Hidrelétrica TELES PIRES

VOITH

0A	EMISSÃO PARA CERTIFICAÇÃO	01/07/13	FARFILHO	REINOR	REINOR
REV.	DESCRIÇÂO DA MODIFICAÇÃO	DATA	EXECUTADO	VERIFICADO	APROVADO

GETP - Grupo Eletromecânico Teles Pires

UHE TELES PIRES	GERAL

TITULO

ESTUDOS ELÉTRICOS ESPECIAIS PARA OPERAÇÃO – RELATÓRIO N.01

EXECUTADO FARFILHO	DATA 01/07/2013	NÚMERO DO CLIENTE **TX-RT-VH-US-E00-00001**	REV. **0A**	TAMANHO A4	
VERIFICADO REINOR	DATA 01/07/2013	NUMERO VOITH	REV.	PÁGINA 1	DE 24
APROVADO REINOR	DATA 01/07/2013				

VOITH	Pedido 4050/45000484206/P53	Nº: Farfilho – 012 / 2013	
	CLIENTE: VOITH		FOLHA: 01 de 24
	PROGRAMA:		
	ÁREA: Engenharia Elétrica		
	TÍTULO: ESTUDOS ELÉTRICOS ESPECIAIS PARA OPERAÇÃO DA UHE TELES – PIRES DE 500/13.8 KV – RELATÓRIO N.01		

Farfilho Consultoria Comércio e Representações LTDA
CNPJ : 03.760.184/0001-86
End : Rua Aldo de Azevedo 78 – São Paulo – CEP 05453-030
Tel / Fax : 00551130218060 – 00551199075541 – website : www.farfilho.com.br

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	14/06/2013	24/04/2014							
PROJETO	Farfilho	Farfilho							
EXECUÇÃO	Farfilho	Farfilho							
VERIFICAÇÃO	Farfilho	R.Niero							
APROVAÇÃO	R.Niero	R.Niero							

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA FARFILHO CONSULTORIA COMÉRCIO E REPRESENTAÇÕES LTDA

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 5

2 REDE ELÉTRICA REGIONAL DE 500 KV DA SE ASSOCIADA À UHE TELES PIRES 6

3 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA UHE TELES PIRES 7

4 DIAGRAMA UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO 500 KV DA UHE TELES PIRES 8

5 CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO 500 KV DA SE TELES PIRES 9

5.1 SILHUETA DAS TORRES DE 500 KV 9

5.2 DADOS DAS LT´S 500 KV TELES PIRES - PARANAÍTA 9

6 ESTUDOS DAS SOBRETENSÕES ATMOSFÉRICAS NO SETOR DE 500 KV DA SE TELES PIRES 10

6.1 INCIDÊNCIA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NOS EQUIPAMENTOS E PÁTIO DA SUBESTAÇÃO 10

6.1.1 QUEDAS DE RAIOS EM PÁTIOS DE SUBESTAÇÕES 10

6.1.2 QUEDAS DE RAIOS NAS PROXIMIDADES DAS SUBESTAÇÕES ATINGINDO SUAS LINHAS DE TRANSMISSÃO 11

6.2 MODELOS UTILIZADOS 11

6.2.1 MODELAGEM DA SUBESTAÇÃO 11

6.2.2 REPRESENTAÇÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO 11

6.2.3 MODELOS DOS EQUIPAMENTOS E BARRAMENTOS DA SUBESTAÇÃO 11

6.2.4 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS 12

6.2.5 DADOS DOS PÁRA-RAIOS 13

6.3 CRITÉRIOS UTILIZADOS 14

6.3.1 MÁXIMA SOBRETENSÃO ADMISSÍVEL 14

6.4 METODOLOGIA..... 15

6.4.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE CÁLCULO..... 15

6.4.2 METODOLOGIA ADOTADA NO ESTUDO..... 16

6.4.3 TIPOS DE EVENTOS ANALISADOS 17

6.4.3.1 DESCARGAS DIRETAS..... 17

6.4.3.2 DESCARGAS INDIRETAS 17

6.5 CONCLUSÕES..... 21

6.6 RECOMENDAÇÕES 22

6.6.1 SUPORTABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS E NÍVEIS DE ISOLAMENTO 22

6.6.2 CARACTERÍSTICAS DOS PÁRA-RAIOS DE 500 kV.....22

7 REFERÊNCIAS 22

1 INTRODUÇÃO

O relatório tem como objetivo apresentar os resultdados dos estudos de coordenação de isolamento para o setor da SE 500 kV da UHE Teles Pires localizada nas proximidades dos municípios de Paranaíta e Alta Floresta, no norte do estado de Mato Grosso.

A conexão da UHE Teles Pires ocorrerá em uma subestação coletora na tensão de 500 kV localizada a cerca de 7,5 km da própria usina.

Estes estudos de coordenação de isolamento para a subestação de 500 kV visam determinar os níveis de isolamento para impulsos atmosféricos que deverão ser especificados para os diversos equipamentos da subestação da UHE Teles Pires (equipamentos de manobra) e os níveis de isolamento da instalação (afastamentos elétricos no pátio da SE), os quais definirão as distâncias a serem utilizadas no projeto da subestação, em conjunto com estudos de sobretensões de manobra, afastamentos mínimos entre partes energizadas e pórticos, afastamentos mínimos entre partes energizadas e solo, afastamentos mínimos entre fases dos barramentos rígidos e entre fases dos barramentos flexíveis. Estes níveis de isolamento dependem basicamente das características elétricas de proteção dos pára-raios instalados nos circuitos da subestação de 500 kV e de suas localizações no pátio da subestação de 500 kV, definindo as distâncias elétricas máximas de separação entre os pára-raios existentes nos vãos de linhas e os equipamentos instalados no pátio de 500 kV.

Os níveis mínimos de isolamento dos equipamentos assim determinados para os impulsos atmosféricos, deverão ser compatíveis os níveis de isolamento para as sobretensões de manobra e para as tensões sustentadas de frequência industrial (60 Hz) que deverão ser especificadas para os equipamentos, de acordo com as normas técnicas dos respectivos equipamentos e as normas de coordenação de isolamento.

Os níveis de isolamento para as tensões de frequência industrial, por sua vez, definirão as distâncias de escoamento das buchas, das porcelanas dos equipamentos e das cadeias de isoladores dos barramentos flexíveis (cadeias de amarração).

2 REDE ELÉTRICA REGIONAL DE 500 kV DA SE ASSOCIADA À UHE TELES PIRES

A SE de 500 kV associada à UHE Teles Pires fica situada no norte do estado de Mato Grosso, nas proximidades dos municípios de Paranaíta e Alta Floresta, possuindo 5 unidades geradoras totalizando 1.820 MW.

A SE 500 kV da usina será conectará ao SIN na subestação de Paranaíta 500 kV, situada a cerca de 7,5 km da usina, ficando estas subestações interligadas com o sistema de 500 kV do SIN - Sistema Interligado Nacional da região norte do país, conforme indicado na Figura 1.

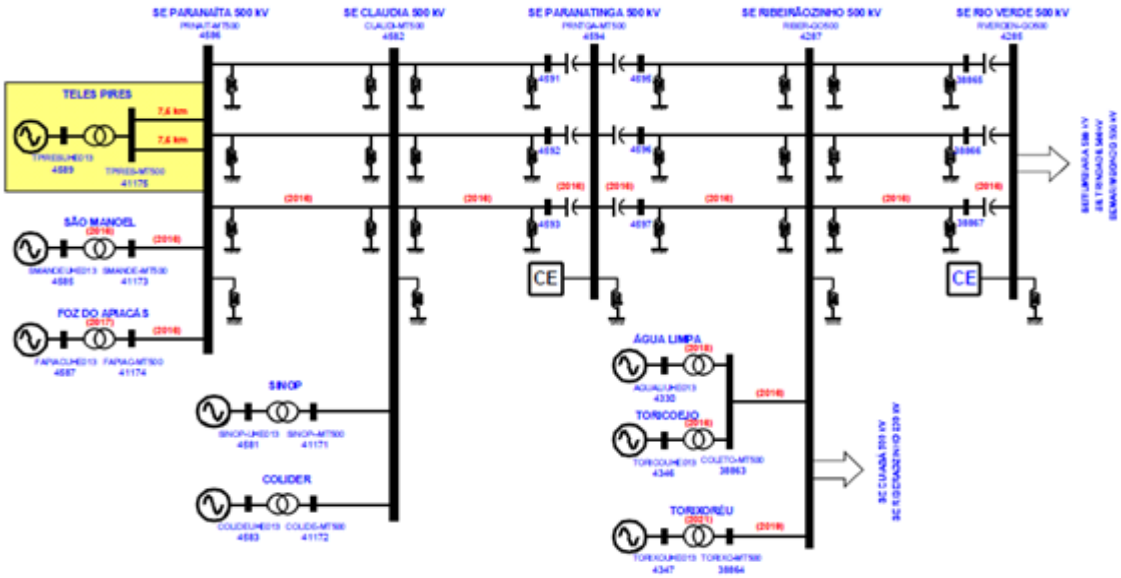


Figura 1 – Sistema Elétrico Regional de 500 kV Associado à SE Teles Pires 500 kV

3 LOCALIZAÇÃO DA UHE TELES PIRES

4 DIAGRAMA UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO DE 500 KV DA UHE TELES PIRES

O arranjo de barramentos do setor de 500 kV da SE da UHE de Teles Pires é do tipo **Disjuntor e Meio**, arranjo padronizado pelos Procedimentos de Rede do ONS(Operador Nacional do Sistema Elétrico) para subestações com este nível de tensão, conforme a figura 2.

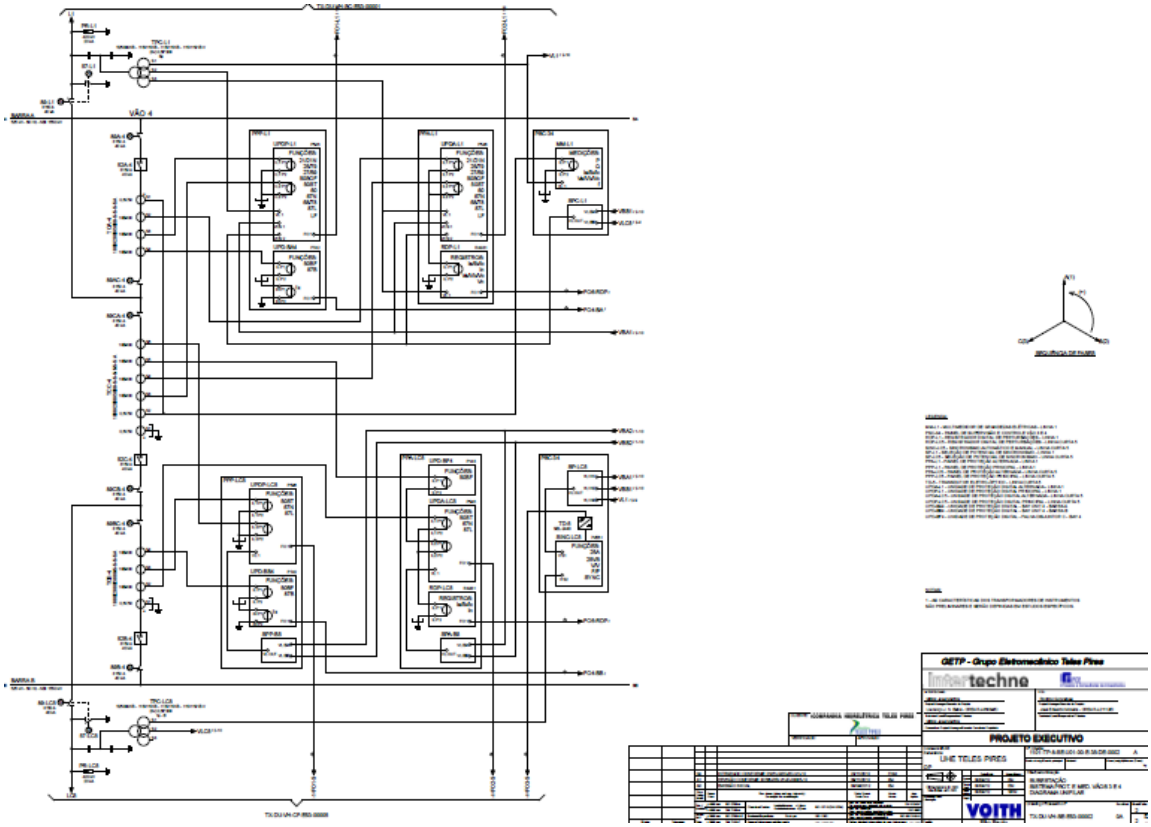


Figura 2 – Diagrama Unifilar Simplificado – SE Teles Pires 500 kV

5 CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

5.1 Silhuetas das Torres de 500 kV

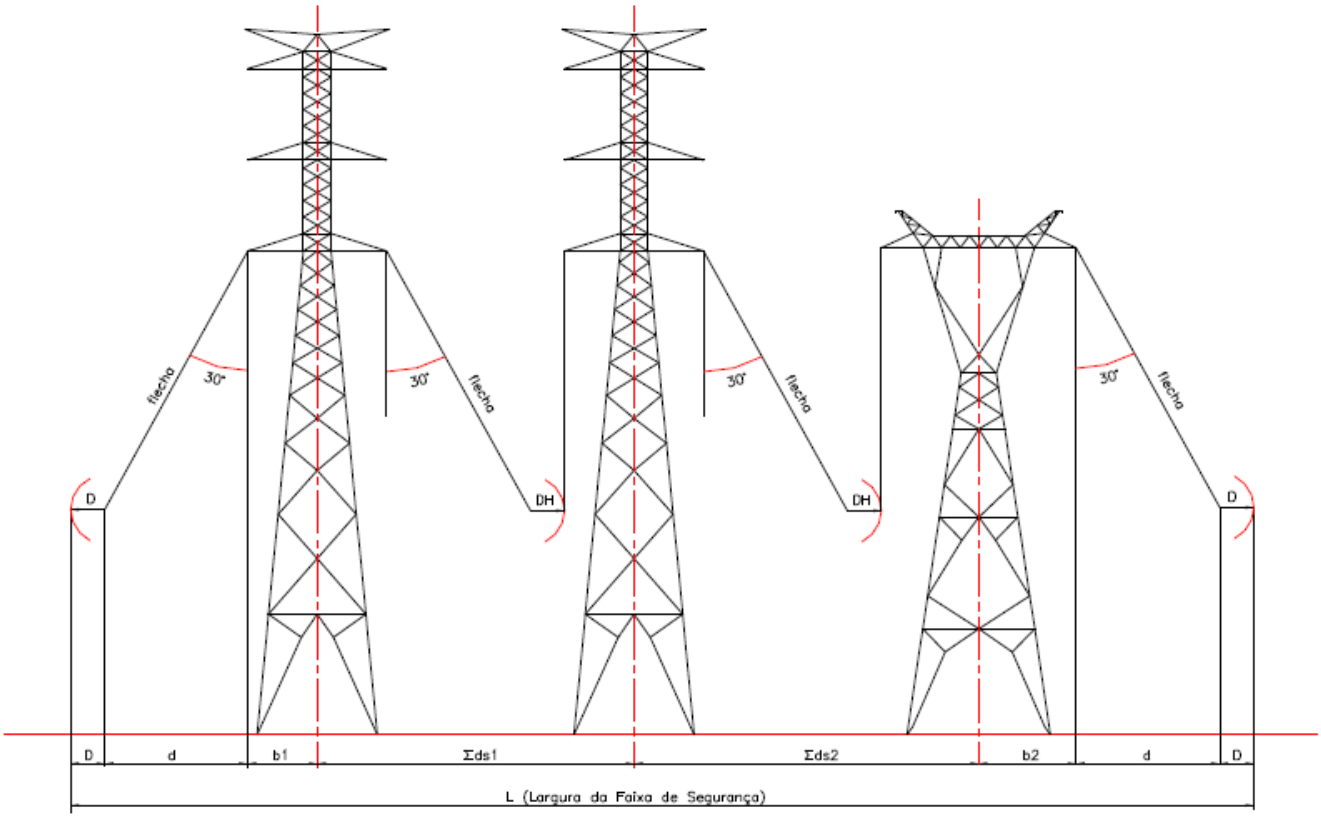


Figura 5 – Silhetas das Torres de 500 kV Teles Pires - Paranaíta

5.2 Dados das LT 500 kV Teles Pires - Paranataíta

Identificação da Linha: **SE Teles Pires a SE Paranaíta**

Tensão Nominal de Operação: 500 KV

Cabo das fases: CAA Rail 954,0 MCM

Número de condutores por fase: 3 (três condutores)

6 ESTUDOS DAS SOBRETENSÕES ATMOSFÉRICAS NO SETOR DE 500 kV DA SUBESTAÇÃO TELES PIRES

6.1 INCIDÊNCIA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NOS EQUIPAMENTOS E PÁTIO DA SUBESTAÇÃO

As decargas atmosféricas podem atingir as subestações e seus equipamentos pelas seguintes formas:

a) Queda de raios nos pátios das subestações

b) Queda de raios nas linhas de transmissão conectadas às subestações

6.1.1 Quedas de Raios em Pátios de Subestações

São muito raras as quedas de raios nos pátios das subestações.

Isso se deve em primeiro lugar ao fato dessas instalações terem uma área reduzida no contexto da região onde se formam as tempestades. Eventuais quedas diretas nos pátios das subestações solicitariam severamente seus componentes.

Em segundo lugar, a blindagem por cabos guarda (cabos pára-raios) e mastros instalados sobre os pórticos das subestações garante uma proteção efetiva dessas instalações contra as descargas atmosféricas diretas em seus componentes.

Portanto a probabilidade de raios atingirem diretamente uma subestação, colocando em risco equipamentos e instalação, é extremamente baixa e não será considerada nesse estudo.

6.1.2 Quedas de Raios nas Proximidades das Subestações Atingindo suas Linhas de Transmissão

As quedas de raios que atingem as linhas de transmissão nas proximidades das subestações provocam sobretensões em todos os componentes localizados nos seus pátios de manobra.

A seguir, serão apresentadas todas as informações utilizadas para modelagem do sistema elétrico considerado na SE Teles Pires 500 kV.

6.2 MODELOS UTILIZADOS

Para a representação no programa ATP, cada um dos diversos elementos do sistema elétrico foi modelado de acordo com a natureza do fenômeno que está em análise, ou seja, para altas freqüências. Descreve-se a seguir os modelos adotados.

6.2.1 Modelo da Subestação

A Subestação Teles Pires 500 kV, conforme plantas e cortes apresentadas em Anexo, foi modelada somente para a fase que recebe a descarga elétrica. Cada conexão entre dois pontos dos barramentos foi representada por parâmetros distribuídos, sem perdas, através de suas impedâncias de surto, velocidades de propagação e comprimentos correspondentes.

6.2.2 Representação das Linhas de Transmissão de 500 kV

As linhas de transmissão de 500 kV foram representadas por impedâncias de surto em função da configuração da cabeça da torre e dos condutores, tendo-se adotado o valor de 350 Ω.

6.2.3 Modelos dos Equipamentos e Barramentos da Subestação

Os equipamentos foram representados pelas suas capacitâncias (parasitas) correspondentes à resposta a um impulso de tensão de alta frequência, tendo sido adotados para cada um os seguintes valores típicos:

- **transformador de potencial capacitivo = 5,0 nF**

- **disjuntores = 0,1 nF**
- **chaves secionadoras = 0,1 nF**
- **bobina de bloqueio = 0,05 nF**
- **transformadores de corrente = 0,5 nF**

Os barramentos foram representados por suas impedâncias de surto, em função das bitolas e disposição dos condutores/tubos e respectivas alturas em relação ao solo:

- barramentos principais: 333 Ω

- barramentos flexíveis de interligação de barramentos: 350 Ω

6.2.4 Descargas Atmosféricas

As descargas atmosféricas foram modeladas por fontes de tensão com a forma de onda apresentada na Figura . Assim, as descargas diretas nos condutores de fase foram representadas por uma fonte de tensão atrás de uma resistência cujo valor é igual à impedância de surto da linha. Esta resistência tem por objetivo fazer com que toda onda refletida da subestação seja absorvida pela resistência e não retorne à própria subestação. Os valores de *tf* e *tm* são 1,2 e 50 microsegundos, respectivamente.

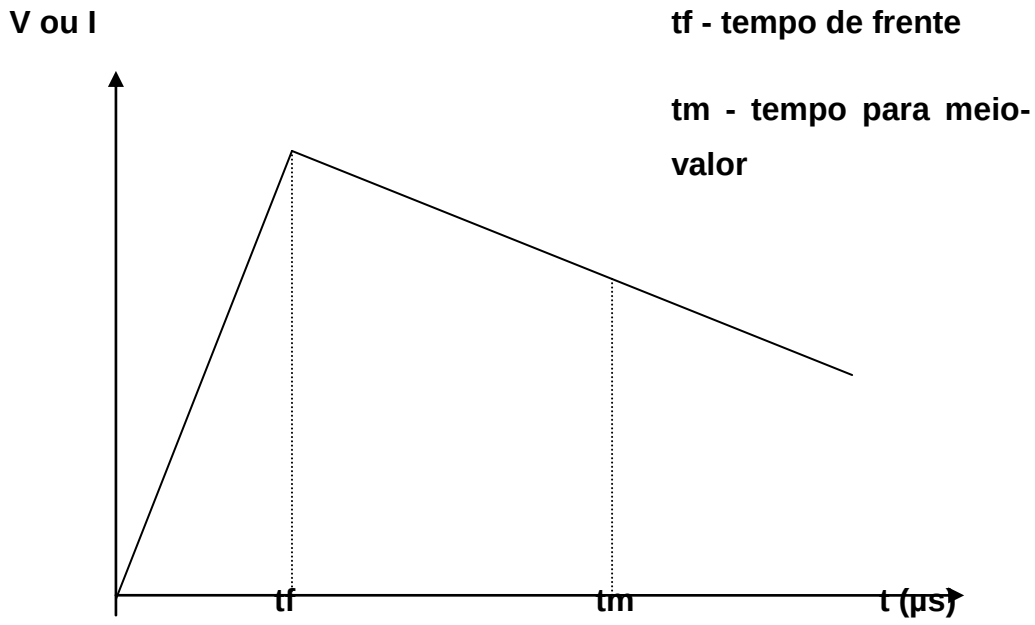


Figura 6 (a) - Forma de Onda da Descarga Atmosférica Padronizada

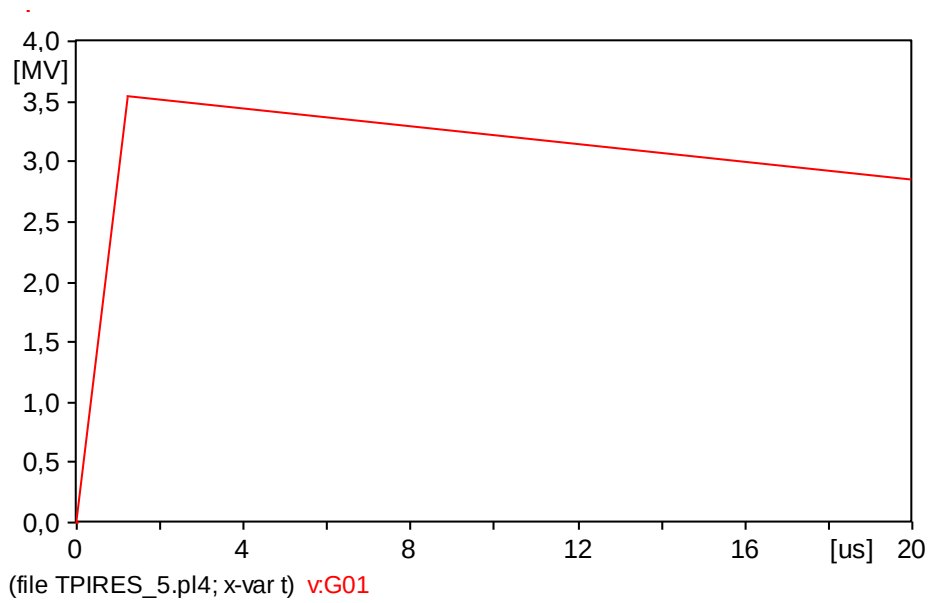


Figura 6 (b) - Forma de Onda da Descarga Atmosférica Incidente pelas LT´s 500 kV na SE T. Pires

6.2.5 Dados dos Pára-Raios

Nas simulações, foi considerado que o setor de 500 kV da SE Teles Pires (vãos de linhas e de transformadores) está protegido através de pára-raios de óxido de

zinco de tensão nominal igual a 420 kV eficaz, coluna simples e corrente de descarga nominal de 10 kA.

Os pára-raios foram representados através de resistências não lineares variáveis com a tensão, utilizando o modelo 99 do programa ATP específico para modelagem de pára-raios ZnO. Os valores adotados em todas as simulações para a tensão residual X corrente de descarga (característica V x I) estão apresentados na tabela 4.

I (A)	TENSÃO (V)
5000	898000
10000	945000
20000	1030000
40000	1125000

Tabela 4: Características V x I dos Pára-Raios do setor de 500 kV da SE Teles Pires - Curva 8/20 µs

6.3 CRITÉRIOS UTILIZADOS

6.3.1 Máxima Sobretensão Admissível

Considerou-se que as máximas sobretensões admissíveis no interior da SE Teles Pires no setor de 500 kV, devido à incidência de surtos atmosféricos pelas linhas de transmissão de 500 kV, deveriam manter uma margem de proteção de aproximadamente 5% em relação aos níveis de isolamento dos equipamentos para impulsos atmosféricos (1550 kV). Desta forma os seguintes valores foram considerados.

NÍVEL DE ISOLAMENTO 500 KV		SOBRETENSÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL
Barramentos Principais	1550 kV	1480 kV
Disjuntores	1550 kV	1480 kV
Equipamentos de Entrada de Linha	1550 kV	1480 kV

Tabela 5: Critério adotado para tensão máxima suportável: 95% do Nível Básico de Isolamento (NBI)

6.4 METODOLOGIA

Neste item apresenta-se uma descrição sucinta da metodologia de cálculo adotada para o estudo de coordenação de isolamento da SE Teles Pires.

6.4.1 Descrição do Método de Cálculo

O método de cálculo do programa ATP para este tipo de estudo, baseia-se em ondas trafegantes e integração trapezoidal. Desta forma, os elementos envolvidos no estudo de descargas atmosféricas (linhas de transmissão e distâncias de barramentos no interior da subestação) foram modelados por parâmetros distribuídos (com valores de impedância de surto, velocidade de propagação e comprimento), permitindo obter-se o comportamento das sobretensões ao longo do tempo em qualquer ponto de interesse no interior da subestação.

6.4.2 Metodologia adotada no Estudo

A metodologia adotada para a realização do estudo consistiu na determinação das máximas sobretensões que podem ser esperadas no interior da SE Teles Pires em função de ocorrência de descargas atmosféricas atingindo nas linhas de transmissão de 500 kV Teles Pires - Paranaita.

Os cálculos realizados procuraram maximizar as sobretensões através da consideração das condições mais severas a que estes elementos estão sujeitos, incluindo a conjugação dos seguintes aspectos:

- máximas amplitudes para as descargas atmosféricas;
- maiores taxas de crescimento (kA/µs);
- locais mais críticos para a ocorrência da descarga;
- configurações da subestação mais pessimistas.

6.4.3 Tipos de Eventos Analisados

Foram analisados os seguintes eventos:

- Descargas Diretas
- Descargas Indiretas

Para definição das amplitudes, tempos de frente e taxas de crescimento para as descargas atmosféricas foram adotados os valores recomendados pelas referências [2], [3] e [4] e apresentados nas figuras 3, 4 e 5.

6.4.3.1 Descargas Diretas

Os estudos de descargas diretas consideraram a máxima corrente que poderia atingir os cabos fases diretamente, considerando-se o modelo eletrogeométrico para as estruturas das linhas de transmissão conectadas à SE 500 kV Teles Pires. Adotou-se a tensão máxima de 3542 kV, acima 3σ do valor $V_{50\%}$. O tempo de crista considerado nas simulações foi de 1,2 µs.

6.4.3.2 Descargas Indiretas

Os estudos de descargas indiretas têm por objetivo a análise das descargas de alta intensidade nas linhas de transmissão de 500 kV de Teles Pires.

O fenômeno associado às descargas indiretas pode ser descrito da seguinte forma: quando um raio atinge uma das torres de uma linha de transmissão é estabelecido um processo de propagação de ondas de tensão e corrente nos cabos pára-raios, nas torres próximas e nos sistemas de aterramento. A propagação do surto nos cabos pára-raios induz nos condutores de fase o aparecimento de tensões acopladas, através da relação de capacitâncias próprias e mútuas desses cabos.

Assim, a cadeia de isoladores, que é o ponto onde o isolamento entre os cabos pára-raios e os condutores é mais fraco, ficará sujeita à diferença entre a tensão no topo da torre e tensão induzida no condutor.

No caso de descargas atingindo os cabos pára-raios, a tensão atingirá valores maiores quanto maior for o afastamento em relação às torres, sendo, portanto o meio do vão o ponto de incidência que provoca as maiores tensões. Neste caso, a tensão à qual o isolamento em ar entre os cabos pára-raios e condutores ficará submetido, é consideravelmente maior do que a tensão à qual a cadeia de isoladores ficará submetida se uma descarga de mesma intensidade atingisse a torre.

Entretanto, devido ao efeito corona, ocorre a distribuição da carga elétrica além da superfície do cabo, fazendo com que o seu raio efetivo seja maior, e assim maior o acoplamento entre o cabo pára-raios e o condutor, reduzindo bastante a diferença de tensão entre ambos.

Para definição dos valores das maiores sobretensão que podem incidir na SE Teles Pires, tanto para descargas diretas como indiretas nas linhas de transmissão, adotou-se a máxima suportabilidade para impulso atmosférico das cadeias de isoladores da linha de transmissão, que pode ser expressa pelo valor a mais 3 desvios padrão (σ) do valor médio (CFO):

$$V_{suportável} = CFO\ (1 + 3\ \sigma)$$

sendo: $\sigma = 3\%$ (desvio padrão da suportabilidade das cadeias a impulsos atmosféricos)

Adotando-se o valor $\mathbf{V_{50\%}}$ para impulsos atmosféricos das cadeias de isoladores das linhas de 500 kV da SE Teles Pires é + 3250 kV crista / - 3250 kV crista, o seguinte dado foi considerado como o maior valor de descarga através das cadeias de isoladore da LT que pode atingir a subestação:

LT's 500 kV: CFO = 3250 Kv

$V_{máx} = 3250 \times (1 + 3 \times 0{,}03) = 3542$ kV

Estas sobretensões sofrem atenuação e distorção ao se propagarem em direção a subestação. Um valor típico encontrado na literatura para distorção da frente de onda é de aproximadamente 1 μs por cada quilometro percorrido [1]. No estudo, consideraram-se descargas atmosféricas atingindo os cabos pára-raios ou os condutores da linha de transmissão 500 kV Teles Pires – Paranaíta, provocando o rompimento do arco através da cadeia de isoladores. Neste caso, o surto de tensão circulante nos cabos condutores tem como amplitude máxima o valor de suportabilidade da cadeia de isoladores. Até atingir a subestação, o surto trafegante sofreria distorção de sua frente de onda provocada basicamente pelo efeito corona, fato que não foi considerado nas simulações de forma a se obter sobretensões mais severas nos equipamentos.

Foi analisada para a queda de raios no pátio a configuração mais pessimista de operação da subestação (somente com 2 linhas energizadas), visando maximizar a amplificação das sobretensões atmosféricas no pátio da instalação pelo *efeito distância*.

SE Teles Pires - Pátio de 500 kV

Local de Descarga	Configuração da Subestação	Pátio	Extremidades de Barramentos	Disjuntores
LT Teles Pires - Paranaíta	2 LTs	500	**1245**	1126

Tabela 8: *SE Teles Pires* - Sobretensões Máximas Encontradas [kV]

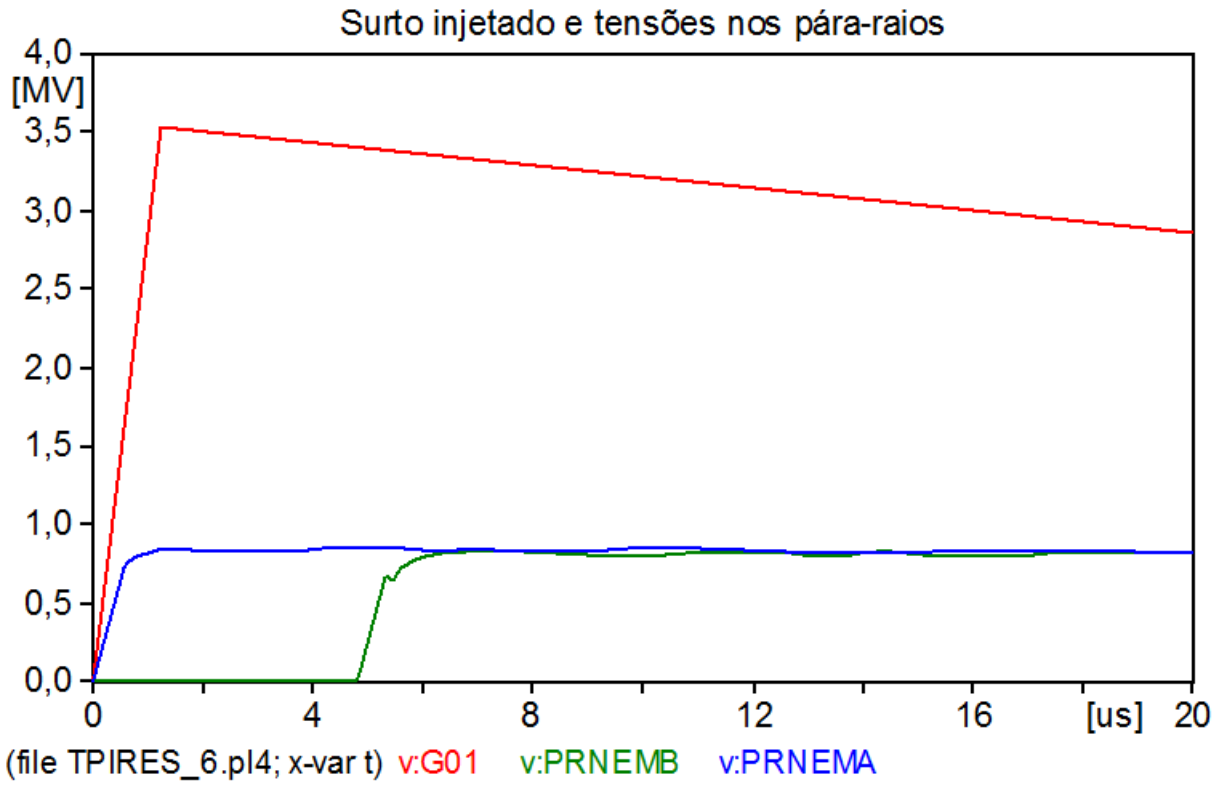


Figura 11 – Surto Injetado na SE Teles Pires por uma das LT´s e Tensões nos Pára-Raios das Linhas

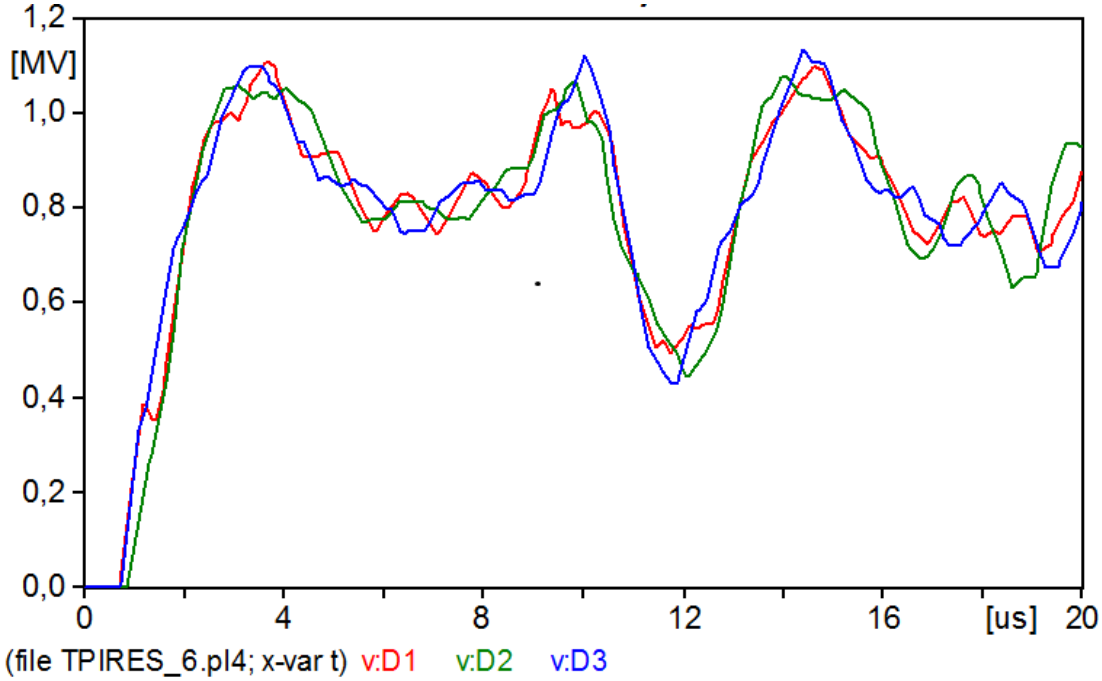


Figura 12 - Sobretensões nos Disjuntores D1, D2 e D3

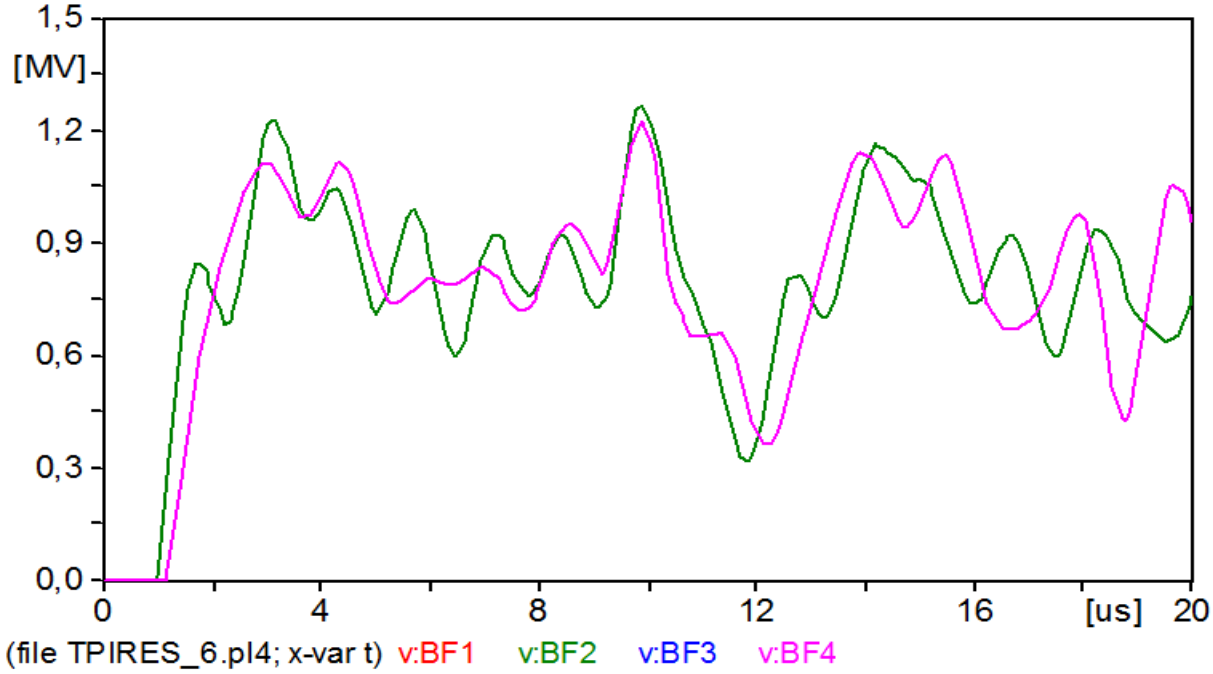


Figura 13 – Sobretensões nas Extremidades dos Barramentos

6.5 CONCLUSÕES

Não foram verificados, nas análises de incidência de descargas atmosféricas na SE Teles Pires 500kV valores superiores às máximas sobretensões admissíveis (tabela 5) e conseqüentemente aos níveis de isolamento de todos os equipamentos. A situação mais severa, para o pátio de 500 kV, correspondente à sobretensão de **1245 kV**, nas extremidades dos barramentos de 500 kV da SE Teles Pires. Portanto, todos os valores estão dentro da suportabilidade dos equipamentos.

Os pára-raios de tensão nominal de 420 kV escolhidos para o setor de 500 kV mostram-se adequados para a proteção dos demais equipamentos deste setor da SE Teles Pires. As distâncias entre os pára-raios e os equipamentos, obtidas do projeto desta subestação, são adequadas e devem ser mantidas de forma a garantir a proteção fornecida por estes elementos.

Ressalta-se aqui que os resultados obtidos para o terminal da SE da UHE Teles – Pires se aplicam literalmente ao terminal da linha na SE Paranaítas também.

6.6 RECOMENDAÇÕES

6.6.1 Suportabilidade dos Equipamentos e Níveis de Isolamento

Conforme apresentado no item de conclusões, para a configuração mais desfavorável analisada de elementos energizados na SE Teles Pires, não foi encontrada nenhuma sobretensão superior aos níveis de isolamento dos equipamentos a serem instalados no setor de 500 kV.

Desta forma, estão adequados os níveis de isolamento de 1550 kV especificados para o setor de 500 kV, tanto para os equipamentos a serem instalados nesta subestação como para o seu pátio de manobra (cadeias de isoladores e isolamentos em ar).

6.6.2 Características dos Pára-Raios de 500 kV

Adicionalmente, as distâncias entre os equipamentos e os pára-raios que os protegem no pátio de 500 kV, indicadas do projeto da Subestação Teles Pires, conforme cortes e planta nas figuras 8 e 9, em anexo, são adequadas e devem ser mantidas de forma a garantir a proteção fornecida por estes elementos.

7 REFERÊNCIAS

[1] K. Berger, R.B. Anderson and H. Kroningh - “Parameters of Lightning Flashes” - Electra no 41, July 1975.

[2] O. Kastrup e outros - “Subestações de 500 kV da ELETROSUL - Coordenação de Isolamento” - IV SNPTEE, Rio de Janeiro – 1977

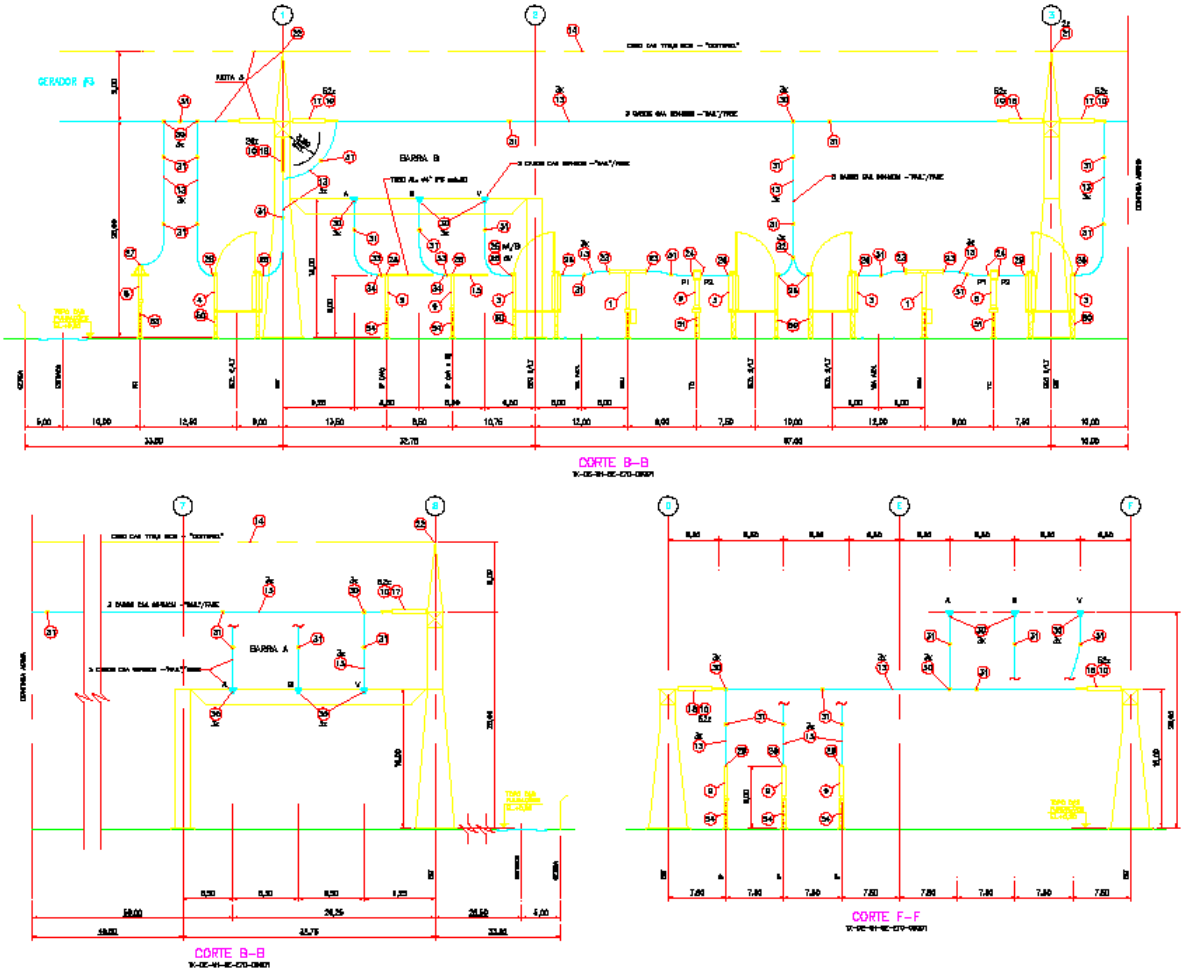
[3] O. Kastrup e outros - “Coordenação de Isolamento das Subestações do Sistema de Transmissão de Itaipu 800 kV”, IV SNPTEE, Rio de Janeiro - 1977 e VII Congresso Panamericano de Engenharia Mecânica, Elétrica e Ramos Afins (COPIMERA), Santiago do Chile - 1977

[4] J. Amon Filho e outros - “Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento”, Editora da Universidade Federal Fluminense e Furnas Centrais Elétricas, 1987.

[5] ELETROBRÁS - EFEI - FUPAI - “Proteção Contra Surtos de Tensão”, julho de 1978 - Capítulo VII.

[6] IEEE Application Guide for Transiente Recovery Voltage for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.

[7] Cortes – TELES PIRES



(b)

Figura 8 - SE Teles – Pires : Setor 500 kV - Cortes

[8] Planta – TELES PIRES

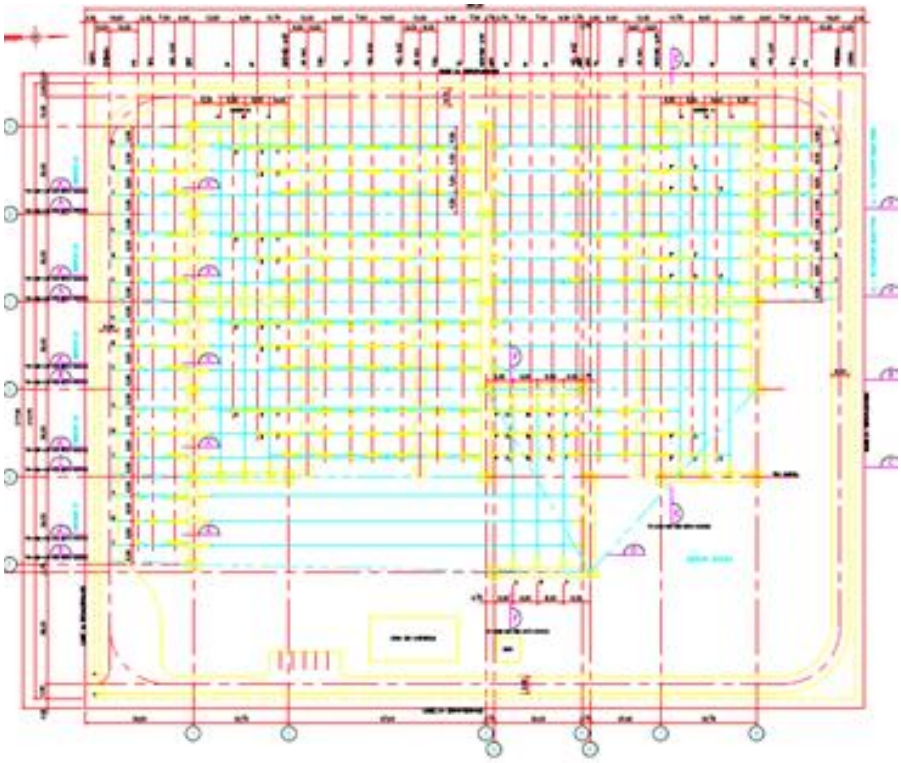


Figura 9 - SE Teles Pires - Planta do Pátio de Manobras do Setor 500 kV

[9] Cortes - SE PARANAITA

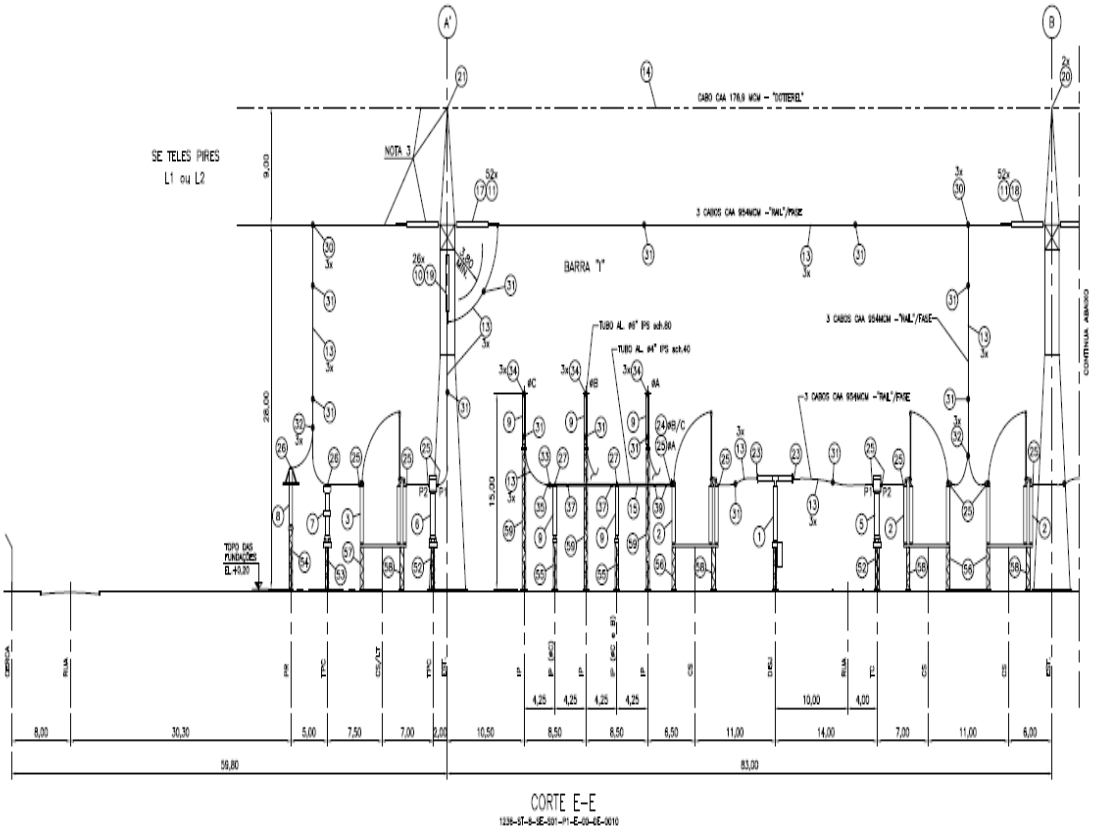


Figura 10 - SE PARANAÍTA - Setor 500 kV - Cortes

[10] Planta – SE PARANAITA

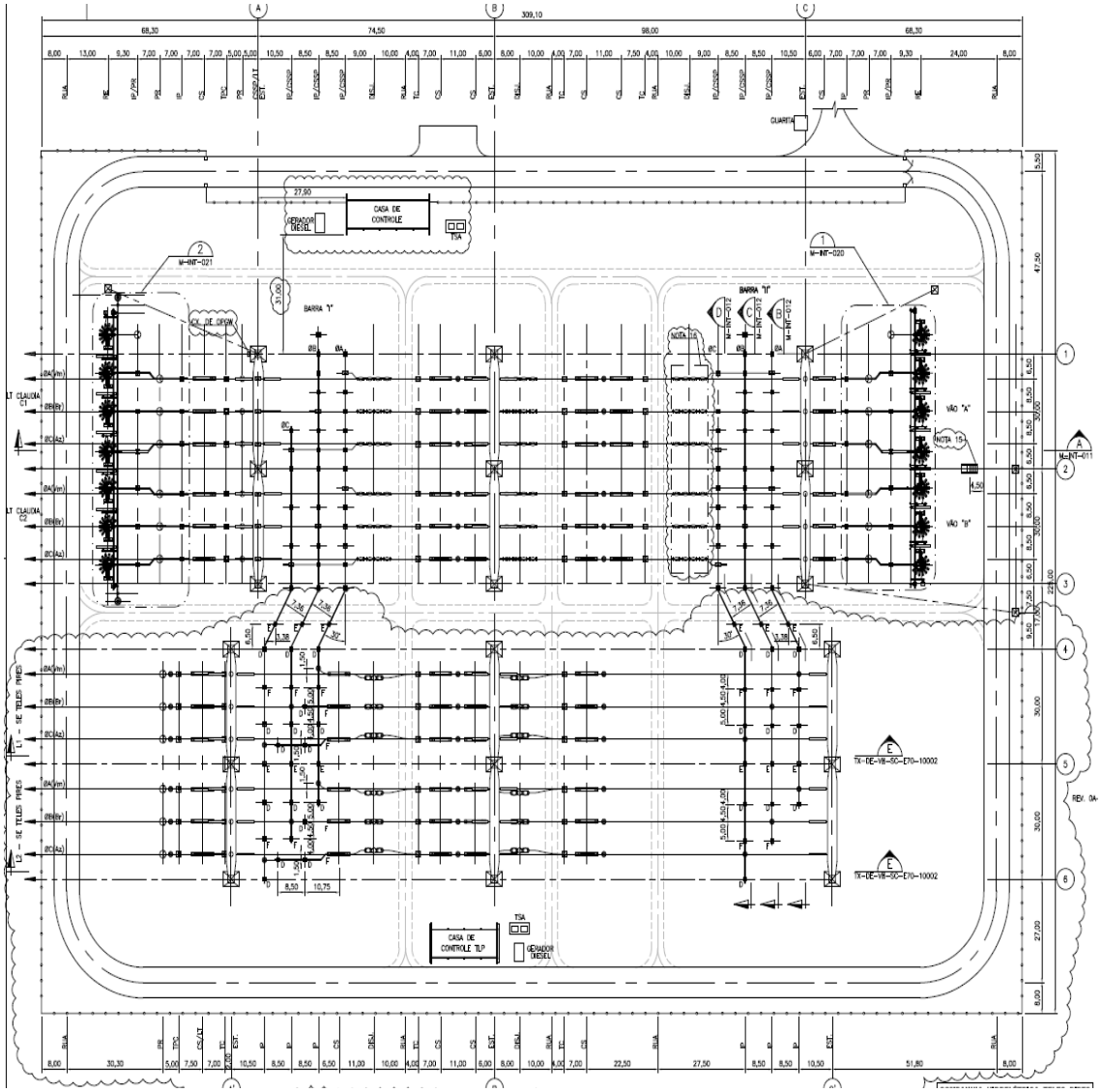


Figura 11 - SE PARANAÍTA - Setor 500 kV - Planta