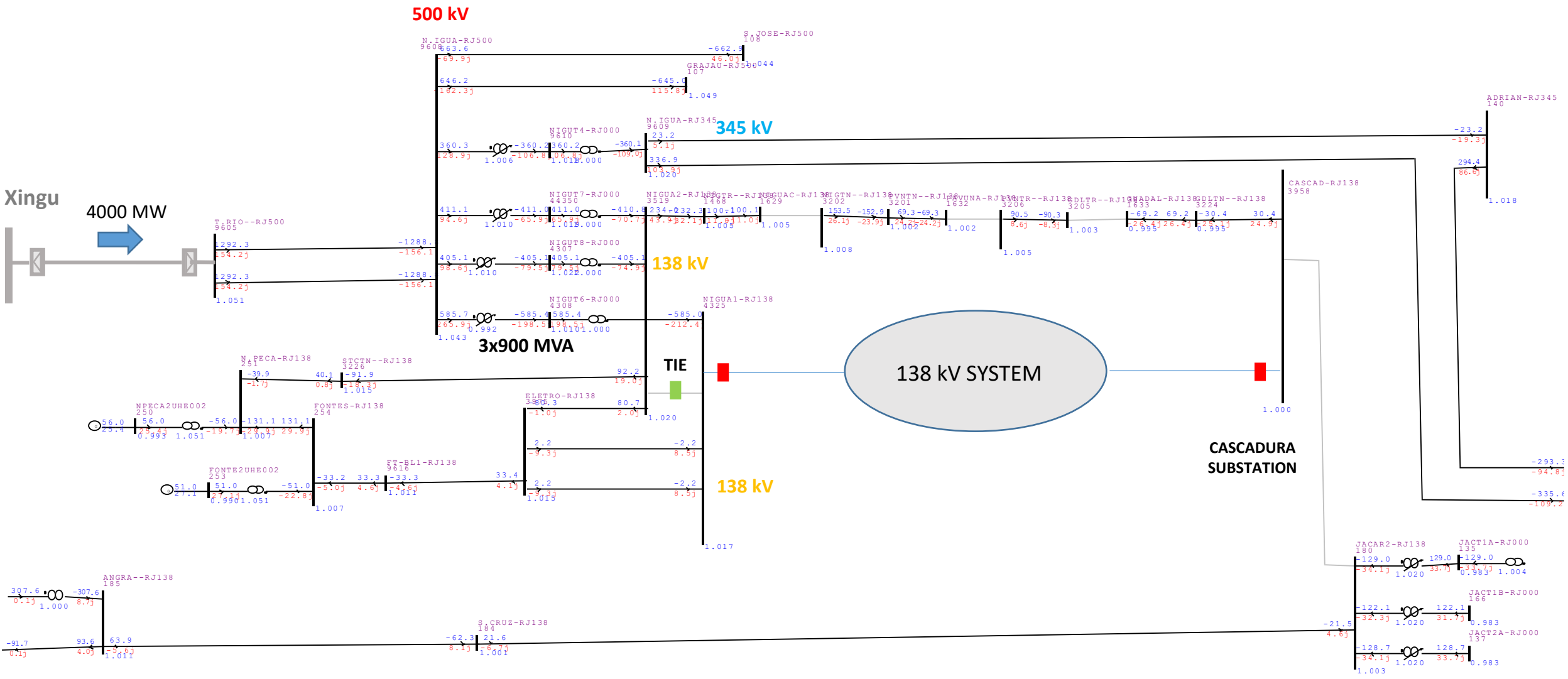
(*!) To 0.600: 9 months; (*2) To 0.800: 6 months

(*3) To 0.900: 9 months; (*4) To 0.933: 11 months

ONS PARPEL CARGA PESADA_VERÃO 2025/2026

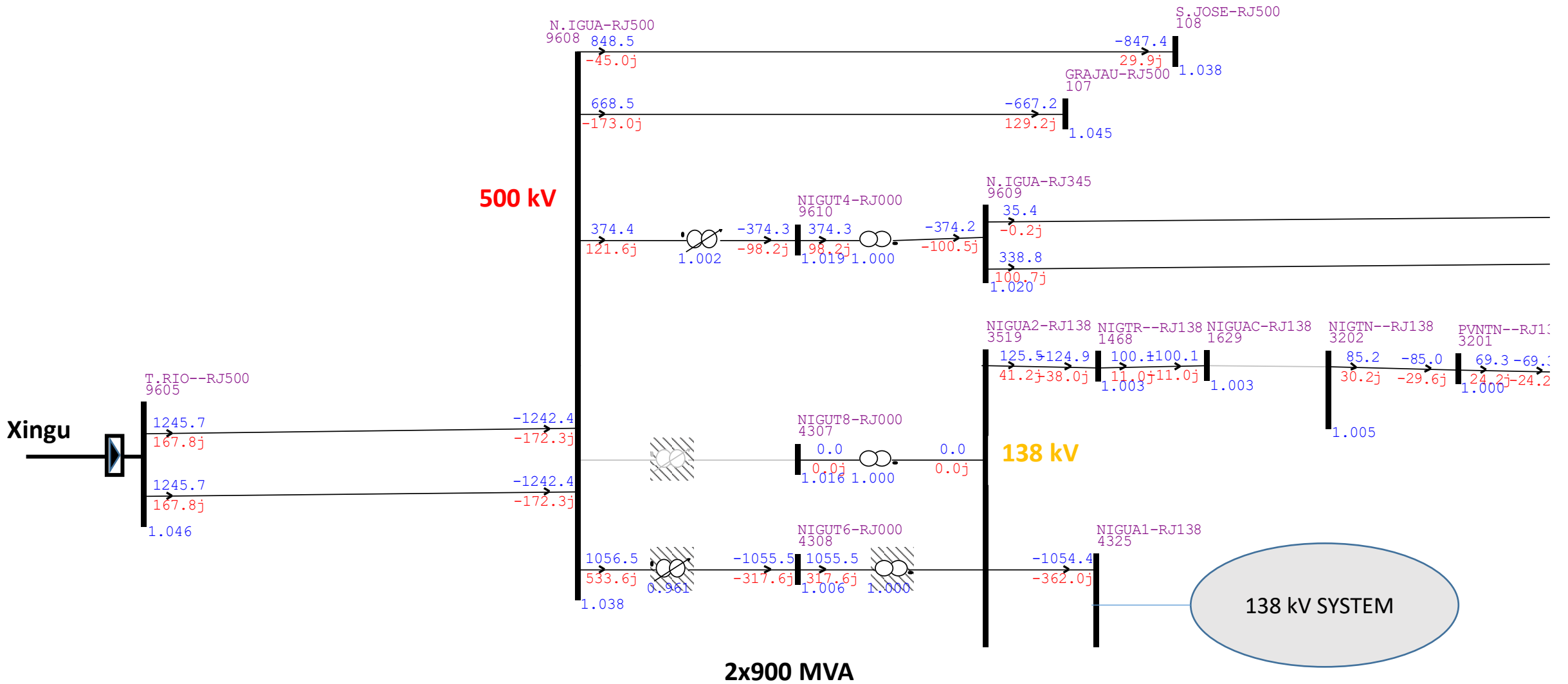
3 Transformadores de 900 MVA – Disjuntor tie normalmente aberto_Sem BESS

NOVA IGUAÇU SUBSTATION

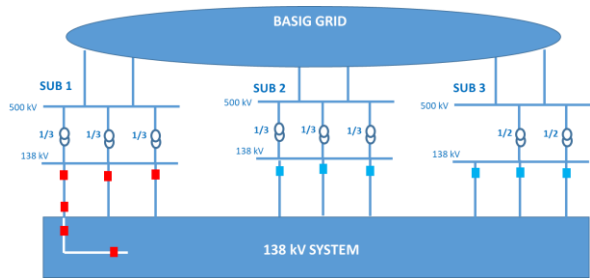


ONS PARPEL 2024-2028_CARGA PESADA_VERÃO 2025/2026

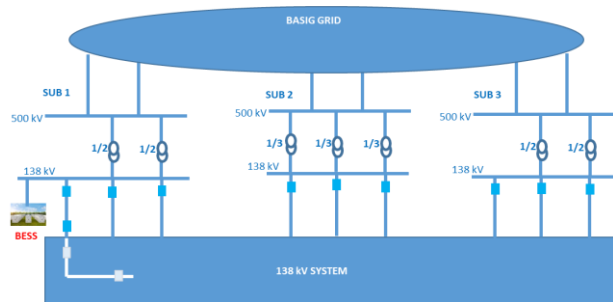
2 Transformadores de 900 MVA – Disjuntor tie normalmente fechado_ **Sem BESS_EMERGENCIA: Perda de 1 transformador**



BESS COMO UMA ALTERNATIVA DE REFORÇO EM SUBESTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO



$$3^{\text{º}}\text{TR} = 70 + 280 + 303/(1+0.03)^{15} = 544 \text{ R\$ million}$$



$$\text{BESS} = \text{BCOST} + 70/(1+0.03)^{10} + 280/(1+0.03)^{10} + 303/(1+0.03)^{20} - 70 = \text{BCOST} + 428 \text{ R\$ million}$$

To make the alternatives equivalents:

$$3^{\text{º}}\text{TR} = \text{BESS} \rightarrow 544 = \text{BCOST} + 358 \rightarrow \text{BCOST} = 544 - 358 = \mathbf{186 \text{ R\$ million}}$$

Considering that BESS allows a reduction of the Interruption Cost (61.5 R\$ million):

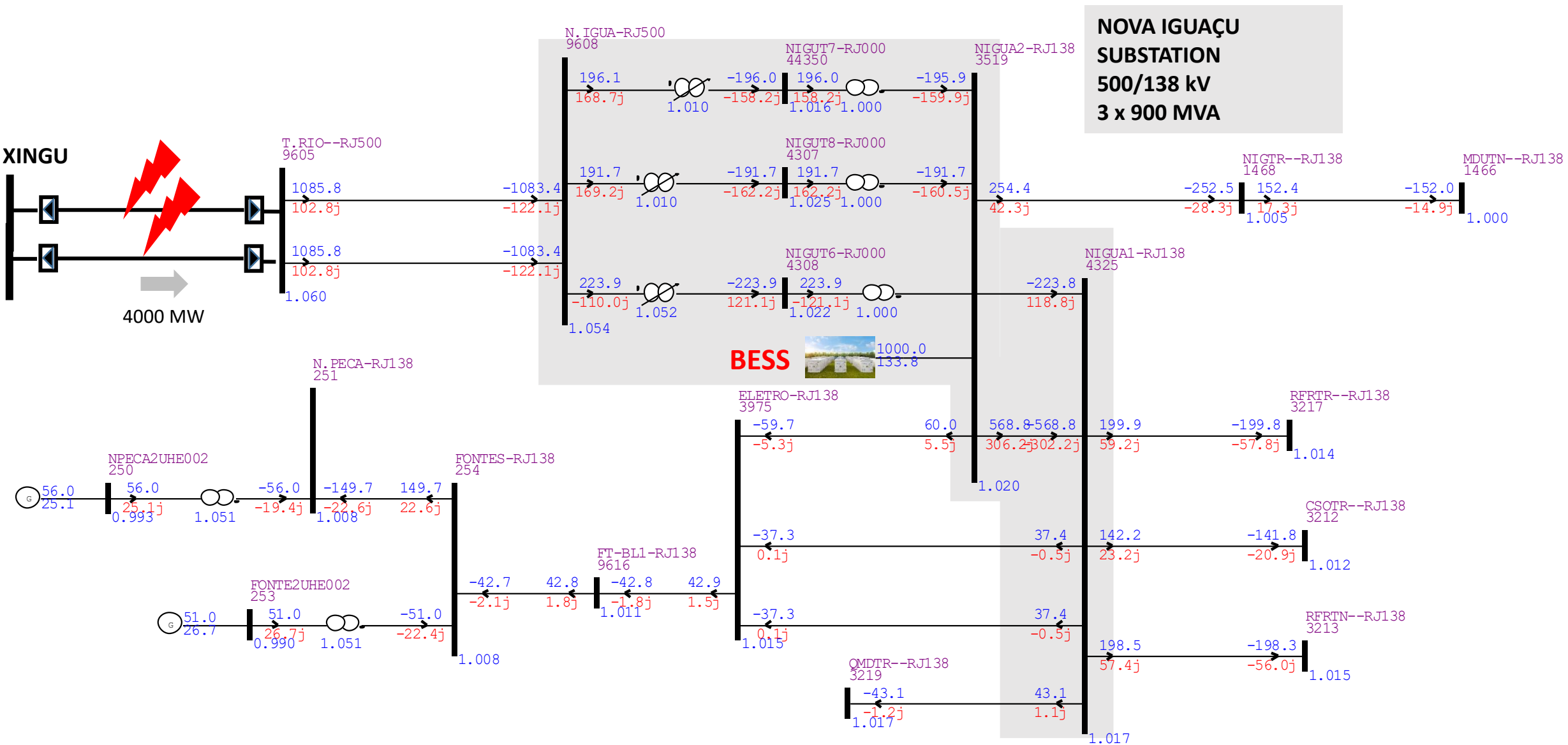
$$\text{BCOST} = 544 - 358 + 61.5 = \mathbf{247.5 \text{ R\$ million}}$$

INSTALAÇÃO DE UM BESS DE 1000 MW NA SUBESTAÇÃO NOVA IGUAÇU

COMPORTAMENTO DIANTE DE DISTÚRBIOS DE ALTA-SEVERIDADE NO SISTEMA



ONS PARPEL 2024-2028_MID LOAD_SUMMER 2025/2026 - 1000 MW installed in Nova Iguaçu substation



EMERGÊNCIA: PERDA DO BIPOLO XINGU-TERMINAL RIO

Rejeição automática: 7 unidades de Belo Monte

Rejeição adicional: + 2 unidades de Belo Monte

(Sem BESS e com BESS)

CONCLUSÕES:

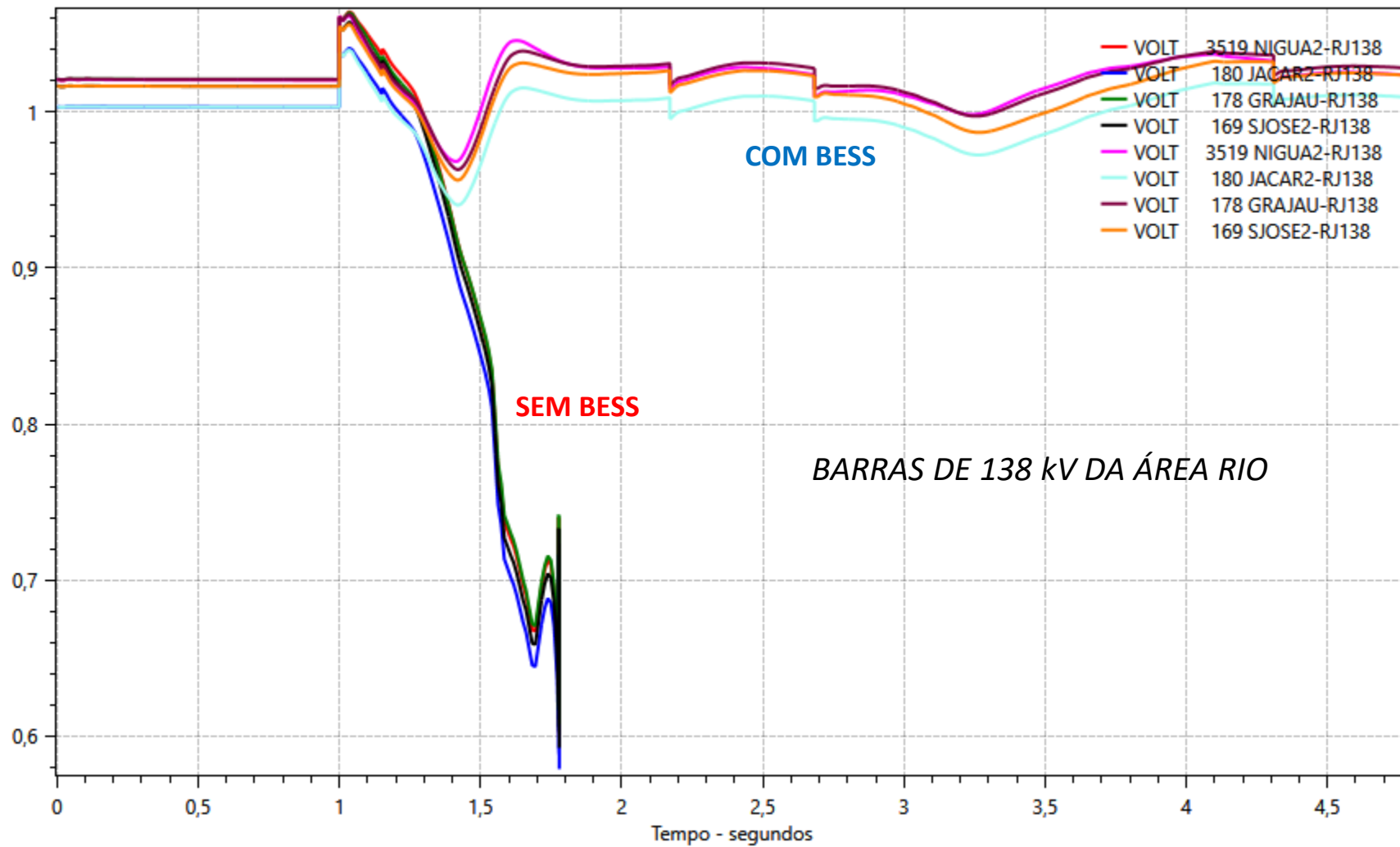
- At $t= 1.0$ s → Perda do bipolo
- At $t= 1.150$ s → Atuação do SEP rejeitando automaticamente 7 unidades + 2 unidades adicionais em Belo Monte
- Sistema ainda **instável** sem BESS
- Sistema **estável** com BESS

REJEIÇÃO INSUFICIENTE

ONS PARPEL 2024-2028_CARGA MÉDIA_VERÃO 2025/2026 - 1000 MW BESS instalado na subestação Nova Iguaçu



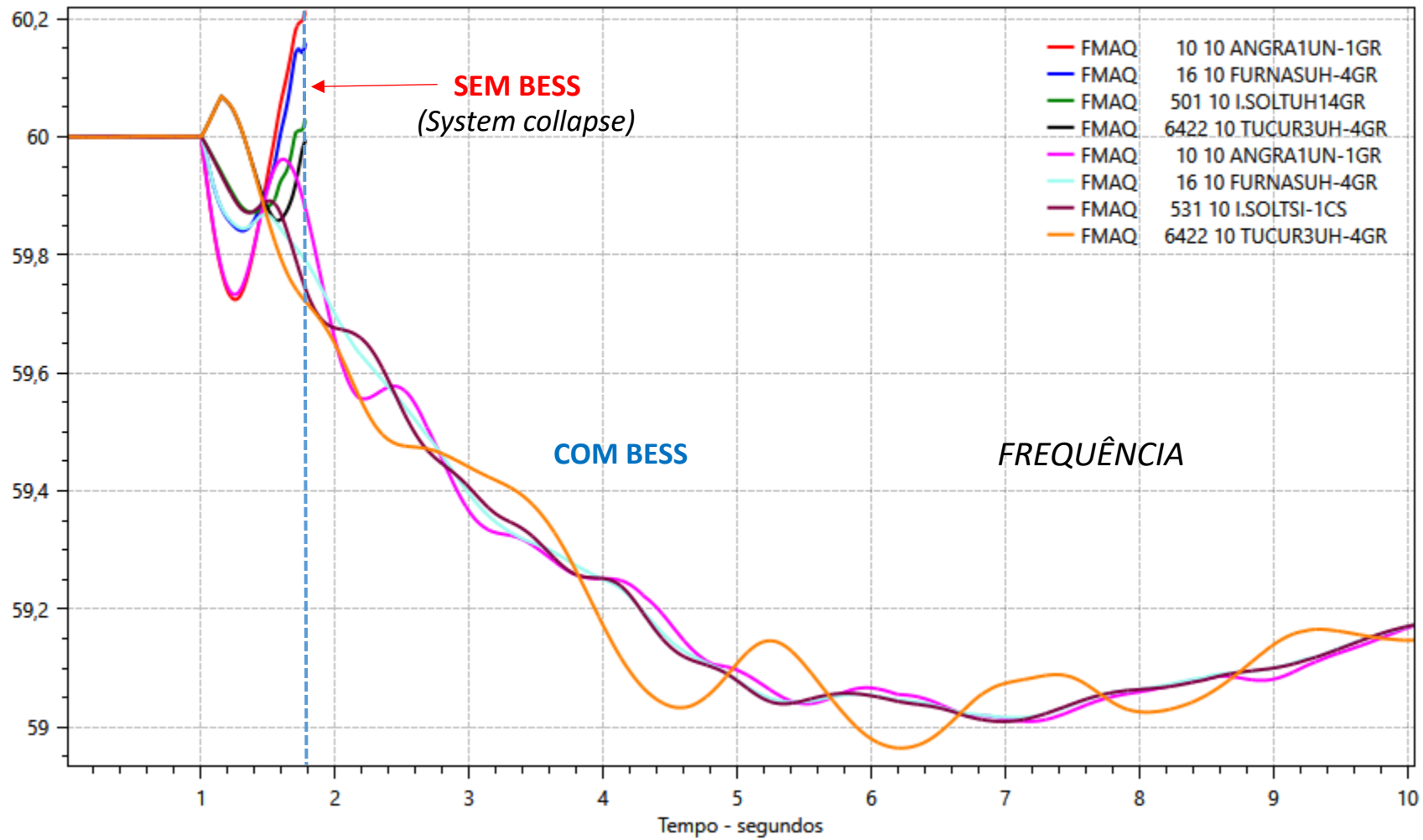
Emergencia: Perda do bipolo Xingu-Terminal Rio. Rejeição adicional de 2 máquinas em Belo Monte



ONS PARPEL 2024-2028_CARGA MÉDIA_VERÃO 2025/2026 - 1000 MW BESS instalado na subestação Nova Iguaçu

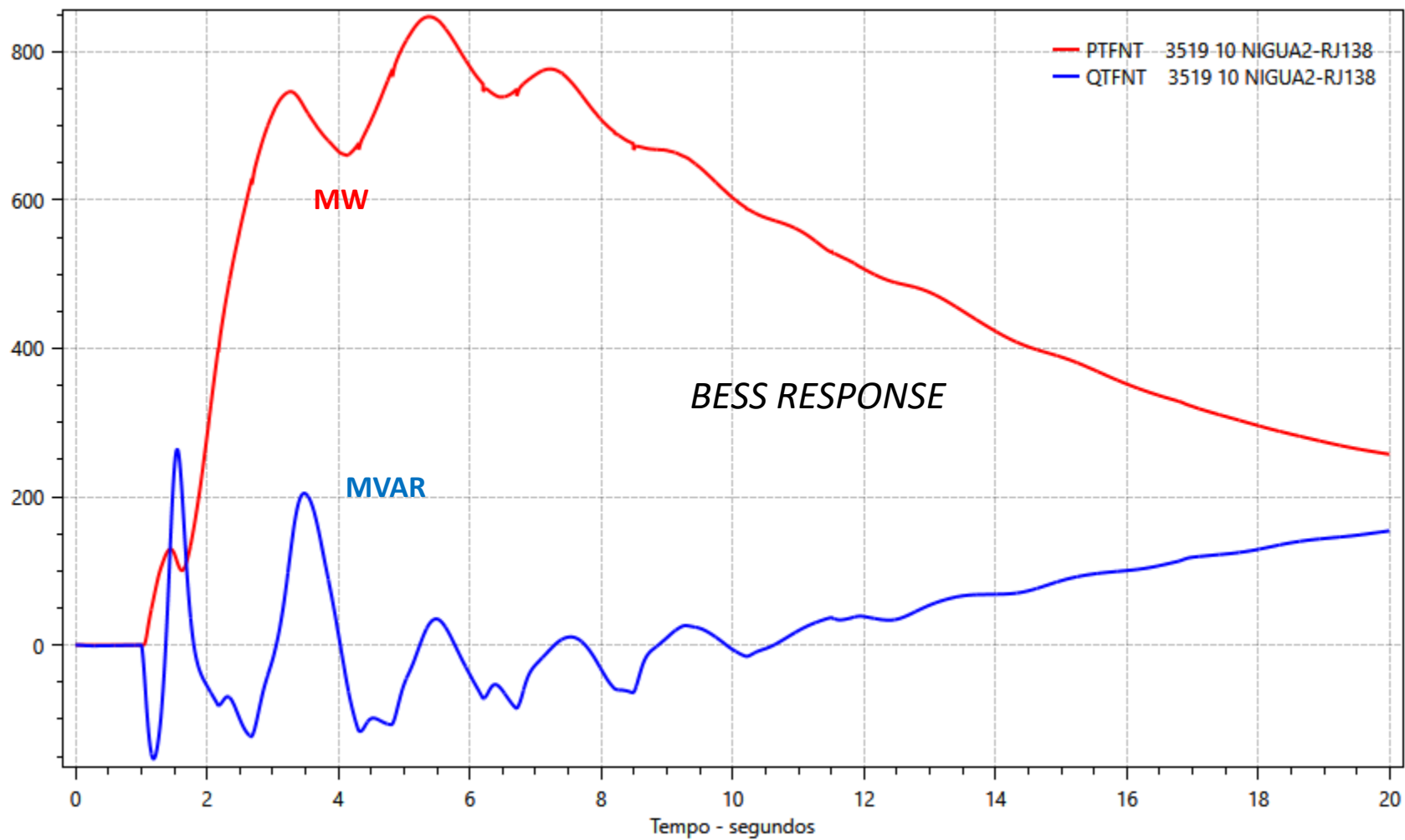


Emergencia: Perda do bipolo Xingu-Terminal Rio. Rejeição adicional de 2 máquinas em Belo Monte



ONS PARPEL 2024-2028_CARGA MÉDIA_VERÃO 2025/2026 - 1000 MW BESS instalado na subestação Nova Iguaçu

➔ Emergencia: Perda do bipolo Xingu-Terminal Rio. Rejeição adicional de 2 máquinas em Belo Monte

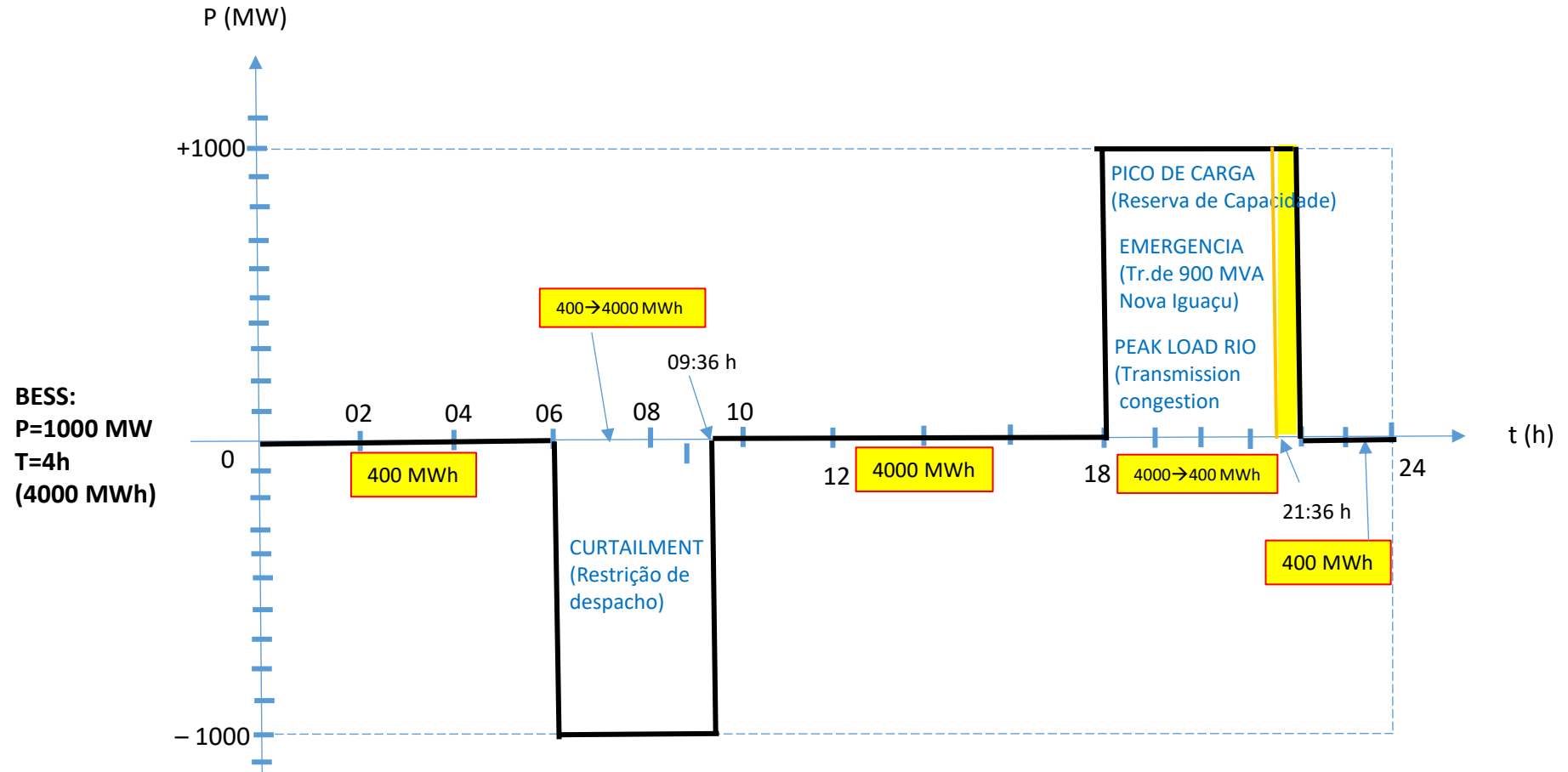


INSTALAÇÃO DE UM BESS DE 1000 MW NA SUBESTAÇÃO NOVA IGUAÇU

CICLO DE OPERAÇÃO DIÁRIO CONTEMPLANDO VÁRIOS ATRIBUTOS

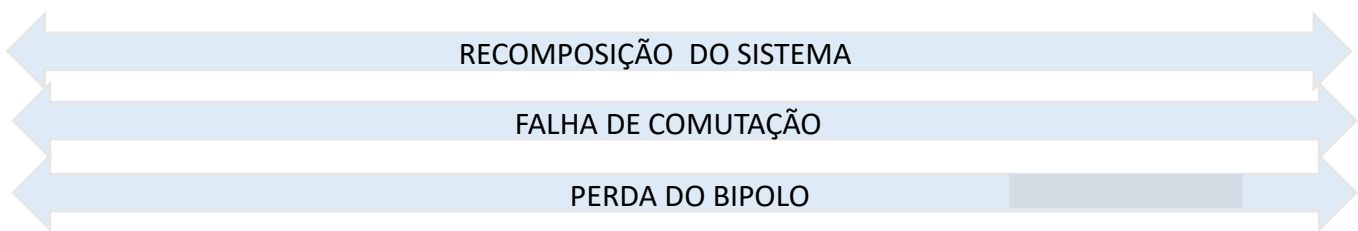


CICLO DE OPERAÇÃO DO BESS DE 1000 MW INSTALADO NA SUBESTAÇÃO NOVA IGUAÇU



CONVENÇÕES:

- ENERGIA ENERGIA ESTOCADA NO BESS
- POTÊNCIA DO BESS "VISTA" PELA REDE



PERDA DO BIPOLO = 1000 MW x 30 s = 8.3 MWh



APLICAÇÃO DE BESS PARA BLACK-START COM ELOS LCC-HVDC EM SITUAÇÕES DE BLECAUTE

BLOCO 3

EPPEI

China Electric Power Planning & Engineering Institute

PD 10307-0222/2023

Pesquisa de aplicação de sistemas de armazenamento de energia de baterias (BESS) no sistema de transmissão.



CONTEÚDO

01

Fases do black start

02

Black start com elos LCC-UHVDC

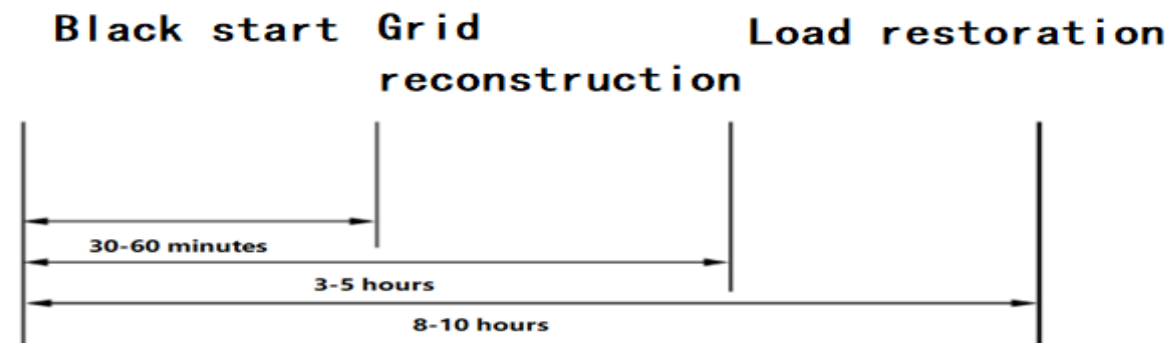
03

Black start com BESS e estratégias de coordenação de controle entre BESS e elo LCC-UHVDC

01. Fases do black start

Experiência chinesa: fases do black start (fases da recomposição do sistema)

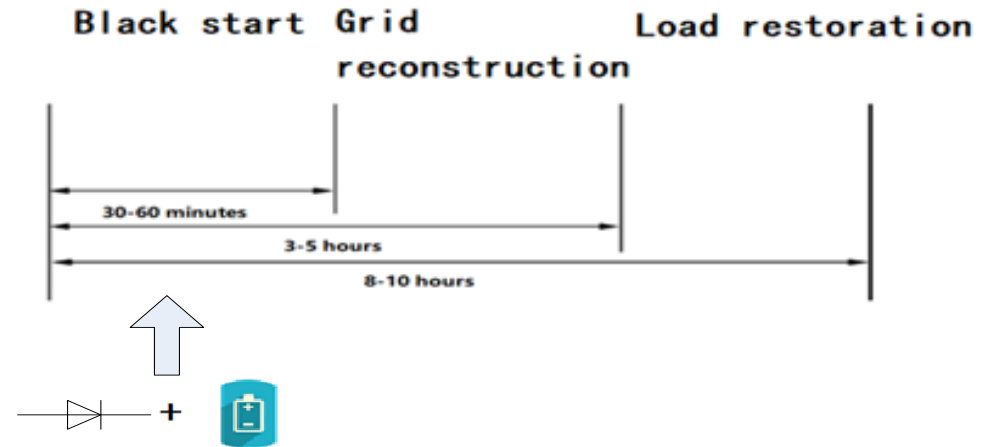
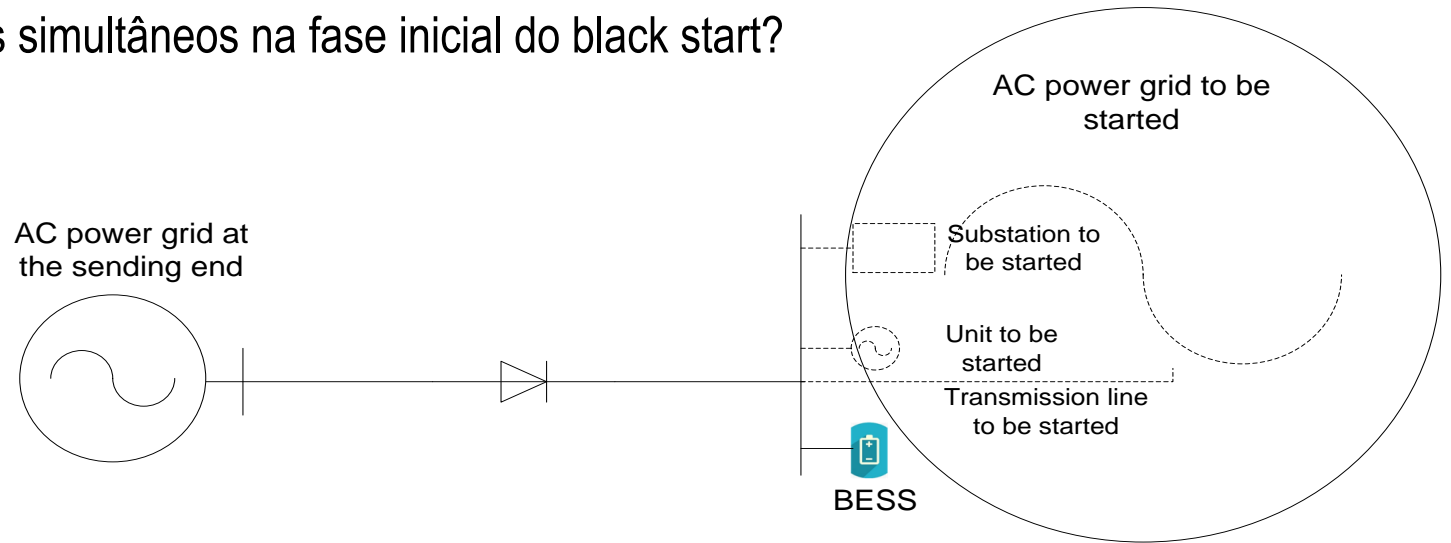
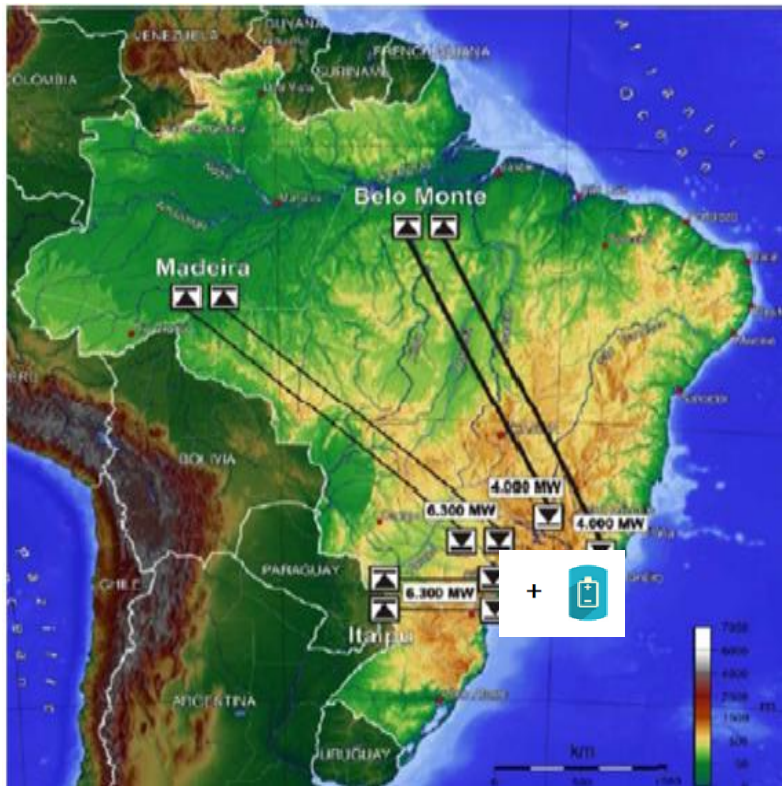
- **Fase de black start**, 30 minutos a 60 minutos. Nesta fase, o suprimento de potência inicial é fornecido primeiramente às fontes de suprimento desligadas com restrições de tempo críticas, permitindo que ela seja reintegrada à rede elétrica e restaure a capacidade de geração de energia, formando subsistemas independentes.
- **Fase de recomposição da rede**, 3 a 5 horas. Nesta fase, a rede de transmissão principal será restaurada, as interconexões entre vários subsistemas serão alcançadas e as cargas necessárias serão restauradas para estabilizar o funcionamento dos geradores e tensão do sistema, criando condições para a recuperação de carga em larga escala.
- **Estágio de recomposição da carga**. O principal objetivo desta etapa é basicamente restaurar as cargas da rede. Esta fase dura de 8 a 10 horas.



01. Fases do black start

Problema a ser resolvido

É possível HVDC e BESS desempenharem papéis simultâneos na fase inicial do black start?

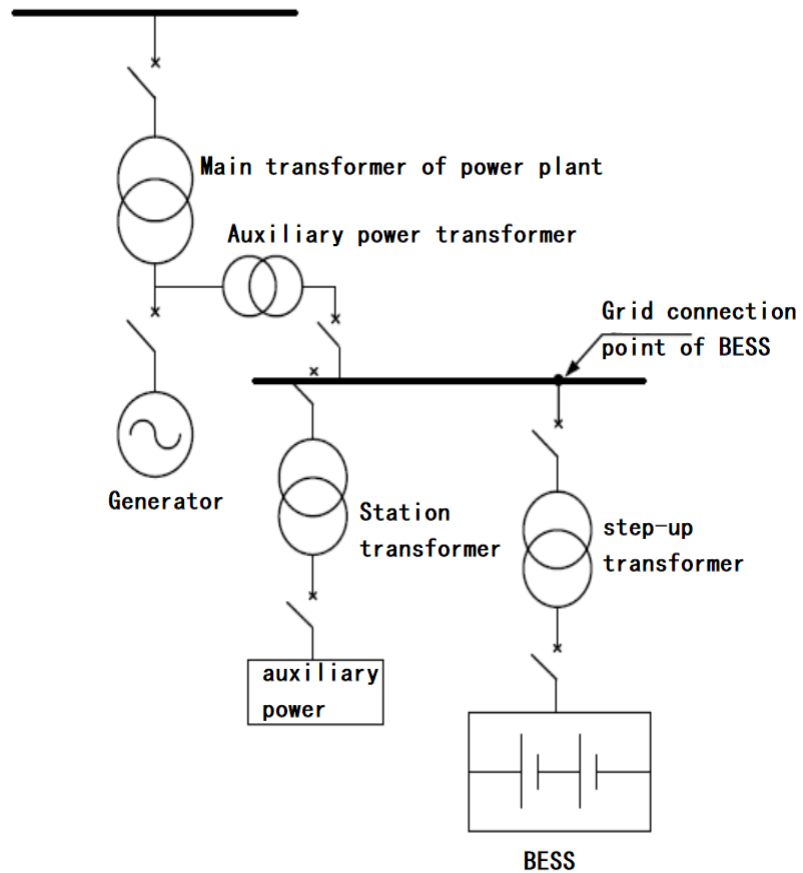


01. Fases do black start

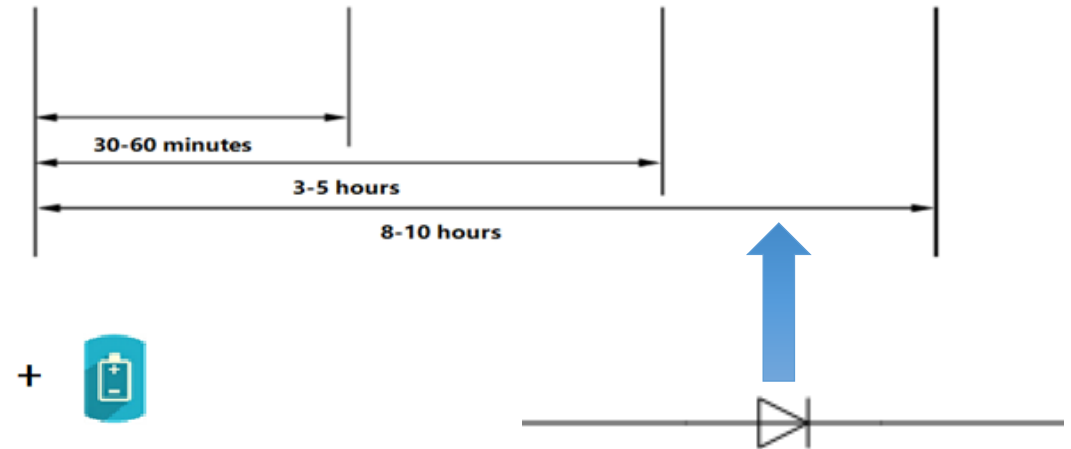
Problema a ser resolvido

电化学储能黑启动技术导则

Technical guide for black start of electrochemical energy storage



Black start Grid reconstruction Load restoration





CONTEÚDO

01

Fases do black start

02

Black start com elos LCC-UHVDC

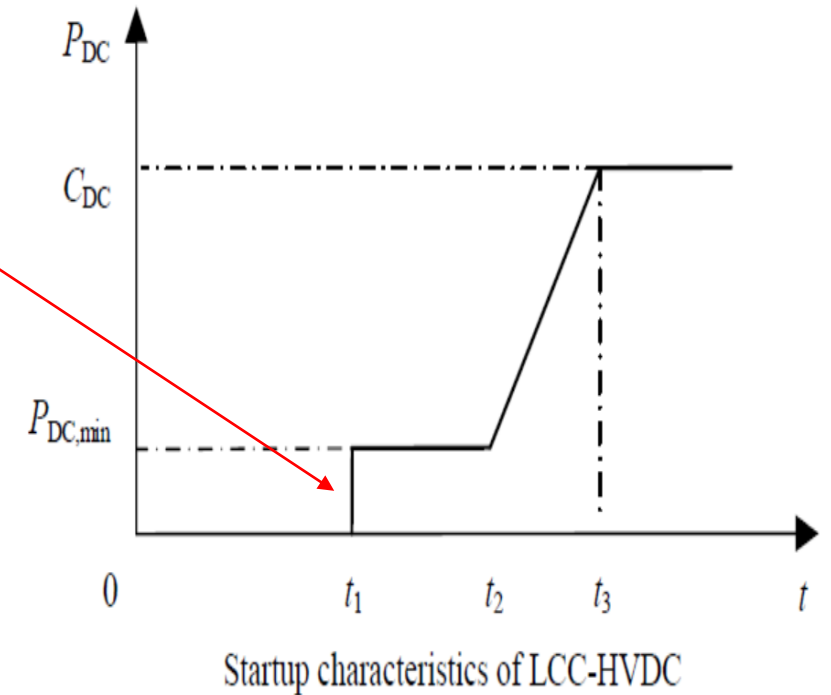
03

Black start com BESS e estratégias de coordenação de controle entre BESS e elo LCC-UHVDC

02. Black start com elos LCC-UHVDC

Pré-requisitos de black start com HVDC

- No processo de recomposição do sistemas de potência interconectados assíncronos, **LCC-HVDC tem impacto** significativo de energia no **sistema CA** no momento da inicialização.
- Portanto, somente quando o **sistema receptor** se recupera com **robustez suficiente**, então o sistema **CC** pode ser iniciado.
- Se o LCC-HVDC estiver em um estado de “**espera quente**” e precisar ser colocado de volta em operação de desbloqueio, o tempo de inicialização da CC é relativamente curto, cerca de algumas **centenas de microssegundos**.



02. Black start com elos LCC-UHVDC

Pré-requisitos de black start com HVDC: índices de robustez da rede CA

A robustez do sistema CA conectado pela transmissão de energia elétrica DC manifesta-se principalmente em dois aspectos: um é a impedância equivalente do sistema CA; o segundo é a inércia rotacional do sistema CA.

(1) A **capacidade de curto-circuito** do sistema CA “ S_{sc} ” é a mostrada na equação abaixo, onde “ U_{ac} ” é a tensão do barramento de comutação na potência CC nominal e “ Z_{th} ” é a impedância equivalente Thevenin do sistema CA:

$$S_{SC} = \frac{U_{ac}^2}{Z_{th}}$$

(2) A **constante efetiva de inércia** “ H_{dc} ” é a mostrada na equação abaixo, onde “ H_{ac} ” é a inércia total do sistema (MWs); “ P_{dc} ” é a potência de transmissão real do sistema DC.

$$H_{dc} = \frac{H_{ac}}{P_{dc}}$$

02. Black start com elos LCC-UHVDC

Exemplo: Bipolo Xingu-Terminal Rio $\pm 800\text{kV}$ UHV DC

Nome	Tipo de equipamento	Quantidade do equipamento	Capacidade
Conversora Terminal Rio	Disjuntor	25	/
	Reator de barramento HV	2	136Mvar (cada)
	Transformador abaixador	2 (cada um com um banco de transformador auxiliar e 2 bancos de reatores LV)	150MVA (cada)
	Banco de filtros (3 grandes grupos)	Filtro 6	257,6Mvar (cada)
		Capacitor 6	257,6Mvar (cada)
	Disjuntor de pequeno banco de filtro	12	/
	Número de circuitos da linha de 500kV	6	/

02. Black start com elos LCC-UHVDC

Exemplo: Bipolo Xingu-Terminal Rio $\pm 800\text{kV}$ UHV DC

- O requisito mínimo de capacidade de curto-circuito para a inicialização bipolo Xingu-Estreito:

$$S_{cc} \geq 10 (2Q_{\text{Filter}} - 0,03P_d) = 10 (2*257,6 - 0,03*4000) = 3952\text{MVA}$$

- Condições necessárias para a capacidade total P_G dos geradores operacionais do lado do inversor CC

$$P_G \geq P_d * f_n / (K * \nabla f)$$

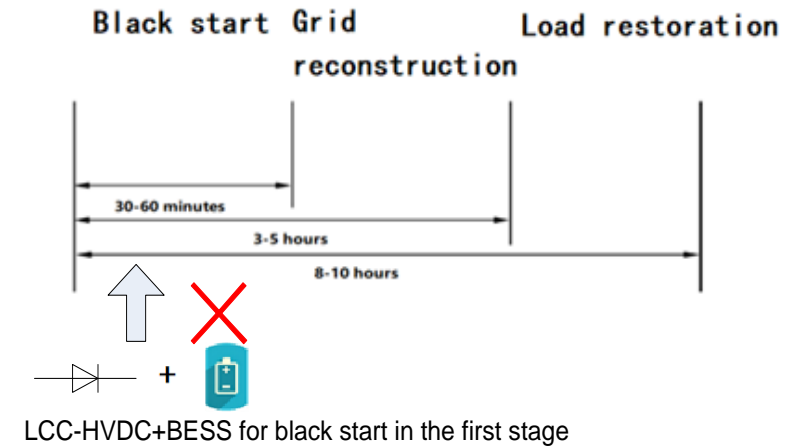
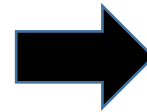
O requisito mínimo de potência para a bipolo: $P_d = 0,035P_{dn} = 0,035*4000 = \mathbf{140}$ MW e $f_n = 60$ Hz

$$P_G \geq 140 * 60 / (K * \nabla f)$$

02. Black start com elos LCC-UHVDC

Conclusão sobre utilização de elo LLC-UHVDC

- LCC-HVDC não pode iniciar uma rede passiva no black start mesmo com BESS incluído.



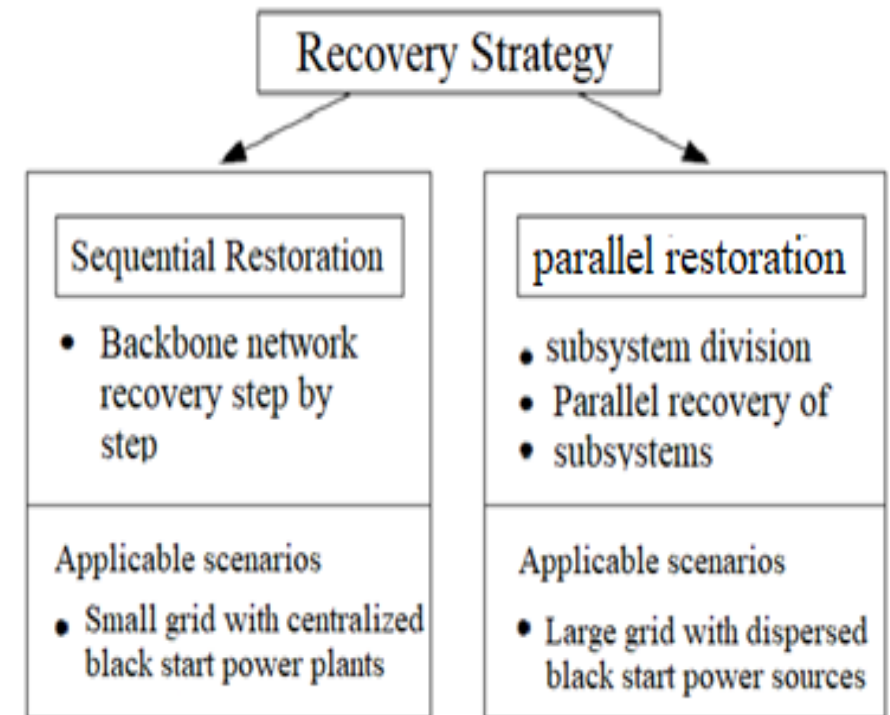
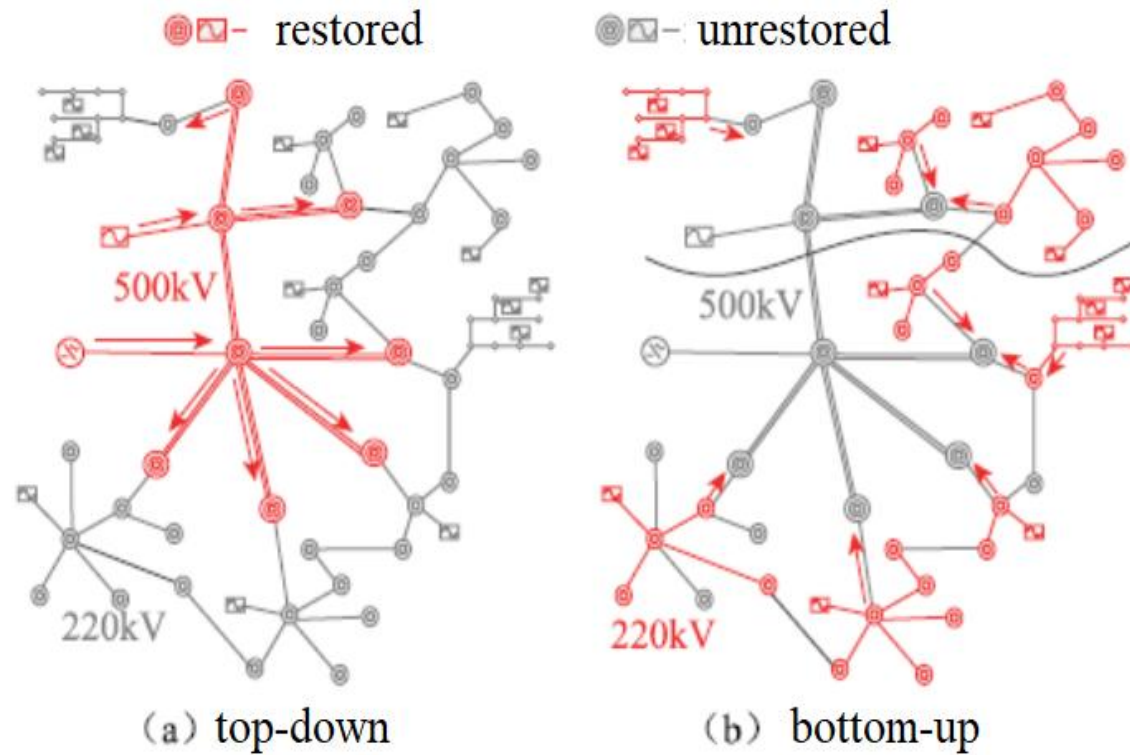
- Os pré-requisitos de black start LCC-HVDC são os seguintes:

Capacidade de curto-circuito: $S_{cc} \geq 10 (2Q_{Filter} - 0.03P_d)$

Inércia rotacional: $P_G \geq P_d / K^* (f_n / \nabla f)$

02. Black start com elos LCC-UHVDC

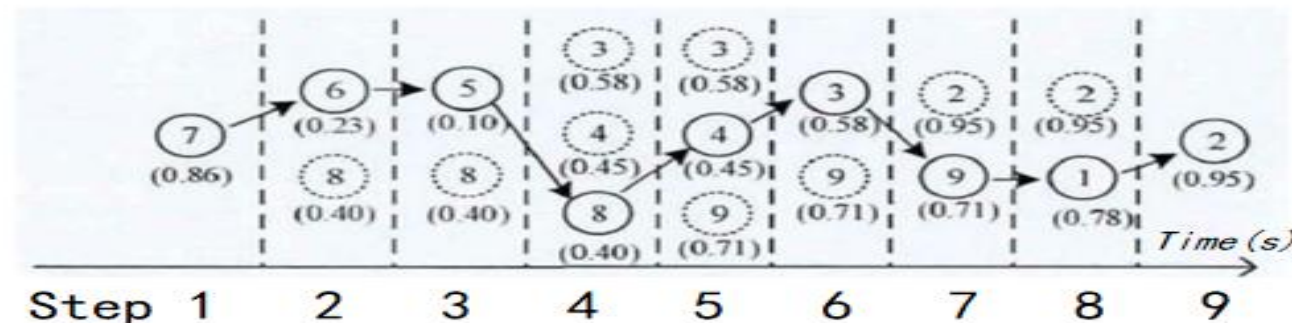
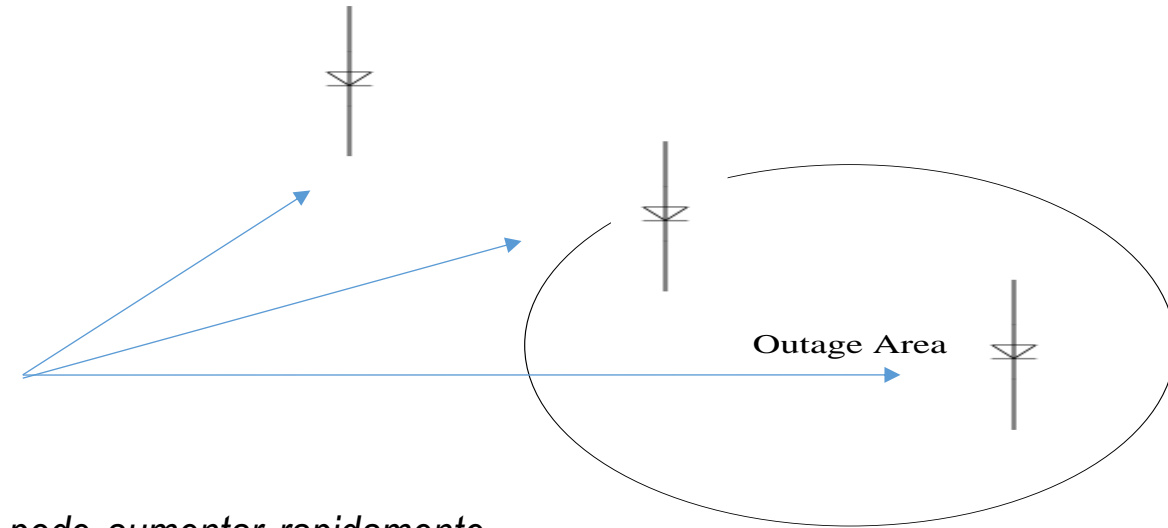
Classificação das estratégias de black start



02. Black start com elos LCC-UHVDC

Pré-requisitos quanto à posição relativa do elo CC

- *Existem três relações geográficas relativas à linha DC e potência:*
- *Devido à limitação da taxa de reconexão de carga, a potência CC não pode aumentar rapidamente para um valor alto, o que afeta ainda mais a efetividade de utilizar a fonte de alimentação CC na velocidade de recomposição do sistema*
- **A recomposição sequencial** é o processo de recuperação passo a passo, e se uma etapa for substituída por HVDC (por exemplo, a etapa 3 do black start convencional na Figura), essa etapa pode ser acelerada. No entanto, os outros passos ainda serão os mesmos, e, portanto, o tempo total economizado não é significativo em comparação com sua contraparte **de restauração paralela**.



02. Black start com elos LCC-UHVDC

Recomendação para o estágio de partida LCC-HVDC

- Em conclusão, o estágio de inicialização recomendado para o LCC-HVDC é o **estágio de recomposição da carga**.
- Se o LCCV-HVDC iniciar corretamente no estágio de recomposição da carga, este estágio poderá ocorrer de forma bem acelerada.

Adaptabilidade \ Fase	Fase Inicial do black start	Fase de reconstrução da rede	Estágio de recomposição da carga
Restrições elétricas	×	✓	✓
Confiabilidade	\	×	✓
Rapidez	\	Economia de tempo limitada	✓
Flexibilidade	\	×	✓

“×” significa que os critérios de avaliação podem se aplicados neste estágio, mas os resultados não atenderão aos critérios estabelecidos.

“\” significa que os critérios de avaliação não são aplicáveis às condições deste estágio.



CONTEÚDO

01

Fases do black start

02

Black start com elos LCC-UHVDC

03

Black start com BESS e estratégias de coordenação de controle entre BESS e elo LCC-UHVDC

03. Black start com BESS e estratégias de coordenação de controle entre BESS e elo LCC-UHVDC

Adaptabilidade do BESS durante as várias fases do black start

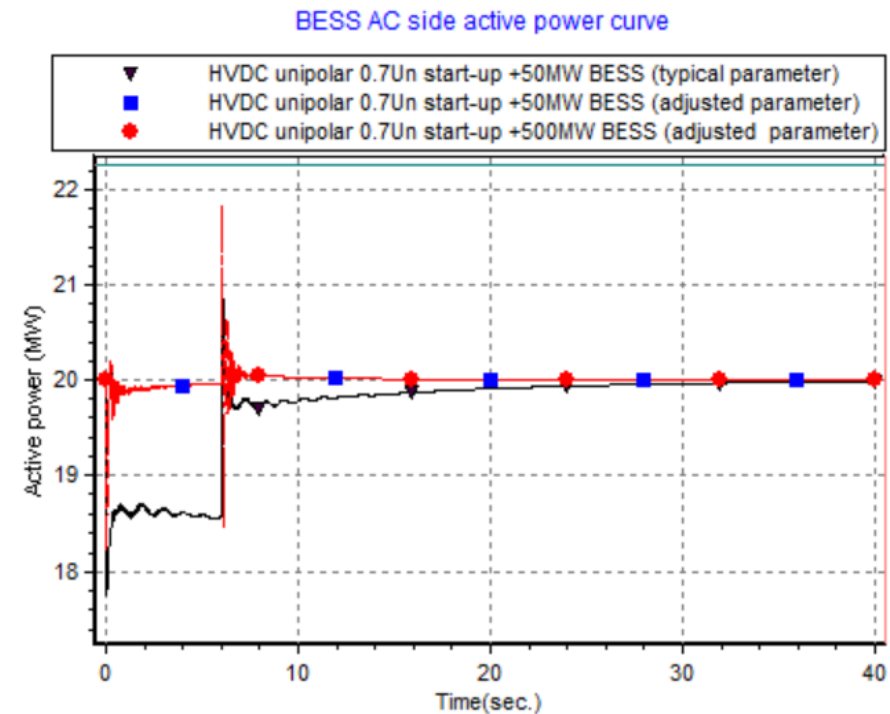
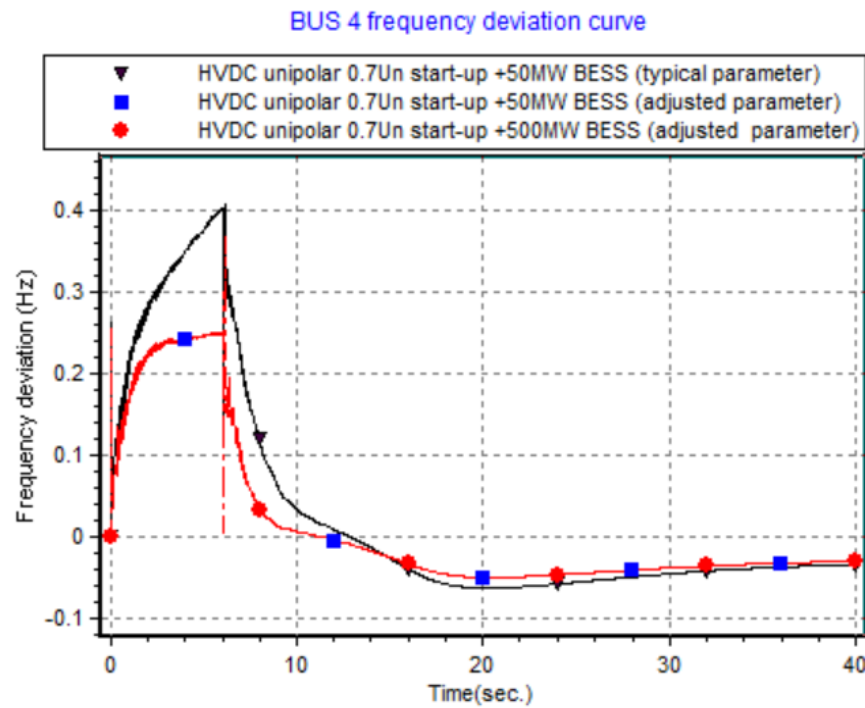
- Não há restrições adicionais à carga e descarga de BESS.
- As características de injeção de potência do BESS, que pode descarregar em qualquer proporção da capacidade nominal em poucos segundos com um mínimo impacto na potência ativa do sistema, se contrapondo ao LCC-HVDC que provoca degrau na potência ativa.
- BESS também pode carregar sistemas passivos.
- A duração atual do BESS convencional é de 2 horas e 4 horas, e a capacidade máxima é de 1000MW ou menor.

Adaptabilidade \ Fase	Fase Inicial do Black start	Fase de reconstrução da rede	Fase de Recomposição da carga
BESS	✓	✓	Parcialmente eficaz

03. Black start com BESS e estratégias de coordenação de controle entre BESS e elo LCC-UHVDC

BESS para partir elos LCC-HVDC e as estratégias de coordenação e controle correspondentes

As figuras abaixo correspondem alterações do modo de controle de frequência (Taxa de mudança de potência correspondente ao desvio de frequência)



Conclusão: Alterando-se as características de *variação do controle de potência ativa* do BESS, verifica-se um impacto significativo nas flutuações de frequência durante o processo de partida do elo CC.

03. Black start com BESS e estratégias de coordenação de controle entre BESS e elo LCC-UHVDC

BESS para partir elos LCC-HVDC e as estratégias de coordenação e controle correspondentes

- Coordenação de estratégias de controle entre BESS e LCC-HVDC

Tipo de Dispositivo	LCC-HVDC	BESS
Coordenação das estratégias de controle	Modo de partida: monopolar	Modo de controle de frequência: aumentar o coeficiente de resposta de potência correspondente ao desvio de frequência.
	Tensão inicial: $0,7U_n$	
	Corrente inicial: $0,1pu$ da corrente nominal	
Objetivo da coordenação	Reduzir o impacto da inicialização da linha CC na rede de alimentação CA	

Conclusões finais

- ❑ A partida do LCC-HVDC não é adequada para o estágio de black start e para o estágio de recomposição da rede.
- ❑ Recomenda-se para a inicialização do LCC-UHVDC no black start no modo monopolar, $0.7 U_n$ de tensão, e corrente de partida de 0.1 pu.
- ❑ O BESS é adequado para a fase de black start e para a fase de recomposição da rede, tendo limitações para a fase de recomposição da carga.
- ❑ Inicializar o LCC-UHVDC em uma rede passiva não é viável, devido à incapacidade do BESS de eliminar flutuações de tensão e frequência no sistema CA causada pelo impacto da entrada da CC.
- ❑ A estratégia de controle entre BESS e LCC-UHVDC é reduzir o impacto da inicialização da linha CC na rede CA. Para tal, o modo de controle de frequência BESS deve ser selecionado e o coeficiente de resposta de potência correspondente ao desvio de frequência deve ser aumentado.



CONFIGURAÇÕES DE PROJETOS DE BESS E SUA TECNOLOGIA DE CONTROLE DE OPERAÇÃO

BLOCO 4

EPPEI

China Electric Power Planning & Engineering Institute

PD 10307-0222/2023

Pesquisa de aplicação de sistemas de armazenamento de energia de baterias (BESS) no sistema de transmissão.



CONTEÚDO

- 01** Tipos de BESS
- 02 Projetos de BESS de black start e localização
- 03 Seleção preliminar da capacidade do BESS
- 04 Estratégia de controle da operação em cenários de modo multi-aplicação

02. Tipos de BESS

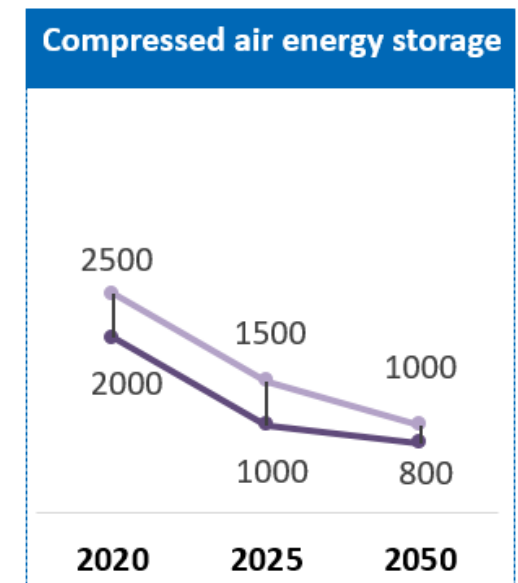
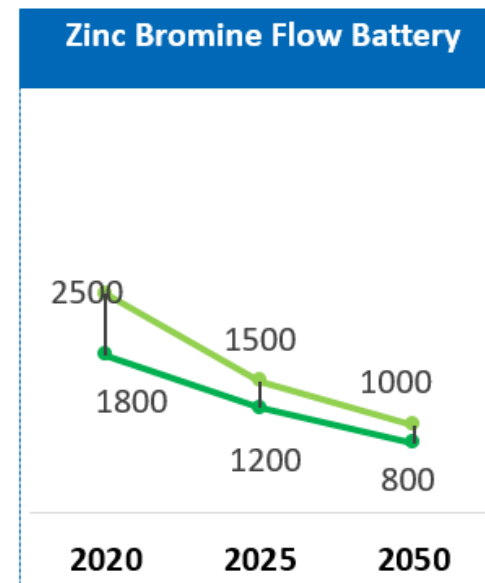
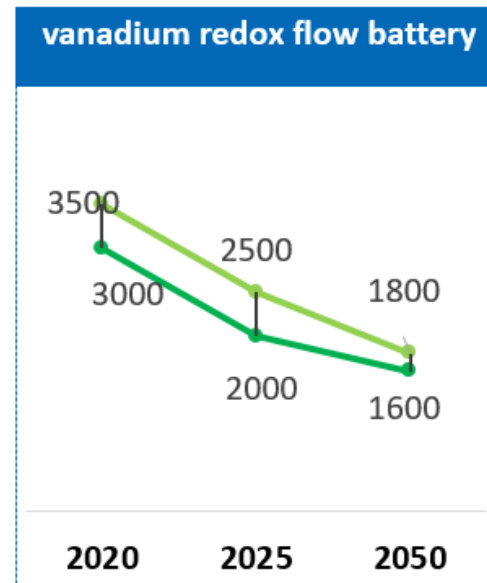
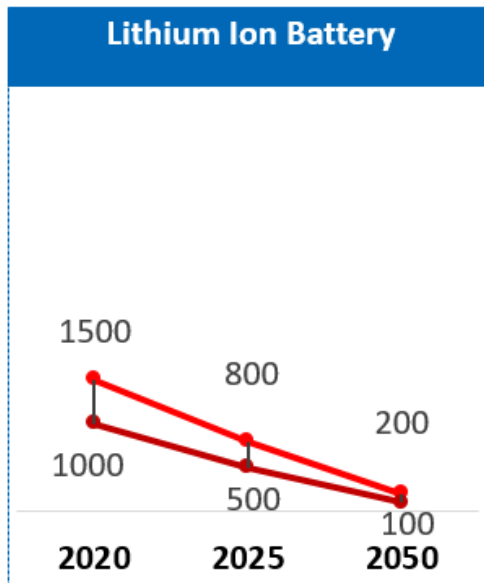
BESS: tipos de armazenamento

Tipo	Tempo de resposta a toda a potência	Temperatura de funcionamento	Energia específica	Vida útil do ciclo	Custo	Eficiência
Bateria de íons de lítio	100 milissegundos	-20-55°C	80-240Wh/kg	2000-10000	1000-1500yuan/kWh	>90%
Bateria de enxofre de sódio	100 milissegundos	30-350°C	80-100 Wh/kg	4500	2500-3000yuan/kWh	70-80%
Bateria redox de vanádio	Nível de 100 milissegundos	10-40°C	7-15Wh/kg	10000-15000	3500-3900yuan/kWh	65-70%
Bateria de fluxo de bromo de zinco	Nível de 100 milissegundos	0-40°C	65 Wh/kg	>10000	1800-2500yuan/kWh	70-75%
Bateria de íons de sódio	Nível de 100 milissegundos	-40-80°C	90-160Wh/kg	1500-3000	3000-4000yuan/kWh	<80%

02. Tipos de BESS

BESS: custos e expectativas futuras

- A longo prazo, há espaço significativo para **redução de custos** em baterias de íons de lítio.
- Todas as baterias de fluxo de vanádio são limitadas principalmente por barreiras de tecnologia de componentes-chave.
- Espera-se que as baterias de fluxo de brometo de zinco tenham uma redução significativa de custo devido aos seus abundantes recursos de matéria-prima.



02. Tipos de BESS

BESS: capacidade e relação de custo

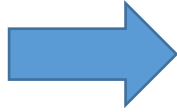
- Segundo a Associação da Indústria de Armazenamento de Energia da China e casos reais de engenharia, o custo atual das baterias de fosfato de ferro é de cerca de **1 a 2,3 milhões de yuans chineses / MWh**.
- Do ponto de vista do **tamanho** do sistema de armazenamento de energia, basicamente ocorre um **aumento proporcional dos custos**.

Fatores de custo BESS	Custo
Capacidade	O custo aumenta proporcionalmente com o aumento da capacidade
Duração	O custo aumenta proporcionalmente com o aumento da duração
Outros (transformadores, engenharia civil, etc.)	Basicamente independente da duração do armazenamento de energia, e tem crescimento gradual com o aumento da capacidade

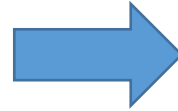
02. Tipos de BESS

BESS: tipo recomendado

- Economia
- Desempenho energia/potência

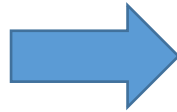


Fosfato de lítio

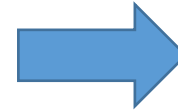


Principal bateria da usina de armazenamento eletroquímico de energia

- Gerenciamento de pico de carga
- Estabilização de flutuações



Fluxo redox de vanádio



Boa alternativa para usina de armazenamento eletroquímico de energia

Conclusões:

- Diferentes **baterias** podem ser selecionadas de acordo com **diferentes cenários de aplicação**, e uma **variedade de opções de tecnologia** viáveis podem ser implementadas
- Do ponto de vista da **economia**, a bateria de **fosfato de ferro de lítio** é recomendada, mas a atenção deve ser dada ao seu **problema de segurança**.
- Em caso de **requisitos rigorosos para segurança** da bateria, a bateria de **fluxo redox de vanádio** também pode ser considerada.



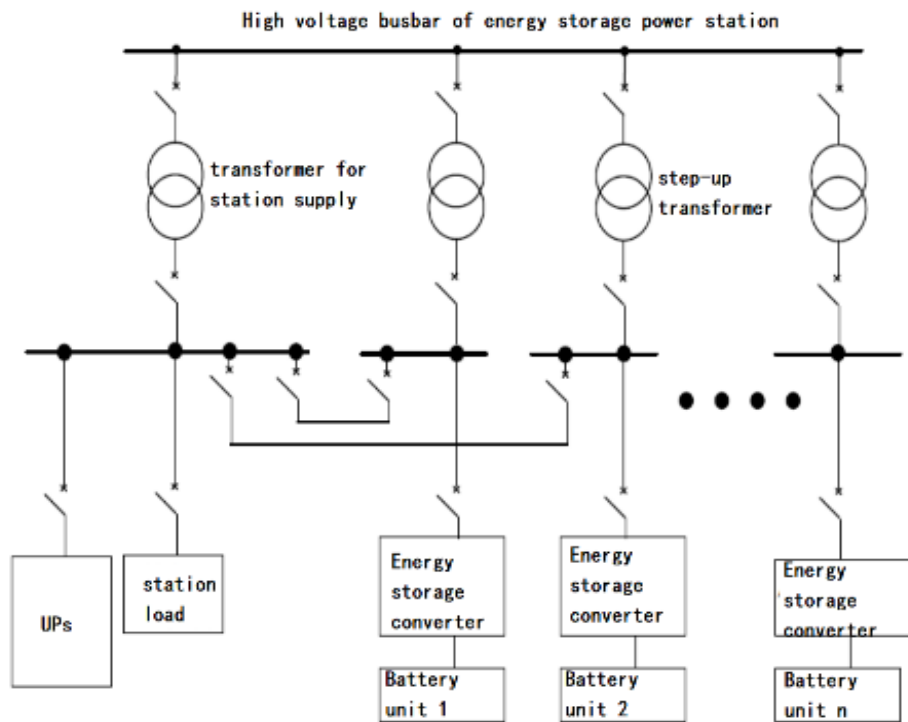
CONTEÚDO

- 01 Tipos de BESS
- 02 **Projetos de BESS de black start e localização**
- 03 Seleção preliminar da capacidade do BESS
- 04 Estratégia de controle da operação em cenários de modo multi-aplicação

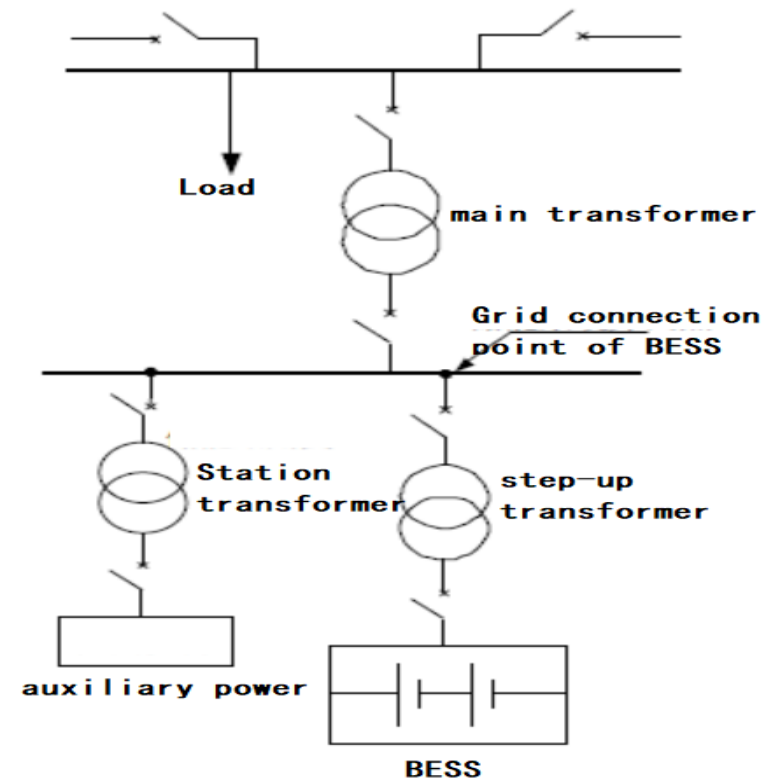
03. Projetos de BESS de black start

Projetos de BESS

Categoria: Partida automática



Auto partida da estação BESS

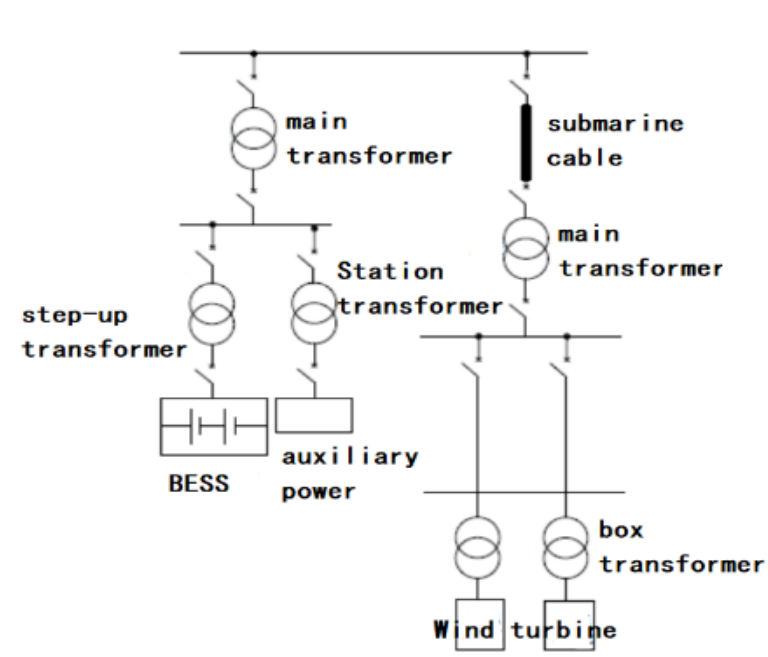


Restauração da fonte de alimentação da subestação por BESS

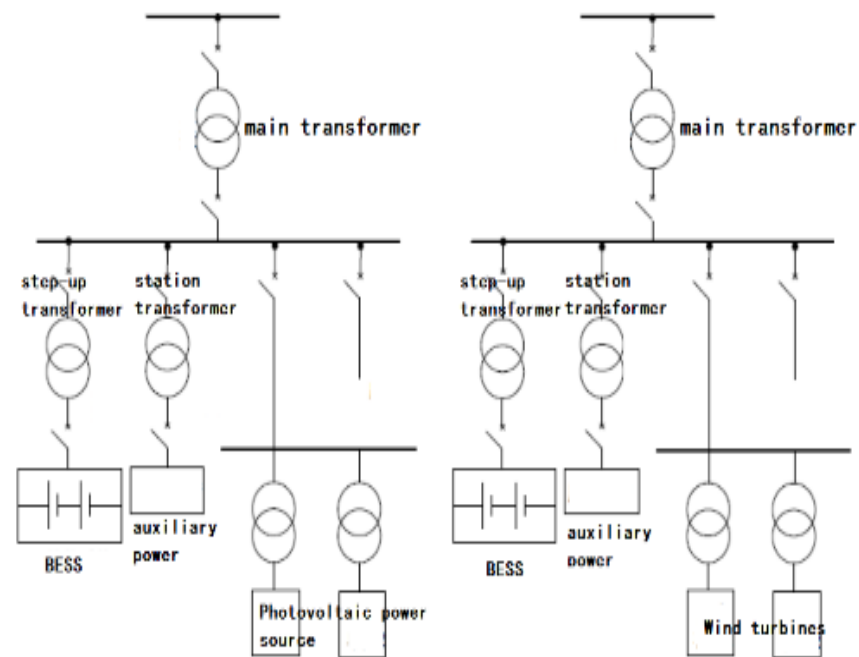
03. Projetos de BESS de black start

Projetos de BESS

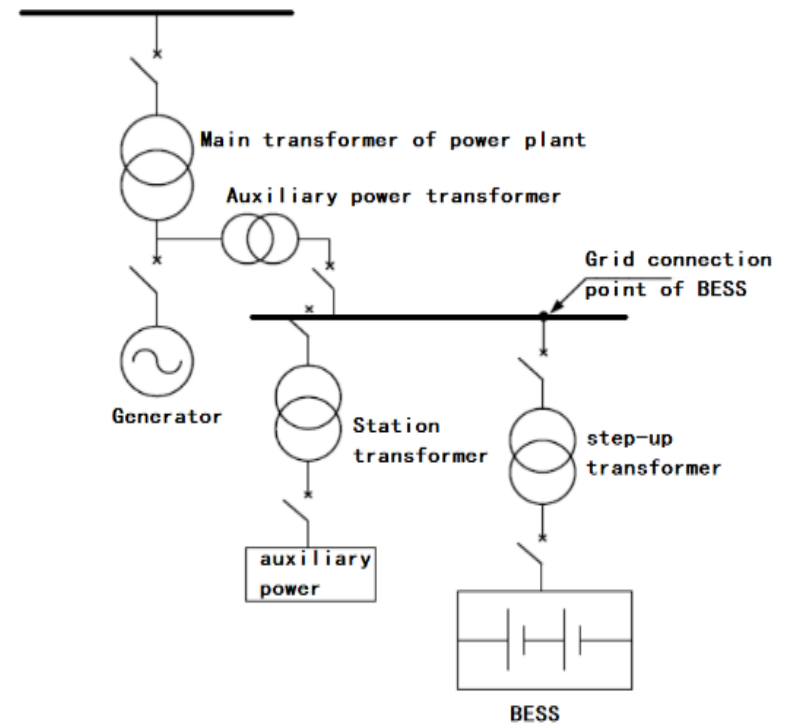
Categoria: Fonte de alimentação auxiliar para a partida da usina principal



BESS para iniciar turbina eólica offshore



BESS para iniciar planta fotovoltaica/turbina eólica terrestre



BESS para Iniciar geradores síncronos

03. Projetos de BESS de black start

Comparação de custos: BESS para partida da usina *versus* BESS como estação autônoma

Tipo	Térmica	Hidro	Turbina a gás	Biomassa	Vento	Solar
Carga média do equipamento auxiliar auto-utilizado para a central elétrica	6.94%	1.71%	3.06%	13.37%	3.08%	2.43%

- Se considerarmos BESS como fonte de energia auxiliar para uma usina hidrelétrica com capacidade nominal de **300 MW**, a capacidade mínima do BESS seria de **5MW**, e **2 horas** seriam suficientes. O investimento necessário para este BESS pode ser assumido como **X**.
- Se considerarmos BESS como fonte autônoma para restaurar a alimentação de uma subestação com capacidade de **300 MW**, a duração do BESS, neste caso, deverá ser de **10 horas para todo o black start**. O investimento necessário para este BESS (300MW, 10 horas) pode ser assumido como **Y**.

03. Projetos de BESS de black start

Capacidade BESS e relação de custo

Esquema de black start	Custo
BESS como estação autônoma	Custo total: $Y > 300X$ Duração: 10 horas; Capacidade: 300MW
Iniciar geradores síncronos por BESS	Custo total: X Duração: 2 horas; Capacidade: 5MW

- Com base na análise acima, o tipo de BESS autônoma é muito mais caro do que a sua contrapartida como fonte de energia auxiliar para a partida da central elétrica principal. Do ponto de vista da economia de investimento, BESS servindo como fonte de energia auxiliar para a partida da central elétrica principal deve ser recomendado.

03. Projetos de BESS de black start

Seleção da utilização e do local BESS

MÉTODO DE BLACK START	CONFIABILIDADE	DISPONIBILIDADE	CUSTO
Auto-partida da estação BESS	Alto	Superior	Alto (Devido à grande capacidade e longa duração da necessidade para BESS)
Iniciar geradores síncronos por BESS	Alto	Bom	Baixo
A estação BESS inicia a turbina eólica offshore	Baixo (Saída intermitente)	Pobre (Local de distribuição restrito)	Baixo
A estação BESS inicia a central de energia fotovoltaica/turbina eólica onshore	Baixo (Saída intermitente)	Bom	Baixo
Restaurar a fonte de alimentação da subestação por BESS	Alto	Superior	Alto (Devido à grande capacidade e longa duração da necessidade para BESS)

 **Recomendação:** BESS deve ser utilizado para a **partida de geradores síncronos**, e instalado **do lado de baixa tensão do transformador step-up do gerador** de energia a ser partido.



CONTEÚDO

- 01 Tipos de BESS
- 02 Projetos de BESS de black start e localização
- 03 **Seleção preliminar da capacidade do BESS**
- 04 Estratégia de controle da operação em cenários de modo multi-aplicação

04. Seleção preliminar da capacidade do BESS

Cálculo da capacidade

- Como BESS é usado principalmente para ligar as máquinas auxiliares do gerador black start, sua exigência de capacidade só precisa atender à capacidade das máquinas auxiliares do gerador a ser partido. Por outro lado, como mencionado anteriormente, a primeira etapa do black start geralmente dura de 30 minutos a 60 minutos.
- Assim, a seleção preliminar da capacidade BESS para o black start pode ser determinada pela seguinte equação:

$$\text{BESS capacity} = (P_{N-\text{Selfstarted}} * A * B * \text{Ratio}_{P-\text{Auxiliary}}, 2\text{Hours})$$

- Na equação acima, $P_{N-\text{Selfstarted}}$ significa a potência nominal da central elétrica auto-iniciada, $\text{Ratio}_{P-\text{Auxiliary}}$ significa a carga de equipamento auxiliar do gerador de energia auto-iniciado, e o tempo de 2 horas significa a duração do armazenamento de energia. A variável “A” é o fator de razão para outro uso de BESS, e a variável “B” é o fator de razão para o efeito de atenuação do BESS.

04. Seleção preliminar da capacidade do BESS

Cálculo da capacidade

- No processo de iniciar uma unidade de energia tradicional, a fim de evitar sobrecarga ou descarga do sistema de armazenamento de energia da bateria, é necessário manter o estado de carregamento do BESS dentro da faixa de trabalho normal definida.

$$\begin{cases} SOC_{B,min} = SOC_0 - \frac{E_{0,max}}{E_B} \\ SOC_{B,max} = SOC_0 - \frac{E_{0,min}}{E_B} \end{cases} \quad \longrightarrow \quad E_B \geq \frac{E_{0,max} - E_{0,min}}{SOC_{max} - SOC_{min}}$$

- Em seguida, a Capacidade de BESS é expressa da seguinte forma:

$$\text{BESS capacity} = \left(\max \left(P_{N-Selfstarted} * A * B * Ratio_{P-Auxiliary} \right), \frac{E_{0,max} - E_{0,min}}{SOC_{max} - SOC_{min}} \right), 2\text{Hours} \right)$$

04. Seleção preliminar da capacidade do BESS

Cálculo da capacidade do inversor

- A configuração da **capacidade do inversor PCS** pode ser determinada.

$$S_{VSC} \geq \max \left(\sqrt{P_{B,i}^2 + Q_{B,i}^2} \right) \quad (i \in a_n)$$

- A determinação do **intervalo inicial de SOC**

$$SOC_{min} + \frac{E_{0,max}}{E_B} \leq SOC_0 \leq SOC_{max} + \frac{E_{0,min}}{E_B}$$

Se SOC_0 estiver dentro dessa faixa, indica que o sistema de armazenamento de energia da bateria pode atender aos requisitos de energia do processo de inicialização da unidade convencional, ou seja, atende ao pré-requisito para executar o armazenamento de energia proposto como o plano de black start da rede elétrica.



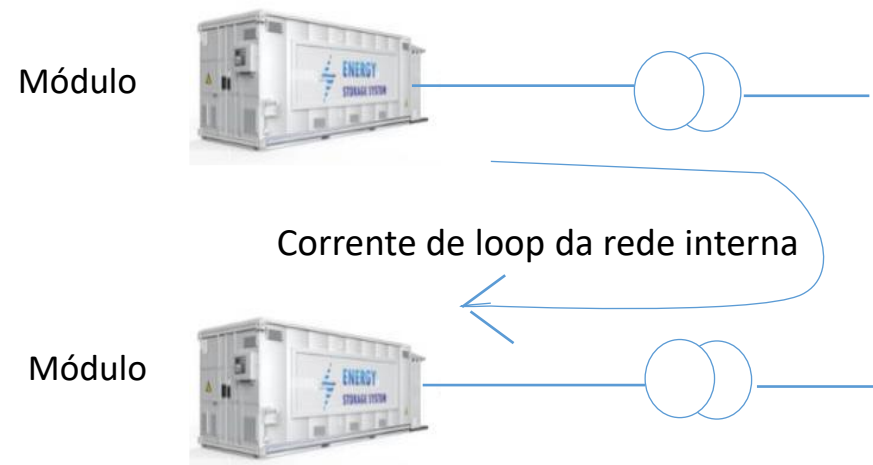
CONTEÚDO

- 01 Tipos de BESS
- 02 Projetos de BESS de black start e localização
- 03 Seleção preliminar da capacidade do BESS
- 04 Estratégia de controle da operação em cenários de modo multi-aplicação**

05. Estratégia de controle de operação BESS em cenários de modo multi-aplicação

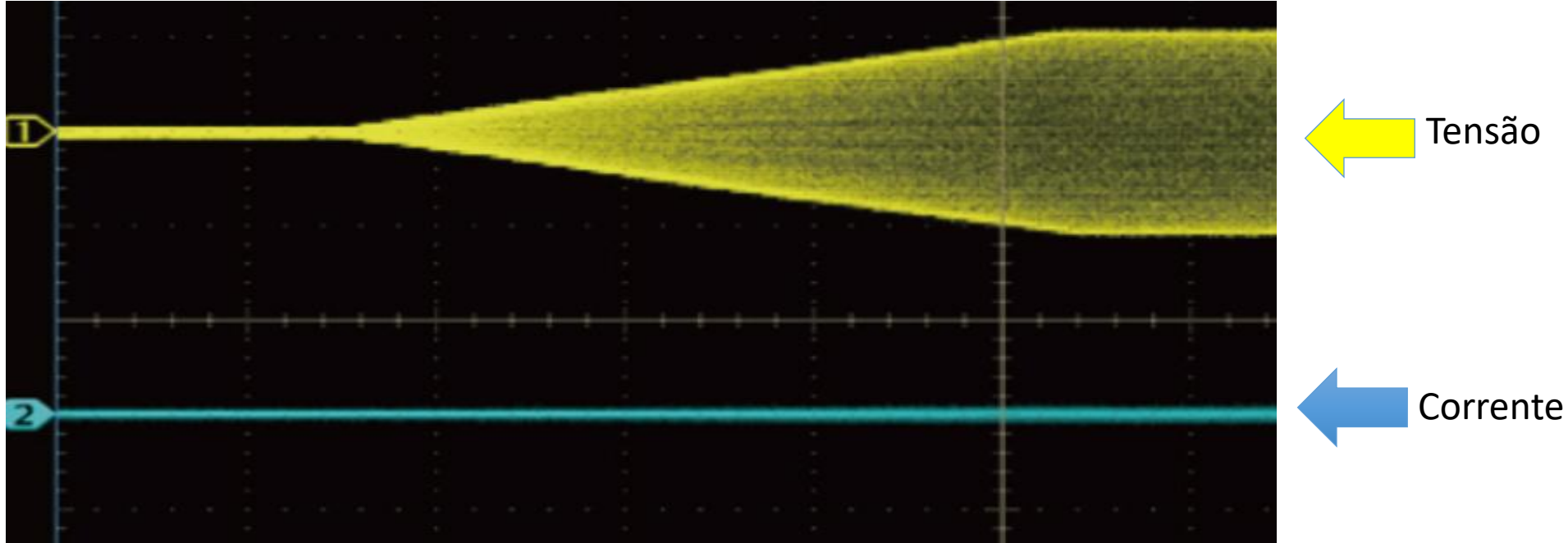
Requisito de resposta BESS para o black start

- Para sistemas de armazenamento de energia, a capacidade mínima tipicamente controlada é pequena, com modulo de **2,5 a 6 MW**.
- Qualquer carga adicional do transformador pode facilmente levar à sobrecarga e fazer com que o sistema colapse.
- Portanto, para sistemas com uma **capacidade superior a 10MW**, vários módulos têm que ser sincronizados para o black start..
- Durante o processo de black start, cada PCS de armazenamento visa o controle de tensão, mas devido a problemas com sincronização de comando e precisão de controle de tensão, o processo de estabelecer tensão para cada PCS não é completamente consistente, e é propenso a diferenças de tensão.
- Devido à **curta distância elétrica** dentro e entre os módulos, **uma pequena diferença de tensão** pode facilmente gerar **correntes de loop de rede interna** significativas, levando ao desligamento por sobrecorrente do PCS, como mostrado na figura abaixo.



05. Estratégia de controle de operação BESS em cenários de modo multi-aplicação

Requisito de resposta BESS para o black start



- Em referência à experiência chinesa, o nível da corrente de loop da rede durante o processo de black start pelo armazenamento de energia por bateria deve ser controlado dentro da faixa mostrada na tabela abaixo.

Requisito de resposta BESS para black start	Valor
Desvio máximo de corrente	<5%, Sem corrente óbvia da rede do laço



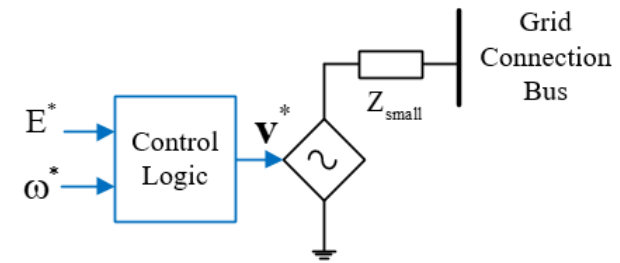
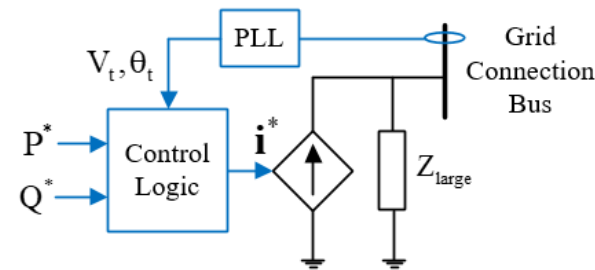
CONTEÚDO

- 01 Tipos de BESS
- 02 Projetos de BESS de black start e localização
- 03 Seleção preliminar da capacidade do BESS
- 04 Estratégia de controle da operação em cenários de modo multi-aplicação
- 05 **Pesquisa estendida**

05. Pesquisa estendida

Tecnologia GRM

À medida que a penetração de dispositivos IBRs aumenta, os sistemas de energia estão experimentando uma tendência de inércia reduzida e enfraquecimento da robustez do sistema, levando a problemas cada vez maiores de estabilidade. Comparado com os **inversores seguidores de rede (GFL)**, a tecnologia de controle de **formadores de rede (GFM)** pode melhorar as capacidades de suporte de tensão e frequência dos inversores, fortalecendo assim a estabilidade do sistema de potência.

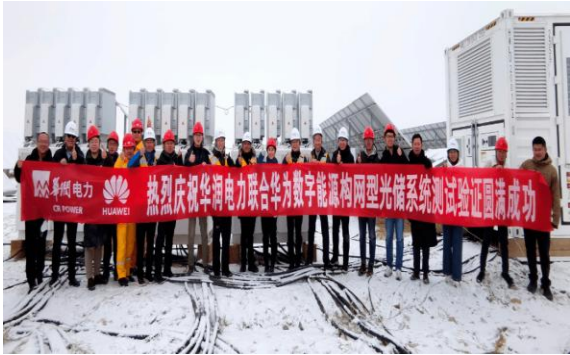


	Inversor seguidor de rede	Inversor formador de rede
Objetivos básicos de controle	Fornecer uma quantidade especificada de energia a uma rede energizada	Configurar a tensão e a frequência da rede
Quantidade de saída controlada	Magnitude da corrente CA e ângulo de fase	Magnitude e frequência da tensão CC
Referência da operação	Confiança na tensão externa da rede para gerar energia	Não há necessidade de referência externa
Elementos de controle presentes	Compulsoriamente tem um PLL (ciclo de fase bloqueado)	Não há necessidade de PLL

05. Pesquisa estendida

Tecnologia GRM

Os cenários de aplicação incluem principalmente integração à rede de energia VRE, sistema de armazenamento de energia por bateria, transmissão HVDC e operação isolada de microrede na China.



Integração de VRE à rede de energia
2023.01.07, o primeiro teste local de GFM solar e sistema BESS no mundo está concluído em Qinghai, China.



Sistema de armazenamento de energia por bateria

Julho de 2023, a primeira estação de armazenamento de energia por bateria GFM de nível descentralizado de 100 Megawatts do mundo está instalada e em operação na rede de Shandong, China.



Transmissão HVDC

Em abril de 2022, o primeiro equipamento de controle GFM VSC-HVDC do mundo foi colocado em operação com sucesso na China com uma capacidade de transmissão de 2500MW.



Microrede isolada

Dezembro de 2022, o primeiro projeto independente de micro-rede GFM BESS concluído na Mongólia Interior, China, que inclui 1 estação BESS de lítio de 25MW, gerador diesel de 4 × 1,8MW e 1 conjunto de controle do gerenciamento do sistema gerador-rede-carga-armazenamento.

05. Pesquisa estendida

Aplicação de black start com BESS

Em **18 de junho de 2024**, a State Grid Corporation da China organizou a Central de Armazenamento de Energia de Corrente Contínua Dalian, Huaneng Dalian Power Plant e Liaoning Dalian Power Supply Company para realizar com sucesso o primeiro teste de black start da unidade de geração térmica de grande porte pela BESS na rede elétrica urbana na China.

Depois que os quase **9 megawatts** de carga de serviço auxiliar das unidades de energia térmica foram iniciados com sucesso pela BESS, uma unidade de geração térmica com capacidade de **350MW** da **Usina de Huaneng Dalian** foi partida com sucesso e conectada à rede elétrica.



Conclusões finais

❑ *Os tipos de BESS para black start:*

Do ponto de vista da economia, a bateria de **fosfato de ferro de lítio** é recomendada, mas a atenção deve ser dada ao seu problema de segurança.

Em caso de requisitos rigorosos de segurança da bateria, a bateria de **fluxo redox de vanádio** também pode ser considerada.

❑ *Seleção do propóstio de utilização BESS:*

O tipo de **partida automática do BESS** é muito mais **caro** do que a sua contrapartida de BESS servindo como **fonte de alimentação auxiliar para a partida da central elétrica**. Portanto, do ponto de vista de **economia de investimento**, BESS como fonte de alimentação auxiliar para a partida da central elétrica é recomendado.

❑ *Seleção do local BESS*

Partir geradores síncronos o local recomendado para a **instalação do BESS** é o **lado de baixa tensão do transformador step-up** do gerador de energia a ser partido.

Conclusões finais

❑ Seleção da capacidade BESS:

$$\text{BESS capacity} = \left(\max \left(P_{N-Selfstarted} * A * B * \text{Ratio}_{P-Auxiliary} \right), \frac{E_{0,max} - E_{0,min}}{SOC_{max} - SOC_{min}} \right), 2\text{Hours} \right)$$

❑ Requisito de resposta do BESS para black start:

Em referência à experiência chinesa, o nível da **corrente de loop** da rede interna durante o processo de black start do armazenamento de energia por bateria deve ser controlado dentro da **faixa de 5%**.

❑ Medidas contra a atenuação do BESS

- A fim de manter um bom estado de descarga da bateria, a **profundidade de descarga** não deve ser inferior a **0,2**.
- A **taxa de carga e descarga** de baterias de íons de lítio deve ser baixa (como **0,5 C, 1 C**).
- A **temperatura de trabalho** real das baterias do lítio-íon deve **ser estritamente controlada**.



Obrigado!

EPPEI

**China Electric Power Planning & Engineering Institute
Power Consult**

Carlos Eduardo Vizeu, João Carlos Ayres

PD 10307-0222/2023

Pesquisa de aplicação de sistemas de armazenamento de energia de baterias (BESS) no sistema de transmissão.