

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA INTEGRAÇÃO DO EIXO A DA INTERLIGAÇÃO NORDESTE/SUDESTE SOB A ÓTICA DE REJEIÇÃO DE CARGAS

**KARINA STOCKLER HERSZTERG; ANTONIO RICARDO DE MATTOS TENÓRIO;
HELIO PESSOA DE OLIVEIRA JUNIOR
OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO ONS**

RESUMO

Este trabalho apresenta o impacto sistêmico ocasionado pelo descasamento do cronograma das obras de transmissão entre os Lotes 2 e 6 do Leilão 13/2015 da Aneel, com a entrada em operação antecipada das linhas que interligam as SE 500 kV Poções 3 e Governador Valadares 6, ocasionando uma configuração degradada não contemplada no Projeto Básico. Essas linhas são de potência natural elevada e os fenômenos observados, durante as simulações, são extremamente severos, pondo em risco os seus equipamentos terminais. Sendo assim, para garantir uma operação segura da LT 500kV Poções 3 – Padre Paraíso 2, os estudos indicaram soluções inovadoras na fase Pré-operacional desse empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE

Transitórios, Manobra, Rejeição, Reator, Neutro, LPNE.

1.0 INTRODUÇÃO

Em outubro de 2016, a empresa ALUPAR, através da TPE - Transmissora Paraíso de Energia e da TCC - Transmissora Caminho do Café S.A., foi vencedora no Leilão nº 013/2015 dos Lotes 2 e 6, que interliga, através de um tronco em 500 kV, o sul da Bahia com os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo na região Sudeste, através das LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II – Governador Valadares 6 – Mutum - Rio Novo do Sul.

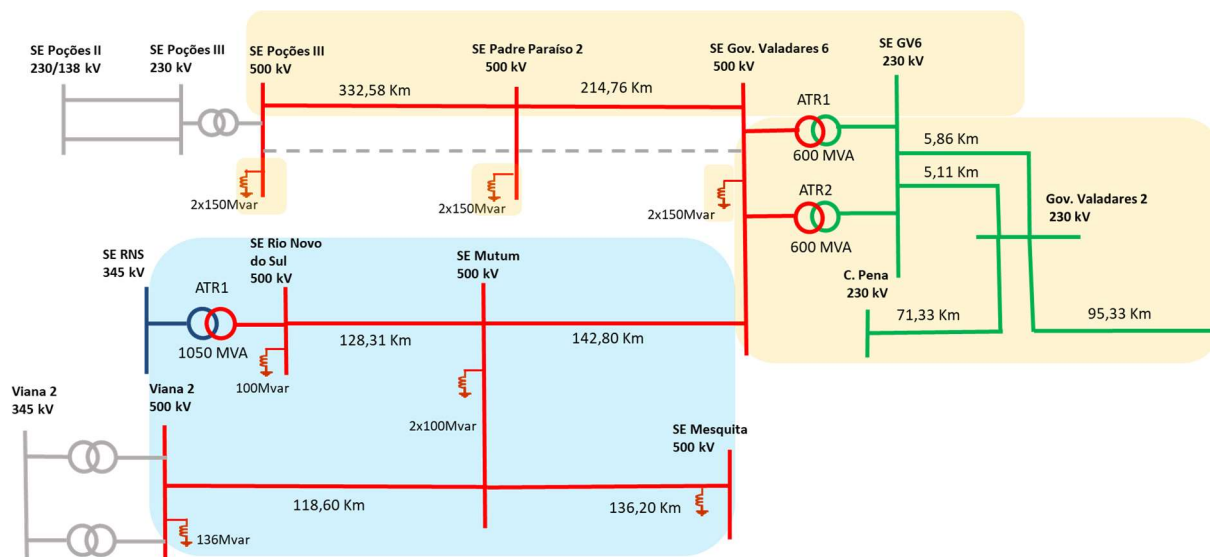


Figura 1 – Diagrama unifilar dos reforços contemplados nos Lotes 2 e 6 do Leilão Aneel 13/2015

Com a entrada em operação antecipada do Lote 2 através da integração das LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II, Padre Paraíso II - Governador Valadares 6, e a SE Governador Valadares 6 seccionando as LT 230 kV Conselheiro Pena – Valadares 2 e Mesquita - Valadares 2, implicou de forma provisória em uma configuração degradada não contemplada no Projeto Básico.

Esta configuração degradada apresentou uma potência de curto-circuito inferior aos valores contemplados no Projeto Básico (4), configurando dificuldades técnicas, sob a ótica de rejeições de carga, conforme será demonstrado no decorrer desse trabalho.

Além disso, as linhas que interligam as SE 500 kV Poções III e Governador Valares 6 são LPNE (Linha de Potência Natural Elevada), consistindo em feixes com 6 condutores/fase (com um SIL de 1680 MW) e um elevado grau de acoplamento entre as fases ($C_0/C_1=0,37^1$), tornando os transitórios eletromagnéticos extremamente severos, toda vez que a sequência zero é excitada. Dessa forma, as análises foram focadas em condições de rejeições de carga (direta e inversa) sob a ótica da segurança elétrica das linhas, reatores e equipamentos de manobra.

Os resultados desse trabalho apontaram condições críticas para a abertura do terminal Poções III sobre a SE Padre Paraíso II, seguida de curto-circuito monofásico. Essa rejeição se caracteriza por sobretensões muito elevadas (tanto em valores eficazes quanto instantâneos) principalmente no terminal Poções III, e absorção de energia pelos para-raios da linha e para-raios dos reatores de fase muito acima da sua capacidade nominal de 5.880 kJ, atingindo níveis de cerca de 345% da capacidade nominal desses para-raios em 500 ms de simulação.

Com a entrada do lote 6 que contempla as LT 500 kV Governador Valadares 6 – Mutum, Mutum – Rio Novo do Sul e o seccionamento da LT 500 kV Mesquita-Viana na SE Mutum, verificou-se que a potência de curto-circuito trifásico aumentou em 84% e a potência de curto-circuito monofásico aumentou em 60,8% na barra de Governador Valadares 6. Com essa nova configuração, foram reavaliadas as rejeições em Padre Paraíso II sobre a SE Poções III, bem como as rejeições em Poções III sobre Padre Paraíso II. Os resultados foram satisfatórios, permitindo uma maior flexibilidade operativa.

2.0 METODOLOGIA USADA NAS REJEIÇÕES DE CARGA

Considera-se uma rejeição de carga a abertura do circuito, que está suprindo carga, seja natural ou por ação de uma proteção. Esta abertura pode dar origem a regimes transitórios com sobretensões indesejáveis. Portanto, se torna claro o caráter de manobra “não controlada” nas rejeições de carga. As condições que levam a rejeições de carga devem ser analisadas nos estudos Pré-operacionais com o objetivo de fornecer subsídios para avaliar medidas/restrições operativas capazes de mitigar as sobretensões indesejáveis e seus efeitos adversos nos equipamentos terminais de linha, notadamente neste estudo, os para-raios. Com tempo de simulação de 500 ms, o estudo considerou as seguintes manobras:

1. Rejeição intempestiva: Abertura tripolar da LT no terminal em análise, procedendo-se a pesquisa de sequência de fase de abertura do disjuntor, de forma a determinar a condição de pior sobretensão e dissipação de energia dos para-raios, para simulação dessa condição.
2. Rejeição seguida de falta monofásica no terminal da abertura: Abertura tripolar da LT no terminal em análise no instante e na fase definidos no item anterior (Rejeição sem falta); Aplicação de defeito monofásico no terminal da linha em análise, no instante e na fase de ocorrência do pico de tensão definido no item anterior (Rejeição sem falta); Abertura tripolar da LT no terminal remoto, 100 ms após a incidência da falta.
3. Rejeição precedida de falta monofásica no terminal da abertura: Aplicação de curto-circuito monofásico no terminal em análise no pico de tensão, sendo pesquisada a fase que resulta na maior sobretensão; abertura do terminal da linha em análise, 100 ms após o curto-circuito e do terminal oposto 120 ms após (Transferência Direta de Disparo – TDD- aproximada de 20 ms foi assumida).

Nos casos em que foram simuladas a TDD, a abertura do terminal remoto ocorreu 20 ms após a abertura do terminal local. Sendo assim, as rejeições foram estudadas para a sequência que produziu o regime transitório mais severo e as maiores absorções de energia pelos para-raios.

3.0 REJEIÇÃO DE CARGA ANTES DA INTEGRAÇÃO DO LOTE 6 DO LEILÃO 13/2015

A seguir serão apresentados os resultados mais severos contemplados nos estudos Pré-operacionais que foram as rejeições de carga advindas da abertura intempestiva da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II em Poções III sobre a SE Padre Paraíso II e a rejeição de carga simples da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II em Poções III sobre a SE Padre Paraíso II seguida de curto-circuito monofásico no terminal de abertura (SE Poções III).

3.1 Abertura intempestiva da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II em Poções III sobre a SE Padre Paraíso II

A abertura intempestiva desta linha sobre a SE Padre Paraíso II apresenta elevada severidade. Essa rejeição se caracteriza por sobretensões elevadas sendo a máxima sobretensão eficaz registrada de 2,135 pu no terminal Poções III, e absorção de energia pelos para-raios da linha acima da sua capacidade nominal de 5.880 kJ, sendo a máxima energia registrada de 8.145 kJ no terminal Poções III, cerca de 138% da capacidade nominal dos para-raios em 500 ms de simulação.

Tabela 2 – Abertura intempestiva em Poções III sobre Padre Paraíso 2

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Padre Paraíso II	Tensão (FN)	758	1,857	C
Terminal Poções III	Tensão (FN)	772	1,892	B
Terminal Padre Paraíso II	Tensão RMS (FN)	547	1,894	B

¹ Relação entre a capacitância de sequência zero e positiva

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Poções III	Tensão RMS (FN)	616	2,135	B
Para-raios do terminal Padre Paraíso II	Energia PR	6.505		B
Para-raios do terminal Poções III	Energia PR	8.145		C

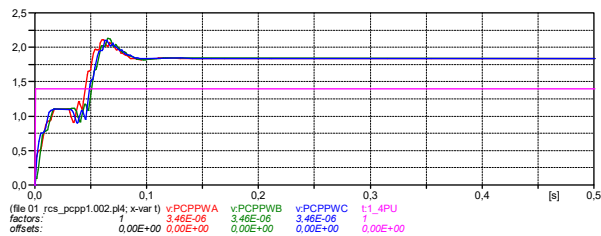


Figura 2 - Tensões eficazes na SE Poções III

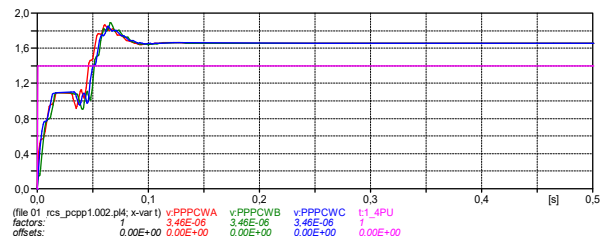


Figura 3 - Tensões eficazes na SE Padre Paraíso II

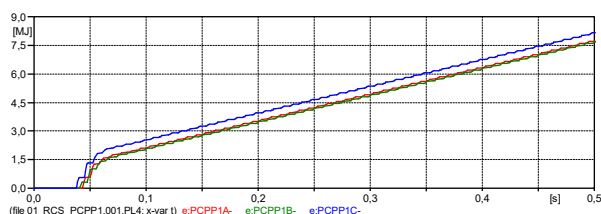


Figura 4 - Energia máxima no para-raios em Poções III

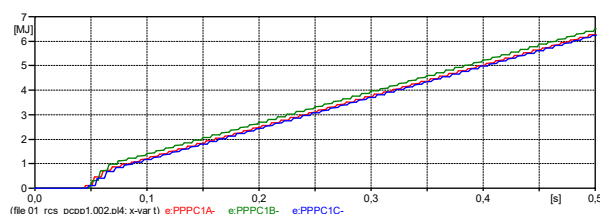


Figura 5 - Energia máxima no para-raios em Padre Paraíso II

De acordo com os Procedimentos de Rede do ONS (2), para os estudos pré-operacionais, as simulações poderão representar os para-raios dos reatores shunt, em adição aos para-raios da própria linha de transmissão, visando evitar que restrições operativas sejam impostas ao sistema. Nessas condições, recomenda-se que não seja excedida 80% da capacidade de absorção desses para-raios.

Sendo assim, buscando-se reduzir a elevada energia absorvida pelos para-raios da linha, as simulações foram refeitas considerando os para-raios dos reatores da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II. Entretanto, isso não foi suficiente, pois a máxima energia registrada com essa medida foi de 6.519 kJ no para-raios da linha e nos para-raios do reator de linha de Poções III. Esta energia é cerca de 110% da capacidade nominal dos para-raios em 500 ms de simulação.

Portanto, a abertura intempestiva no terminal Poções III sobre a SE Padre Paraíso II põe em risco a integridade dos para-raios da linha e dos para-raios do reator de linha, além de equipamentos terminais nesta subestação. Por esta razão, um esquema de TDD foi recomendado nos terminais Poções III e Padre Paraíso II da LT 500 kV Poções III - Padre Paraíso II. Isto conduziu a um decréscimo da energia absorvida pelos para-raios da linha e pelos para-raios do reator de linha que passaram a ser de 1.023 kJ, ou seja, 17% da capacidade nominal dos mesmos.

Tabela 2 – Abertura em Poções III sobre P. Paraíso II considerando para-raios dos reatores de linha e TDD

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Padre Paraíso II	Tensão (FN)	751	1,839	B
Terminal Poções III	Tensão (FN)	749	1,836	A
Terminal Padre Paraíso II	Tensão RMS (FN)	529	1,833	A
Terminal Poções III	Tensão RMS (FN)	578	2,001	B
Para-raios do terminal Padre Paraíso II	Energia PR	402	-----	B
Para-raios do terminal Poções III	Energia PR	1023	-----	C
Para-raios do reator terminal Padre Paraíso II	Energia PR	401,82	-----	B
Para-raios do reator terminal Poções III	Energia PR	1.023,06	-----	C

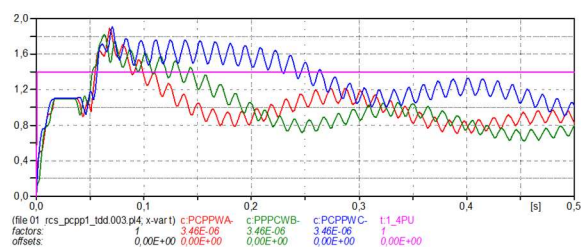


Figura 6 - Tensões eficazes na SE Poções III

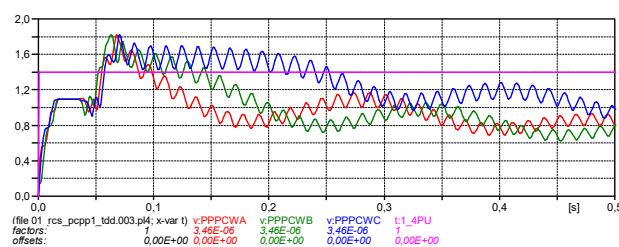


Figura 7 - Tensões eficazes na SE Padre Paraíso II

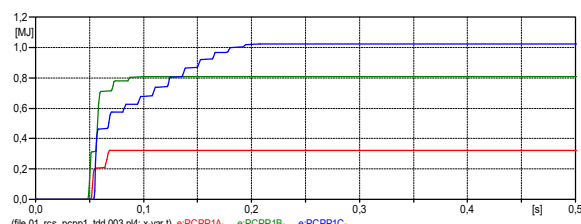


Figura 8 - Energia máxima no para-raios em Poções III

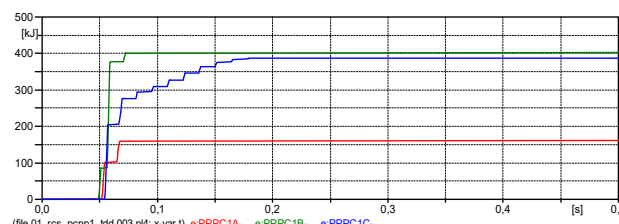


Figura 9 - Energia máxima no para-raios em Padre Paraíso II

3.2 Rejeição de carga simples da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II em Poções III sobre a SE Padre Paraíso II seguida de curto-circuito monofásico no terminal de abertura

A abertura simples seguida de curto-circuito desta linha sobre a SE Padre Paraíso II apresenta elevada severidade. Essa rejeição se caracteriza por sobretensões muito elevadas sendo a máxima sobretensão eficaz registrada de 2,159 pu no terminal Poções III, e absorção de energia pelos para-raios da linha e para-raios dos reatores de fase muito acima da sua capacidade nominal de 5.880 kJ, sendo a máxima energia registrada de 20.303 kJ no terminal Poções III, cerca de 345% da capacidade nominal dos para-raios em 500 ms de simulação.

Essa rejeição é extremamente severa devido aos patamares de energia vislumbrados na simulação pondo em risco os equipamentos terminais da linha. Isso ocorre face à topologia estudada ser diferente daquela definida na fase de engenharia que compreende a etapa de Projeto Básico.

Portanto esse caso é crucial para determinar as condições de contorno para operação segura dessa linha em eventos dessa natureza.

Tabela 3 – Rejeição de carga simples seguida de curto em Poções III sobre Padre Paraíso 2

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Padre Paraíso II	Tensão (FN)	767	1,878	A
Terminal Poções III	Tensão (FN)	791	1,937	A
Terminal Padre Paraíso II	Tensão RMS (FN)	527	1,825	B
Terminal Poções III	Tensão RMS (FN)	623	2,159	B
Para-raios do terminal Padre Paraíso II	Energia PR	1849	-----	B
Para-raios do terminal Poções III	Energia PR	20.303	-----	B
Para-raios do reator terminal Padre Paraíso II	Energia PR	1849	-----	B
Para-raios do reator terminal Poções III	Energia PR	20.303	-----	B

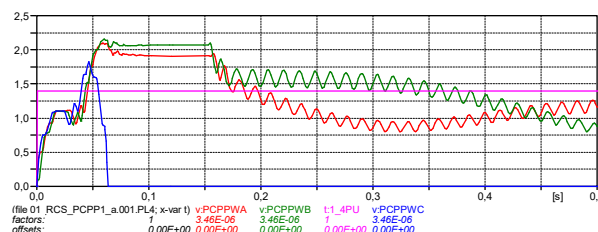


Figura 10 - Tensões eficazes na SE Poções III

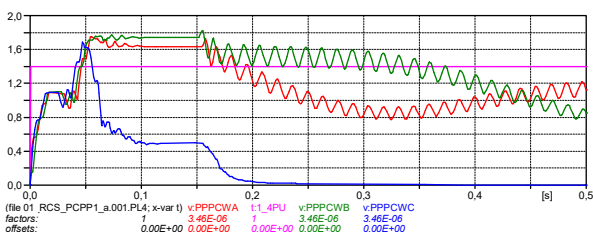


Figura 11 - Tensões eficazes na SE Padre Paraíso II

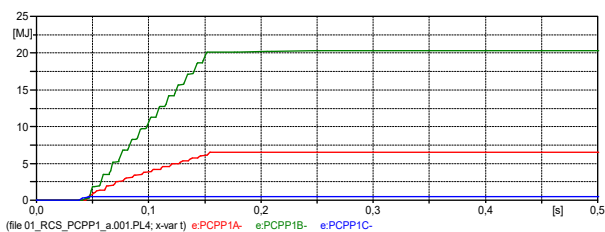


Figura 12 - Energia máxima no para-raios em Poções III

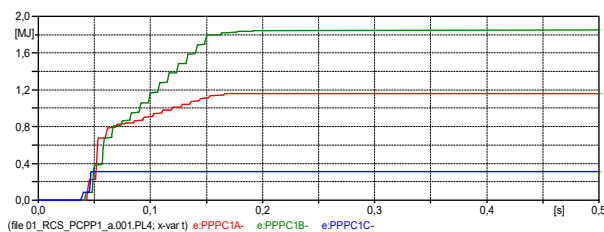


Figura 13 - Energia máxima no para-raios em Padre Paraíso II

Buscando-se uma solução mitigadora, o estudo evoluiu inserindo na simulação os dois reatores de barra de 150 Mvar instalados na SE Padre Paraíso II. Nesse caso houve uma redução significativa da energia nos para-raios da linha e dos para-raios dos reatores de fase para 5.806 kJ no terminal Poções III, cerca de 99% da capacidade nominal dos para-raios em 500 ms de simulação.

Entretanto ainda não foi suficiente, pois a energia absorvida pelos para-raios excedeu 80% da capacidade nominal de absorção deles violando o critério estabelecido nos Procedimentos de Rede do ONS.

Tabela 4 – Rejeição de carga simples seguida de curto em Poções III sobre Padre Paraíso 2 considerando os para-raios dos dois reatores de barra da SE Padre Paraíso II

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Padre Paraíso II	Tensão (FN)	762	1,867	A
Terminal Poções III	Tensão (FN)	789	1,933	A
Terminal Padre Paraíso II	Tensão RMS (FN)	477	1,651	B
Terminal Poções III	Tensão RMS (FN)	563	1,951	B
Para-raios do terminal Padre Paraíso II	Energia PR	367	-----	A
Para-raios do terminal Poções III	Energia PR	5.806	-----	B
Para-raios do reator terminal Padre Paraíso II	Energia PR	367	-----	A
Para-raios do reator terminal Poções III	Energia PR	5.806	-----	B

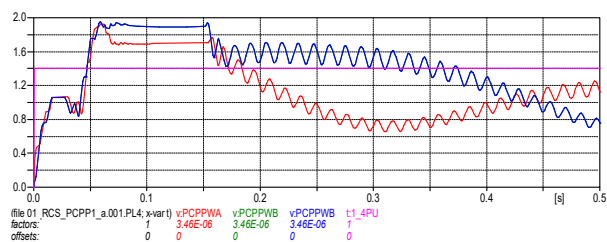


Figura 14 - Tensões eficazes na SE Poções III

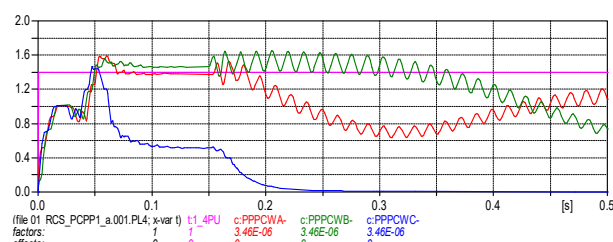


Figura 15 - Tensões eficazes na SE Padre Paraíso II

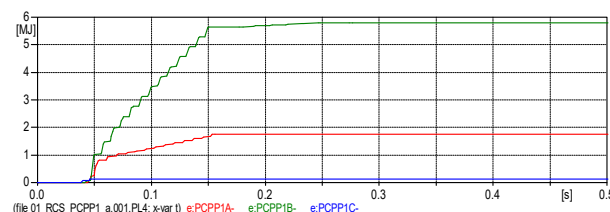


Figura 16 - Energia máxima no para-raios em Poções III

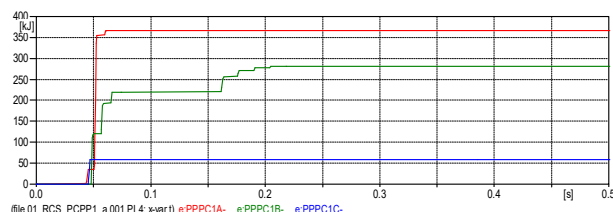


Figura 17 - Energia máxima no para-raios em Padre Paraíso II

A solução encontrada para reduzir esses patamares de energia nos para-raios e proporcionar uma operação segura em eventos dessa natureza, foi inserir adicionalmente aos dois reatores de barra de 150 Mvar da SE Padre Paraíso II, o *bypass* dos reatores de neutro desta linha. Isso implica que foi assumido que esta linha não poderá fazer o religamento automático monopolar enquanto perdurar a restrição de operação com os reatores de neutros (dos reatores de linha) *bypassados* (reatores de linha solidamente aterrados).

Nesse caso, a energia absorvida pelos para-raios da linha e para-raios dos reatores de fase foi de 4.406 kJ no terminal Poções III, cerca de 75% da capacidade nominal dos para-raios dos mesmos em 500 ms de simulação. Essa energia absorvida pelos para-raios ainda é considerada uma energia alta, porém agora atendendo o critério de não exceder 80% da capacidade nominal dos para-raios.

Tabela 5 – Rejeição de carga simples seguida de curto em Poções III sobre Padre Paraíso 2 considerando os para-raios dos dois reatores de barra da SE Padre Paraíso II e o by-pass dos reatores de neutro da linha

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Padre Paraíso II	Tensão (FN)	767	1,878	A
Terminal Poções III	Tensão (FN)	789	1,933	A
Terminal Padre Paraíso II	Tensão RMS (FN)	503	1,741	A
Terminal Poções III	Tensão RMS (FN)	562	1,948	A
Para-raios do terminal Padre Paraíso II	Energia PR	517	-----	A
Para-raios do terminal Poções III	Energia PR	4.406	-----	B
Para-raios do reator terminal Padre Paraíso II	Energia PR	517	-----	A
Para-raios do reator terminal Poções III	Energia PR	4.406	-----	B

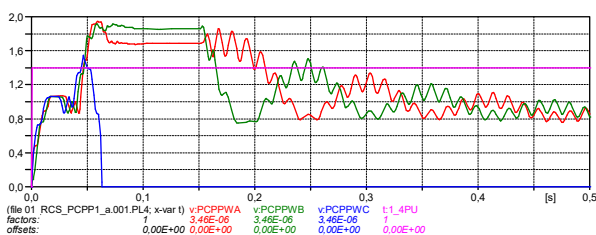


Figura 18 - Tensões eficazes na SE Poções III

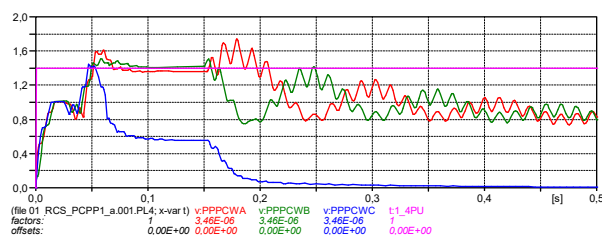


Figura 19 - Tensões eficazes na SE P. Paraíso II

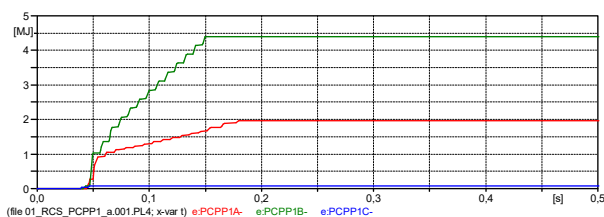


Figura 20 - Energia máxima no para-raios em Poções III

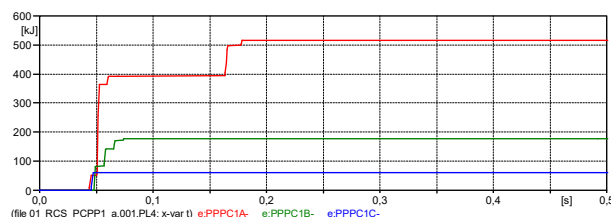


Figura 21 - Energia máxima no para-raios em Padre Paraíso II

A rejeição de carga da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II em Poções III, sobre a SE Padre Paraíso II, seguida de curto-circuito monofásico no terminal de abertura é o caso mais severo com sobretensões muito elevadas e patamares de energia absorvida pelos para-raios de linha e para-raios do reator de linha muito acima da capacidade nominal dos mesmos, impondo risco à integridade dos equipamentos terminais dessa linha. Nesta situação, se nada fosse feito, os para-raios de linha e reator de linha poderiam ser danificados por estarem superados para esta manobra não controlada, nesta configuração.

Para garantir uma operação segura da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II, os dois reatores de barra de 150 Mvar da SE Padre Paraíso II devem estar em operação em toda jornada diária. Nesta condição, em caso de indisponibilidade de um desses reatores, a LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II deverá ser desligada, de forma automática, a partir do terminal da SE Padre Paraíso II.

Outra medida necessária à operação da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II é o bypass dos reatores de neutro dos reatores shunt desta linha. Observa-se que nesta condição, esta linha ficará com o religamento monopolar inibido.

4.0 REAVALIAÇÃO DA REJEIÇÃO DE CARGA APÓS A INTEGRAÇÃO DO LOTE 6 DO LEILÃO 13/2015

Com a entrada do lote 6, verificou-se que a potência de curto-circuito trifásico aumentou em 84% e a potência de curto-circuito monofásico aumentou em 60,8% na barra de Governador Valadares 6. Esse acréscimo na potência de curto-circuito trifásico e monofásico indicou a necessidade de revisão do estudo de rejeição de carga especificamente para as rejeições em Poções III sobre Padre Paraíso II.

Dos resultados das análises, verificou-se que a rejeição de carga da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II em Poções III, sobre a SE Padre Paraíso II, seguida de curto-circuito monofásico no terminal de abertura é o caso mais severo. Essa rejeição se caracteriza por sobretensões muito elevadas e absorção de energia pelos para-raios em 285% acima da sua capacidade nominal, pondo em risco os equipamentos terminais da linha.

Portanto esse caso é crucial para determinar as condições de contorno para operação segura dessa linha em eventos dessa natureza. Com esse objetivo foram estudadas 3 alternativas, conforme a seguir:

- a) Representação dos para-raios dos reatores shunt, em adição aos para-raios da LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II:

Essa alternativa, que corresponde a uma representação mais fiel do fenômeno, não foi suficiente, pois a máxima energia registrada foi de 8.373 kJ no para-raios da linha e no para-raios do reator de linha de Poções III. Isto corresponde a cerca de 140% da capacidade nominal dos para-raios em 500 ms de simulação.

Tabela 6 – Rejeição de carga simples seguida de curto em Poções III sobre Padre Paraíso 2 considerando os para-raios dos reatores de linha

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Padre Paraíso II	Tensão (FN)	740	1,813	B
Terminal Poções III	Tensão (FN)	773	1,895	B
Terminal Padre Paraíso II	Tensão RMS (FN)	529	1,833	B
Terminal Poções III	Tensão RMS (FN)	610	2,113	B
Para-raios do terminal Padre Paraíso II	Energia PR	1.431	-----	B
Para-raios do terminal Poções III	Energia PR	8.374	-----	B
Para-raios do reator terminal Padre Paraíso II	Energia PR	1.431	-----	B
Para-raios do reator terminal Poções III	Energia PR	8.374	-----	B

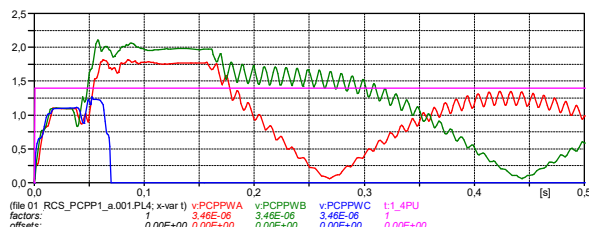


Figura 22 - Tensões eficazes na SE Poções III

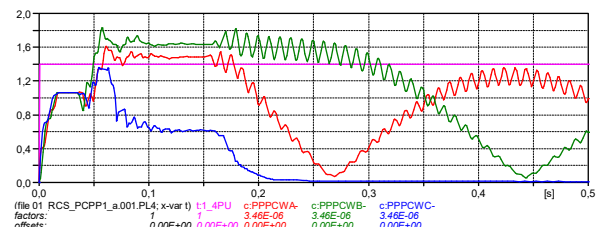


Figura 23 - Tensões eficazes na SE Padre Paraíso II

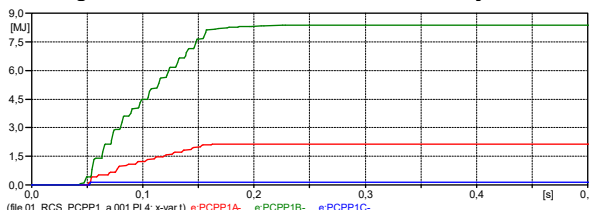


Figura 24 - Energia máxima no para-raios em Poções III

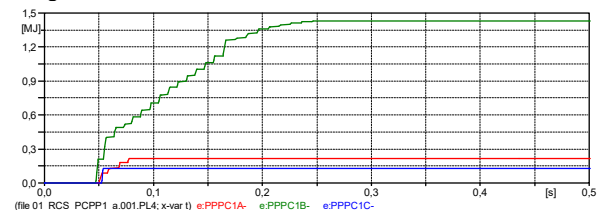


Figura 25 - Energia máxima no para-raios em Padre Paraíso II

- b) Inserção de um reator de barra de 150 Mvar na SE Padre Paraíso II:

Nesse caso houve uma redução significativa da energia nos para-raios da linha e dos para-raios dos reatores de fase para 4.479 kJ no terminal Poções III, cerca de 76% da capacidade nominal dos para-raios em 500 ms de simulação, conforme mostrado na tabela 7. Essa solução mostrou-se segura, pois a energia absorvida pelos para-raios permaneceu abaixo de 80% da capacidade nominal de absorção deles.

Tabela 7 – Rejeição de carga simples seguida de curto em Poções III sobre Padre Paraíso 2 considerando os para-raios dos reatores de linha e um reator de barra na SE Padre Paraíso II

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Padre Paraíso II	Tensão (FN)	735	1,798	B
Terminal Poções III	Tensão (FN)	766	1,877	A
Terminal Padre Paraíso II	Tensão RMS (FN)	513	1,776	B
Terminal Poções III	Tensão RMS (FN)	591	2,048	B
Para-raios do terminal Padre Paraíso II	Energia PR	644	-----	B
Para-raios do terminal Poções III	Energia PR	4.480	-----	B
Para-raios do reator terminal Padre Paraíso II	Energia PR	644	-----	B
Para-raios do reator terminal Poções III	Energia PR	4.480	-----	B

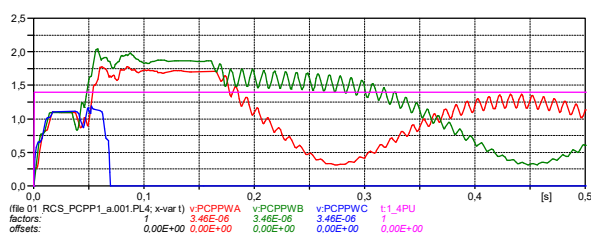


Figura 26 - Tensões eficazes na SE Poções III

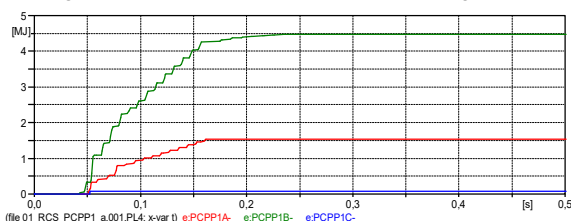


Figura 28 - Energia máxima no para-raios em Poções III

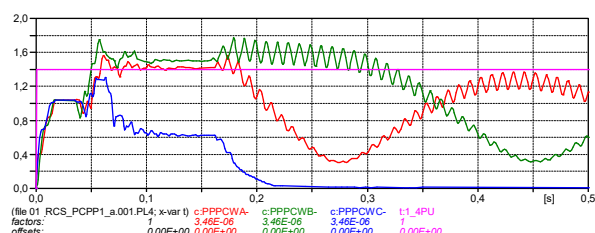


Figura 27 - Tensões eficazes na SE Padre Paraíso II

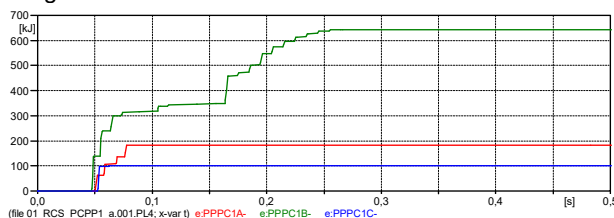


Figura 29 - Energia máxima no para-raios em Padre Paraíso II

c) Bypass dos reatores de neutro

Nesse caso, a energia absorvida pelos para-raios da linha e para-raios dos reatores de fase foi de 2.264 kJ no terminal Poções III, cerca de 39% da capacidade nominal dos para-raios dos mesmos em 500 ms de simulação. Essa solução mostrou-se a mais segura, pois a energia absorvida pelos para-raios ficou em torno de 38% da capacidade nominal de absorção deles. Porém, nesse caso o religamento automático monopolar deverá ser inibido.

Tabela 8 – Rejeição de carga simples seguida de curto em Poções III sobre Padre Paraíso 2 considerando os para-raios dos reatores de linha e by-pass dos reatores de neutro

Localização	Tipo	Valor (kV ou kJ)	Valor (pu)	Fase
Terminal Padre Paraíso II	Tensão (FN)	746	1	C
Terminal Poções III	Tensão (FN)	768	1	A
Terminal Padre Paraíso II	Tensão RMS (FN)	503	1,744	B
Terminal Poções III	Tensão RMS (FN)	568	1,966	B
Para-raios do terminal Padre Paraíso II	Energia PR	463	-----	A
Para-raios do terminal Poções III	Energia PR	2.264	-----	B
Para-raios do reator terminal Padre Paraíso II	Energia PR	463	-----	A
Para-raios do reator terminal Poções III	Energia PR	2.264	-----	B

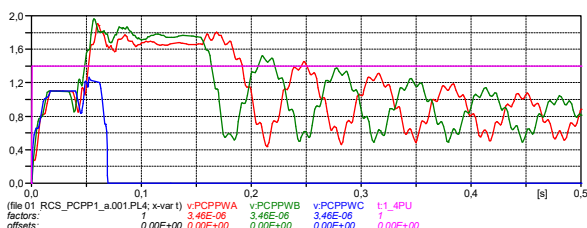


Figura 26 - Tensões eficazes na SE Poções III

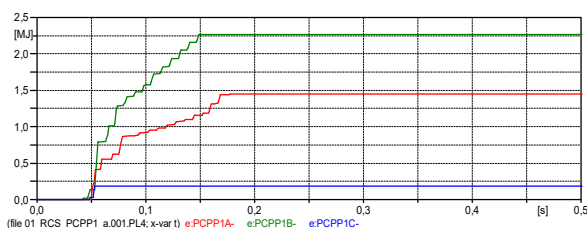


Figura 28 - Energia máxima no para-raios em Poções III

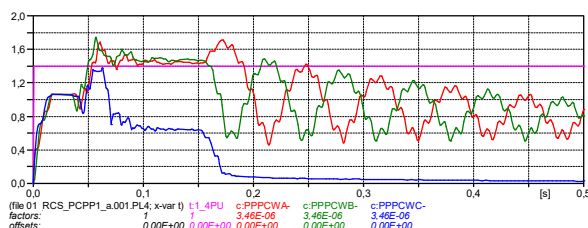


Figura 27 - Tensões eficazes na SE Padre Paraíso II

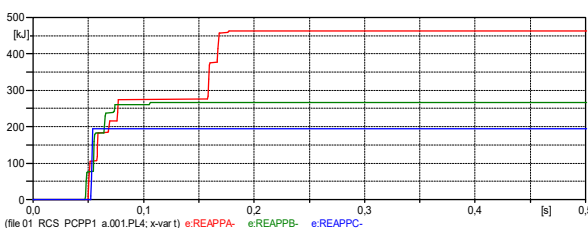


Figura 29 - Energia máxima no para-raios em Padre

5.0 CONCLUSÕES

Os estudos associados ao projeto básico são responsáveis por definir o dimensionamento adequado dos equipamentos que integram a nova instalação a ser incorporada à Rede Básica e, portanto, deveriam ser abrangentes o suficiente para garantir a operação sem riscos para os novos equipamentos ou qualquer restrição de operação para a rede à qual se conectam. Já os estudos pré-operacionais têm como objetivo definir as condições operativas para integração de uma nova instalação, incluindo o período de comissionamento, bem como avaliar seu impacto sobre o SIN, buscando assegurar a qualidade, a confiabilidade e a segurança elétrica da Rede de Operação, além de fornecer as diretrizes para elaboração das instruções de operação da nova instalação.

Nesse contexto, durante os estudos pré-operacionais para integração do tronco em 500 kV, que interliga o sul da Bahia com os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, através das LT 500 kV Poções III – Padre Paraíso II – Governador Valadares 6 – Mutum - Rio Novo do Sul foram identificadas diversas restrições operativas, destacando:

i) necessidade de manter reatores de barra de 150 Mvar da SE Padre Paraíso II em operação durante toda a jornada diária de operação, dificultando o controle de tensão do sudoeste da Bahia e do leste de Minas Gerais; ii) abertura automática da linha em caso de indisponibilidade de um dos reatores, interrompendo o fluxo do Eixo A da interligação NE/SE; iii) aterrar os reatores de neutro através de seu *bypass*; e iv) inibição do religamento automático monopolar.

Essas restrições foram provocadas pelo descompasso na entrada em operação dos lotes do sistema planejado e pela falta de estudo durante a fase de projeto básico relativo às configurações intermediárias.

A tecnologia LPNE tem a relação C_0/C_1 muito baixa (fases muito acopladas) e demandam reatores shunt muito elevados devido ao fato do maior *charging* dessas linhas. A viabilidade para o religamento monopolar dessas linhas demanda a aplicação de reatores de aterramento de valor ôhmico muito elevado, o que eleva sobremaneira o fator de aterramento nos seus terminais. Portanto, as rejeições de carga seguidas de curtos-circuitos monofásicos se tornam muito severas, e dependendo da configuração podem pôr em risco os equipamentos terminais das respectivas linhas de transmissão.

Vale destacar que a aplicação de capacitores série tem um efeito semelhante à utilização de LPNE, dado aumento do SIL equivalente da linha, tendo como benefício a possibilidade de redução de restrições operativas, conforme apresentado em (1). Além disso, a alternativa escolhida pelo Planejador deve apresentar viabilidade técnica em todas as condições definidas nos Procedimentos de Rede, com destaque para o uso de religamento automático monopolar. Observa-se que indisponibilidades desses recursos, que não possam ser mitigadas com restrições operativas, resultam em custos não capturados ou não contabilizados na fase de planejamento.

Por outro lado, a integração de novos empreendimentos, considerando necessidade de impor restrições operativas resulta em severas limitações para a SIN, o que em última análise irá resultar em um custo adicional para toda a sociedade. Vale lembrar, que por ser tratar de uma restrição sistêmica, a Transmissora responsável pelo empreendimento não foi penalizada no que tange ao processo de emissão dos Termos de Liberação (3).

As soluções apresentadas durante os estudos pré-operacionais, possibilitaram a entrada em operação dos circuitos de 500 kV entre as subestações de Poções III, Padre Paraíso II, Governador Valadares 6, Mutum e Rio Novo do Sul, contribuindo para aumento da exportação de energia da região Nordeste para a região Sudeste, mesmo considerando um conjunto de restrições operativas. A solução estrutural para eliminar as respectivas restrições ocorrerá com a entrada em operação do segundo circuito 500 kV entre as subestações de Poções 2 – Padre Paraíso II, previsto atualmente para novembro de 2021.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) A.R.M. Tenório, H.P.O. Junior, K.S. Herszterg, “Bancos de Capacitores Série - Boas Práticas, Modelagem e Requisitos Básicos para Uso em Estudos de Transitórios Eletromagnéticos”, XXVI SNTPEE, maio de 2022
- (2) Procedimentos de Rede do ONS. Diretrizes e critérios para estudos elétricos – Submódulo 2.3. Disponível em www.ons.org.br/paginas/sobre-oons/procedimentos-de-rede/vigentes
- (3) Procedimentos de Rede do ONS. Emissão de Termo de Liberação para instalações de transmissão – Submódulo 7.15. Disponível em www.ons.org.br/paginas/sobre-oons/procedimentos-de-rede/vigentes
- (4) Projetos Básicos dos Lotes 2 e 6 do Leilão Aneel 13/2015
- (5) Electromagnetic Transients Program (EMTP) – Theory Book; Dommel, H. W., Portland, BPA, 1986.
- (6) ATPDraw, The Graphical Preprocessor to ATP – Electromagnetic Transients Programs, <http://www.atpdraw.net/>.
- (7) ONS-DPL-REL-0162/2020 - Estudos Pré-operacionais para Integração do Eixo 500 kV Poções III - Padre Paraíso II - Governador Valadares 6 – Volumes 1 e 2

(8) ONS-DPL-REL-0145/2021 - Estudos Pré-operacionais para Integração do Eixo 500 kV Poções III - Padre Paraíso II - Governador Valadares 6 – Mutum – Rio Novo do Sul - Volumes 1, 2 e 3

6.0 DADOS BIOGRÁFICOS



Karina Stockler Herszterg, Engenheira Eletricista formada pelo Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET-RJ em 1999. Em 2004, obteve grau de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Trabalha no ONS desde 2011 onde é Engenheira de Sistemas de Potência com atuação na área de Estudos Especiais, com ênfase em transitórios eletromagnéticos e transitórios eletromecânicos. Tem interesse pelas áreas de transitórios eletromagnéticos, HVDC, FACTS e Sistemas de Potência.

(2) ANTONIO RICARDO DE MATTOS TENÓRIO

Antonio Ricardo de Mattos Tenório, engenheiro eletricista graduado pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) na turma de julho de 1982. Fez pós-graduação no CESE na Escola de Engenharia de Itajubá (EFEI, 1985). Concluiu seu mestrado pela UMIST (UK, 1995), na Inglaterra, na área de sistemas elétricos e eletrônica de potência. Desde 2004 trabalha no ONS, na área de estudos especiais, como engenheiro especialista. Suas áreas de interesse envolvem sistemas CA e CC, estudos elétricos e eletromagnéticos, qualidade de energia, equipamentos FACTS e HVDC. É o atual Coordenador do CE B4-Elos de Corrente Contínua e Eletrônica de Potência/CIGRE-Brasil.

(3) HELIO PESSOA DE OLIVEIRA JUNIOR

Hélio Pessoa de Oliveira Júnior, engenheiro eletricista pela PUC-RJ (1982), com experiência em estudos de sistemas elétricos com ênfase em modelagens de rede para uso nos programas EMTP/ATP, fluxo de carga e estabilidade transitória. Trabalhou em empresas tradicionais do setor (Itaipu, Eletronorte e ONS desde 2000) e em empresas de consultoria. Atua hoje na área de engenharia de instalações e equipamentos, como engenheiro especialista, com ênfase em estudos de engenharia, dimensionamento e aquisição de equipamentos (CA/FACTS/CC) e estudos operativos. Participou da elaboração dos Anexos Técnicos -600/ -800kVcc (Madeira, Belo Monte) e análise dos projetos básicos.