

**SUBESTAÇÕES GILBUÉS II – GENTIO DO OURO II – OUROLÂNDIA II – MORRO DO CHAPÉU II  
BROTAS DE MACAÚBAS – IGAPORÃ III – PINDAÍ II**

**PROJETO BÁSICO**

**CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS BÁSICAS – EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES**

B	Atendimentos comentários ONS RE 2.3 0065/2015	ZT	RP	ZT	03/08/15
REV.	DESCRIÇÃO	FEITO	VISTO	APROV.	DATA
APROVAÇÃO					
DATA	PROJ. Zair Torres	DATA 10/06/15	<b>SUBESTAÇÕES GILBUÉS II – GENTIO DO OURO II – OUROLÂNDIA II – MORRO DO CHAPÉU II – BROTAS DE MACAÚBAS – IGAPORÃ III – PINDAÍ II</b>		
	DES. -	DATA -			
	CONF. Zair Torres	DATA 10/06/15			
	APROV. Nelson Santiago CREA RJ-27.298/D	DATA 10/06/15	<b>CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS BÁSICAS – EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES</b>		
JMM	Nº FLUXO: 3.51.20-A4-1020	Nº JMM: 41-S000-0021	FL. 1 DE 38	REV. B	

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2 REATORES MONOFÁSICOS 500 KV .....</b>	<b>6</b>
<b>3 REATORES DE ATERRAMENTO DE NEUTRO .....</b>	<b>9</b>
<b>4 UNIDADES TRANSFORMADORAS DE POTÊNCIA.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1 Características Gerais .....</b>	<b>10</b>
<b>4.2 Outras Características Elétricas .....</b>	<b>14</b>
<b>5 COMPENSADOR ESTÁTICO.....</b>	<b>16</b>
<b>5.1 Condições Gerais .....</b>	<b>16</b>
<b>5.2 Tensões Nominais e Limites de Potência Reativa .....</b>	<b>16</b>
<b>5.3 Configuração Mínima do CER .....</b>	<b>17</b>
<b>5.4 Perdas Máximas nos Componentes do CER.....</b>	<b>17</b>
<b>5.5 Frequência.....</b>	<b>17</b>
<b>5.6 Ciclo de Sobrecarga.....</b>	<b>17</b>
<b>5.7 Desempenho do CER.....</b>	<b>18</b>
<b>5.8 Desempenho Harmônico .....</b>	<b>18</b>
<b>5.9 Avaliação da Performance dos Filtros.....</b>	<b>19</b>
<b>5.10 Avaliação do Rating dos Filtros .....</b>	<b>19</b>
<b>5.11 Níveis de Curto-circuito na Barra de 500kV da SE Gentio do Ouro II .....</b>	<b>19</b>
<b>5.12 Tempo de Eliminação de Falhas no Setor de 500kV .....</b>	<b>20</b>
<b>5.13 Requisitos da Documentação e Informação Técnica a ser Fornecida pelo Fabricante.....</b>	<b>20</b>
<b>6 DISJUNTORES .....</b>	<b>21</b>
<b>6.1 Requisitos Comuns aos Disjuntores em Todos os Níveis de Tensão .....</b>	<b>21</b>
<b>6.2 Disjuntores de 500 kV .....</b>	<b>22</b>

6.3	Disjuntores de 230 kV .....	24
7	SECCIONADORAS .....	26
7.1	Secionadoras de 500 kV .....	26
7.2	Secionadoras de 230 kV .....	27
8	PARA-RAIOS.....	29
8.1	Para raios de 500 kV .....	29
8.2	Para raios de 230 kV .....	29
8.3	Para raios de neutro dos reatores de linha.....	30
9	TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS E INDUTIVOS .....	31
9.1	Transformadores de Potencial Capacitivos de 500 kV .....	31
9.2	Transformadores de Potencial Capacitivos de 230 kV .....	32
10	TRANSFORMADORES DE CORRENTE .....	34
10.1	Transformadores de Corrente de 500 kV .....	34
10.2	Transformadores de Corrente de 230 kV .....	35
11	ISOLADORES DE PEDESTAL.....	37
11.1	Isoladores de Pedestal de 500 kV .....	37
11.2	Isoladores de Pedestal de 230 kV .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

As ampliações das subestações Gilbués II, Morro do Chapéu II (setor 500 kV), Brotas de Macaúbas, Igaporã III e Pindaí II e a implantação das subestações Gentio do Ouro II e Orolândia II são integrantes da concessão outorgada à JMM – Transmissora José Maria de Macedo de Eletricidade S.A., designada neste documento como JMM, licitada através do edital ANEEL 007/2014 – Lote A.

O presente documento apresenta as características elétricas básicas dos equipamentos a serem utilizados nas implantações em questão.

Todos os equipamentos atenderão as características determinadas nos seguintes documentos:

- Edital Aneel 007/2014 – Anexo 6 – Características e Requisitos Técnicos Gerais das Instalações de Transmissão;
- Edital Aneel 007/2014 – Anexo 6D – Características e Requisitos Técnicos Específicos;
- Procedimentos de Rede do ONS – Sub-módulo 2.3 – Requisitos Mínimos para Transformadores e para Subestações e seus Equipamentos;
- Procedimentos de Rede do ONS – Sub-módulo 2.7 – Requisitos de Telessupervisão para a Operação;
- Procedimentos de Rede do ONS – Sub-módulo 23.3 – Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos;
- Doc. número 41-S000-0010 – Estudos de Transitórios de Energização de Linhas de Transmissão, Religamento Tripolar e Rejeição de Carga;
- Doc. número 41-S000-0013 – Estudos de Transitórios de TRT, Abertura de Linhas de Transmissão em Vazio e Manobras de Seccionadores de Aterramento;
- Doc. número 41-S000-0014 – Estudo de Religamento Monopolar das Linhas de Transmissão;
- Doc. número 41-S000-0015 - Estudos de Transitórios de Energização de Transformadores.

Para todos os equipamentos de nível de tensão 500 kV aqui descritos as características do sistema são:

a) Tensão nominal (kV, eficaz) .....	500
b) Tensão máxima operativa do sistema, fase-fase (kV, eficaz) .....	550
c) Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....	600
d) Frequência nominal (Hz) .....	60
e) Neutro .....	Efetivamente aterrado
f) Nível de curto-circuito (kA, eficaz).....	50

Para todos os equipamentos de nível de tensão 230 kV aqui descritos as características do sistema são:

a) Tensão nominal (kV, eficaz) .....	230
b) Tensão máxima operativa do sistema, fase-fase (kV, eficaz) .....	242
c) Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....	253

d) Frequência nominal (Hz) .....	60
e) Neutro .....	Efetivamente aterrado
f) Nível de curto-circuito (kA, eficaz).....	40

## 2 REATORES MONOFÁSICOS 500 KV

Os reatores são monofásicos, com enrolamentos em cobre imersos em óleo isolante, refrigerados por circulação natural de óleo e ar (ONAN), uso externo, e projetados para a formação de bancos trifásicos, com as potências nominais indicadas nos diagramas unifilares constantes do presente projeto básico, conectados em estrela com o neutro acessível para aterramento, seja direto (caso dos reatores de barra) ou através de reatores de aterramento.

As características principais dos equipamentos são as seguintes:

- Potência nominal (MVar)
  - Reatores de barra SE Gilbués II ..... 4 x 66,6
  - Reatores de linha SE Gilbués II (LT para SE Gentio do Ouro II)..... 4 x 70
  - Reatores de barra SE Gentio do Ouro II..... 7 x 33,3
  - Reatores de linha SE Gentio do Ouro II (LT para SE Gilbués) ..... 4 x 70
  - Reatores de barra SE Ouarolândia II..... 4 x 33,3
  - Reatores de linha SE Ouarolândia II (LT para SE Gentio do Ouro II) ..... 4 x 50
  - Reatores de linha SE Morro do Chapéu II (LT para SE Ouarolândia II)..... 4 x 33,3
- Frequência (Hz)..... 60
- Resfriamento ..... natural
- Tensões:
  - Tensão nominal do reator (kV, eficaz) .....  $500 / \sqrt{3}$
  - Tensão máxima de operação contínua (kV, eficaz).....  $550 / \sqrt{3}$
  - Tensão máxima de operação de emergência (1 hora - kV, eficaz) (Nota 1) .....  $600 / \sqrt{3}$
- Ligação trifásica dos bancos de reatores ..... estrela, com neutro acessível.
- Nível de isolamento do neutro dos reatores de linha (kV, eficaz)
  - Reatores LT Gilbués II – Gentio do Ouro II) ..... 135
  - Reatores das demais LTs ..... 72,5
- Características do Isolamento dos Enrolamentos e das Buchas:

Características	AT	Neutro
		RE Linha (135/72,5)
Tensão Suportável Nominal a Impulso Atmosférico, onda plena (kV crista)	1550	450/350
Idem onda cortada (kV crista)	1705	495/385
Tensão Suportável Nominal de Impulso de Manobra (kV crista)	1300	-
Tensão Aplicada (kV eficaz)	-	185/140

### 2.1.1 Características Físicas das Buchas

Características			AT	Neutro
				RE Linha (135/72,5kV)
Distância	mínima	de	11000	2700/1450
escoamento externa (mm)				
Cargas de ensaio (kgf)	de flexão- valores de		400(Topo)	100(Topo)

Nota:

1 – Aplicável aos reatores de linha.

- Transformadores de corrente de bucha (excluindo TC para imagem térmica):
  - Buchas H: 2 TC'S 2500/1500/500 – 1A, 10B160(proteção)
  - Bucha H0: 1 TC 2500/1500/500 – 1A, 10B160(proteção) + 1 TC 300/200 - 1A, 0,3C10 (medição)

- Óleo isolante:

O óleo isolante deverá ser mineral, base naftênica, do tipo A e com as características de 1º enchimento (antes do tratamento termovácuo e antes do contato com o equipamento), conforme resolução ANP nº 36/2008.

O óleo do 1º enchimento deve possuir certificado de qualidade em que o teor de enxofre corrosivo deva ter sido medido conforme método NBR 10.505 estendido.

O óleo isolante, após tratamento a termovácuo, e antes do contato com o equipamento, deve ter as características principais conforme resolução ANP nº 36/2008.

- Tensão de rádio interferência (corona externo):

O valor da tensão de rádio interferência externa máxima deverá ser de 2500µV a 1000kHz, na tensão fase-terra  $550/\sqrt{3}$  kV.

- Elevação de temperatura, acima do ambiente de 40°C:

Os reatores deverão ser projetados para as condições especiais de funcionamento definidas na ABNT NBR 5356-6 aplicando-se os limites de elevação de temperatura especificados nesta Norma).

Os limites de elevação de temperatura não deverão ser excedidos com o reator submetido às condições especiais de operação, incluindo as condições operativas em sobreexcitação abaixo indicadas.

- Condições operativas em sobreexcitação

Os reatores poderão operar continuamente na tensão máxima de operação nominal do sistema igual a 550 kV, 60 Hz.

Eventualmente os reatores em derivação na linha poderão operar durante 1 hora na tensão do sistema igual a 600 kV, 60 Hz.

- Linearidade - curva “tensão x corrente”

Os reatores deverão apresentar características de linearidade até 150% da tensão nominal e joelho da curva de excitação  $\geq 1,3$ ;

- Perdas:

O valor médio das perdas totais, à tensão nominal de operação e frequência 60 Hz, deve ser inferior a 0,3 % da potência nominal do reator.

- Nível de ruído:

Os reatores serão ensaiados conforme NBR-7277 para um nível de ruído conforme ABNT NBR 5356-6.

- Nível de vibração:

Amplitude máxima (pico a pico, qualquer ponto) ..... 200  $\mu\text{m}$

- Corrente de 3º harmônico:

Energizado com a tensão máxima de operação contínua, o reator deverá apresentar valor máximo medido de corrente de 3º harmônico limitado a 1% do valor da componente fundamental.

- Características térmicas do isolamento:

O papel para isolamento do enrolamento deverá ser do tipo termoestabilizado para temperatura máxima 120 °C.

- Descargas parciais:

O nível máximo de descargas parciais, com o equipamento energizado a 150% da sua tensão nominal é de 200 pC.

- Sobretensões admissíveis:

Os reatores deverão ser capazes de suportar as sobretensões indicadas na tabela abaixo, sem apresentar danos térmicos, mecânicos ou elétricos.

Sobretensão (pu de 500 kV)	Duração
2,10	0,1667 segundos
1,91	0,3333 segundos
1,57	1,667 segundos
1,47	3,6 segundos
1,20	1 hora
1,10	regime

- Tolerâncias:

Impedância:  $\pm 2\%$  por fase em relação ao valor especificado e não devendo afastar-se 1% do valor médio medido das três fases das unidades.

- O reator deverá ser capaz de suportar os níveis de sobretensões transitórias e temporárias definidos pelos estudos de sistema.

### 3 REATORES DE ATERRAMENTO DE NEUTRO

Os reatores são do tipo seco, com núcleo de ar, uso externo.

As características principais dos equipamentos são as seguintes:

- Frequência (Hz).....60
- Resfriamento ..... natural
- Tensão nominal (kV)
  - LT Gilbués II – Gentio do Ouro II ..... 138
  - LT Gentio do Ouro II – Ourolândia II.....72,5
  - LT Ourolândia II – Morro do Chapéu II .....72,5
- Impedância nominal ( $\Omega$ )
  - LT Gilbués II – Gentio do Ouro II .....580
  - LT Gentio do Ouro II – Ourolândia II.....300
  - LT Ourolândia II – Morro do Chapéu II .....300
- Corrente de curta duração (A/10s)
  - LT Gilbués II – Gentio do Ouro II ..... 150
  - LT Gentio do Ouro II – Ourolândia II..... 151
  - LT Ourolândia II – Morro do Chapéu II ..... 116,4
- Corrente em regime permanente (A)
  - LT Gilbués II – Gentio do Ouro II .....22,5
  - LT Gentio do Ouro II – Ourolândia II.....22,7
  - LT Ourolândia II – Morro do Chapéu II .....17,5
- Potência em regime permanente (kVAr)
  - LT Gilbués II – Gentio do Ouro II .....294
  - LT Gentio do Ouro II – Ourolândia II.....154,5
  - LT Ourolândia II – Morro do Chapéu II .....92
- Isolação:

Características	Neutro		Terra
	Vn = 138kV	Vn=72,5kV	
Tensão Suportável Nominal a Impulso Atmosférico, onda plena (kV crista)	450	350	110
Tensão Aplicada (kV eficaz)	185	140	34

## **4 UNIDADES TRANSFORMADORAS DE POTÊNCIA**

### **4.1 Características Gerais**

#### **4.1.1 Energização das Unidades Transformadoras de Potência**

Serão atendidas as determinações do item 7.1.1 da revisão 2.0 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede.

#### **4.1.2 Comutação de Derivação em Carga**

Serão atendidas as determinações do item 7.1.3 da revisão 2.0 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede.

O comutador de derivação em carga será projetado, fabricado e ensaiado de acordo com a publicação IEC-214 “On Load Tap Changers”. As unidades transformadoras serão providas de comutadores de derivação em carga. O fornecedor definirá o enrolamento onde serão instalados os comutadores, cuja atuação deve ser no sentido de controlar a tensão no barramento de tensão inferior.

Em todas as unidades transformadoras a faixa de derivações de tape será de no mínimo +18%/-14% da tensão nominal, com no mínimo 21 posições de ajuste.

#### **4.1.3 Condições Operativas**

Conforme estabelecido no item 7.1.4.1 da revisão 2.0 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede, as unidades de transformação de potência serão capazes de operar com as suas potências nominais, em regime permanente, para toda a faixa operativa de tensão definida na Tabela 1 do Submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede, tanto no primário quanto no secundário, para todas as posições dos comutadores.

As unidades de transformação serão capazes de operar nas condições estabelecidas na norma ABNT NBR 5416 e na Resolução Normativa ANEEL nº 191, de 12 de dezembro de 2005, resguardado o direito de adicional financeiro devido a sobrecargas que ocasionem perda adicional de sua vida útil, em conformidade com os procedimentos da Resolução Normativa ANEEL nº 513, de 16 de setembro de 2002.

Será possível energizar as unidades de transformação sem restrições, tanto pelo enrolamento primário quanto pelo secundário, para toda a faixa de tensões operativas. As unidades de transformação serão adequadas para operação em paralelo nos respectivos terminais de alta e baixa tensão.

A unidade de transformação de potência será capaz de suportar o perfil de sobre-excitação em vazio a 60 Hz, de acordo com a tabela abaixo, em qualquer derivação.

Período	Tensão (pu da tensão de derivação)
10 (dez segundos)	1,35
20 (vinte) segundos	1,25
1 (um) minuto	1,20
8 (oito) minutos	1,15

#### 4.1.4 Capacidade de Carregamento

##### (a) Referências normativas

Os requisitos funcionais a serem atendidos por novas unidades de transformação de potência, no que diz respeito aos procedimentos para aplicação de carga e à capacidade de carregamento, que balizam o relacionamento entre a transmissora e o ONS, estão regulados através das resoluções normativas da ANEEL REN 191-2005 e 513-2002. Por sua vez, o dimensionamento e fabricação devem ser feitos conforme as normas técnicas brasileiras, a NBR 5416 e 5356 da ABNT.

Além do ensaio de aquecimento normal, será realizado ensaio de elevação de temperatura em sobrecarga, conforme estabelecido na Nota Técnica ONS NT 038/2014, de 25 de fevereiro de 2014, disponível no portal do ONS, para comprovar se a elevação de temperatura é compatível com o atendimento aos requisitos funcionais descritos no presente Edital, com o regime de carregamento pretendido e com a expectativa de vida útil de 35 (trinta e cinco) anos regulamentada.

##### (b) Vida útil

As unidades de transformação de potência devem ser dimensionadas para expectativa de vida útil de 35 (trinta e cinco) anos, conforme Resolução Normativa da ANEEL no 474/2012 e ser especificadas com papel termoestabilizado ou de classe térmica superior. Tal requisito deve ser levado em conta também na gestão da manutenção, atribuição da transmissora.

A formulação para a modelagem das temperaturas e a avaliação do envelhecimento devem seguir o modelo da IEC 60076-7. O critério a ser adotado para avaliação da vida útil deve ser o do valor do grau de polimerização remanescente da isolação igual a 200 (150.000 h).

##### (c) Subsídios para elaboração da especificação para fabricação da unidade de transformação

A especificação para fabricação da unidade de transformação levará em conta o atendimento aos requisitos funcionais estabelecidos nos anexos técnicos dos editais de leilão e nos procedimentos de rede. A especificação para fabricação considerará, entre outros, os seguintes aspectos:

- Temperatura ambiente média máxima (temperatura máxima segundo NBR 5356) do local de implantação da unidade de transformação; e
- Carregamento típico em regime permanente da unidade de transformação em questão, função da quantidade total de unidades de transformação em paralelo no mesmo barramento até o horizonte de planejamento da subestação.

##### (d) Temperatura ambiente

A avaliação da expectativa de vida da unidade de transformação será feita considerando temperatura ambiente média da região, majorada pela elevação de temperatura local devido ao ambiente da subestação. Por sua vez, a avaliação das temperaturas máximas atingidas internamente à unidade será feita considerando a temperatura média máxima da região, também majorada pela elevação de

temperatura local devido ao ambiente da subestação (temperatura máxima segundo NBR 5416). Tais valores deverão ser no mínimo 30°C e 40°C, respectivamente, conforme estabelecido na NBR 5356-2.

(e) Limites de temperatura

A unidade de transformação deve ser dimensionada para que, na temperatura ambiente média máxima (temperatura máxima segundo NBR 5356) para efeito de dimensionamento (mínimo de 40°C), a temperatura do topo do óleo, do ponto mais quente do enrolamento e de outras partes metálicas sem contato com celulose seja inferior aos valores estabelecidos na tabela abaixo:

Tipo de carregamento	Temperaturas limite (°C)		
	Óleo	Ponto mais quente do enrolamento	Outras partes metálicas sem contato com celulose
Ensaio de 1,2 pu por 4 horas	110	130	160
Ensaio de 1,4 pu por meia hora	110	140	180

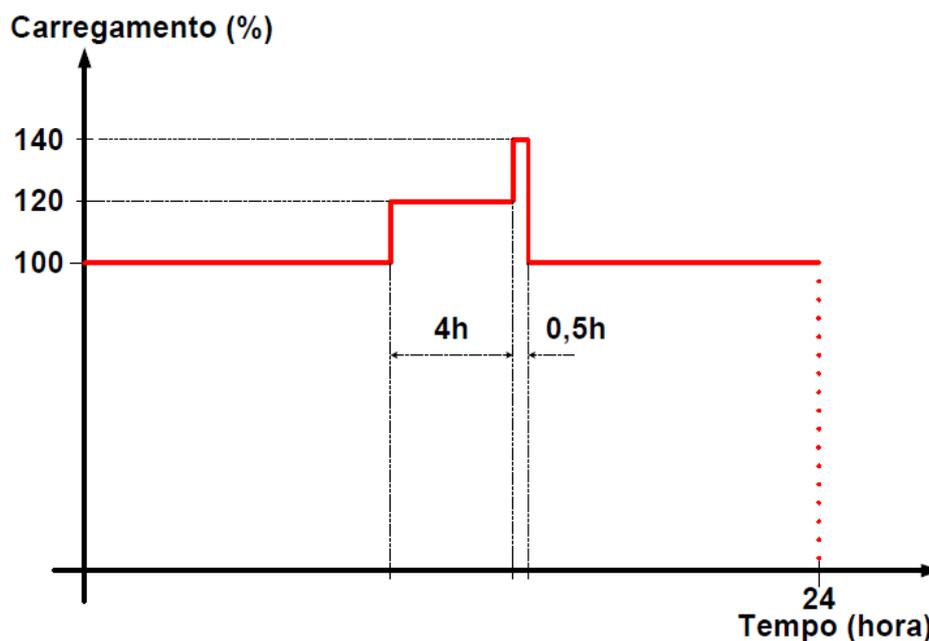
(f) Situações de carregamento para dimensionamento

O dimensionamento da unidade de transformação de potência deve ser feito considerando dois ciclos de carga de referência: ciclo de carga normal e ciclo de sobrecarga. A expectativa de vida nessa condição composta deve ser de 35 (trinta e cinco) anos.

A unidade de transformação deve ser dimensionada para que possa operar continuamente desde sua entrada em operação e por 90% dos dias ao longo da vida útil de 35 (trinta e cinco) anos com carregamento de 100% da potência nominal.

A unidade de transformação deve ser dimensionada para que, em condição de sobrecarga, possa operar nas condições descritas a seguir sempre que solicitada pelo ONS desde sua entrada em operação e por um tempo máximo acumulado de 10% dos dias ao longo da vida útil de 35 (trinta e cinco) anos, totalizando 3,5 (três e meio) anos.

- Carregamento de 120% da potência nominal por período de 4 (quatro) horas do seu ciclo diário de carga para a expectativa de perda de vida útil estabelecida nas normas técnicas de carregamento de unidades de transformação. A referida sobrecarga de 20% deve poder ser alcançada para qualquer condição de carregamento da unidade de transformação no seu ciclo diário de carga, inclusive com carregamento prévio de 100% da sua potência nominal.
- Carregamento de 140% da potência nominal por período de 30 (trinta) minutos do seu ciclo diário de carga para a expectativa de perda de vida útil estabelecida nas normas técnicas de carregamento de unidades de transformação. A referida sobrecarga de 40% deve poder ser alcançada para qualquer condição de carregamento da unidade de transformação no seu ciclo diário de carga. Uma vez que o carregamento de 140% decorre de uma contingência não prevista, por segurança, a unidade de transformação deve ser dimensionada considerando que os carregamentos de 120% e 140% possam ocorrer dentro do mesmo ciclo diário, mesmo que não tenha havido intervalo de tempo entre ocorrências suficiente para que entre o primeiro e o segundo carregamentos a temperatura tenha se estabilizado, como ilustrado na figura a seguir. O carregamento de 140% refere-se ao ciclo de carregamento em condição de emergência de curta duração, será utilizado em situações de contingência no SIN como último recurso operativo antes do corte de carga e, portanto, não é considerado historicamente no âmbito do planejamento



#### 4.1.5 Impedância

Serão atendidas as determinações do item 7.1.5 da revisão 2.0 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede.

O valor da impedância entre o enrolamento primário e secundário será compatível com o sugerido nos estudos de energização dos transformadores, parte deste Projeto Básico, ou seja (valores em % na base 100MVA):  $X_p = 1,76$ ,  $X_s = 0,11$ ,  $X_t = 15,73$ .

#### 4.1.6 Perdas

Serão atendidas as determinações do item 7.1.6 da revisão 2.0 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede.

As perdas totais referenciadas no item 7.1.6.2 da revisão 2.0 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede devem ser entendidas como perdas na tensão e frequência nominais para a operação primário-secundário. Além disso, não são aplicáveis a transformadores utilizados em compensadores estáticos

#### 4.1.7 Nível de Ruído

Serão atendidas as determinações do item 7.1.7 da revisão 2.0 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede

#### 4.1.8 Joelho da Curva de Excitação

Valor mínimo de 1,2 pu.

#### 4.1.9 Reatância de Núcleo de Ar

- SE Gentio do Ouro II .....  $\geq 40\%$
- SE Ouroândia II .....  $\geq 60\%$

## 4.2 Outras Características Elétricas

- As unidades transformadoras monofásicas deverão ser projetadas com potência nominal (ver valor abaixo), nos enrolamentos AT e MT, para a operação em qualquer tape especificado.
  - SE Gentio do Ouro II: Autotransformador monofásico, para formação de 2 bancos trifásicos (uma unidade reserva comum),  $500/\sqrt{3}/230/\sqrt{3}$ -13,8 kV, 180/240/300 MVA (ONAN/ONAFI/ONAFII) – 7 unidades;
  - SE Ouarolândia II: Autotransformador monofásico, para formação de 2 bancos trifásicos (uma unidade reserva comum),  $500/\sqrt{3}/230/\sqrt{3}$ -13,8 kV, 180/240/300 MVA (ONAN/ONAFI/ONAFII) – 7 unidades
- O enrolamento terciário será projetado para circulação das correntes harmônicas e suportabilidade do curto-circuito. A carga externa prevista para alimentação dos serviços auxiliares é da ordem de 1000 kVA com fator de potência maior do que + 0,85.
- Frequência (Hz) .....60
- Ligação trifásica do banco:
  - AT .....estrela, solidamente aterrado
  - MT .....estrela, solidamente aterrado
  - Enrolamento Terciário ..... delta
- Grupo de Ligação ..... YNa0d11 (banco)
- Valores nominais de tensão (fase-fase):
  - AT .....500kV
  - MT .....230kV
  - Enrolamento Terciário ..... 13,8kV
- Características do Isolamento:

### a) Enrolamentos:

CARACTERÍSTICAS	500 kV	230 kV	NEUTRO	TERC
Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kv crista)	1550	850	110	110
Idem, onda cortada (kv crista)	1705	935	121	121
Tensão suportável nominal de impulso de manobra (kv crista)	1175	601	-	-
Tensão aplicada (kv ef.)	34	34	34	34
Tensão induzida, longa duração (kv ef., 1 hora) u1/u2	540/476	240/212	-	-

b) Buchas:

CARACTERÍSTICAS	500 kV	230 kV	NEUTRO	TERC
Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kv crista)	1550	950	110	110
Idem, onda cortada (kv crista)	1705	1045	121	121
Tensão suportável nominal de impulso de manobra sob chuva (kv crista)	1175	850	-	-
Tensão suportável nominal a 60 Hz, 1 min, a seco (kv ef.)	620	395	34	34
Idem sob chuva (kV ef.)	620	395	34	34
Distância mínima de escoamento externo (mm)	11.000	4.900	300	300
Cargas de flexão- valores de ensaios (N)	4000	2000	1000	1000

▪ Características de curto-circuito:

O dimensionamento do equipamento deverá considerar os requisitos de curto-circuito prescritos na norma ABNT NBR-5356. O projeto do autotransformador deve limitar o curto-circuito nos terminais Y1 e Y2 do terciário a 500 MVA, trifásico, simétrico.

▪ Dados de curto-circuito trifásico, simétrico e monofásico:

- Lados AT ..... 50 kA
- Lado MT ..... 40 kA
- Terciário ..... limitado a 500 MVA, trifásico, simétrico

▪ Transformadores de corrente de bucha (excluindo TC para imagem térmica):

- Bucha H0X0: 2 TCs 3000RM-1A,10B80 para proteção;
- Bucha Y1: 2 TCs, 1200RM-1A,10B80 para proteção.

▪ Óleo isolante:

- O óleo isolante deverá ser mineral, base naftênica, do tipo A e com as características de 1º enchimento (antes do tratamento termovácuo e antes do contato com o equipamento), conforme resolução ANP nº 36/2008.
- O óleo do 1º enchimento deve possuir certificado de qualidade em que o teor de enxofre corrosivo deva ter sido medido conforme método NBR 10.505 estendido.
- O óleo isolante, após tratamento a termovácuo, e antes do contato com o equipamento, deve ter as características principais conforme resolução ANP nº 36/2008.

▪ Corona Interno:

O nível máximo de descargas parciais, com o equipamento energizado a  $1,5V_n$  é de 200 pC.

## **5 COMPENSADOR ESTÁTICO**

### **5.1 Condições Gerais**

O sistema de controle do compensador estático não comprometerá o desempenho do SIN, tanto em operação normal como em contingências, emergências e operação degradada, para regimes permanente e transitório.

O compensador estático não propiciará o surgimento de condições de ferorressonância, nem de saturação assimétrica de núcleos de transformadores.

Para qualquer cálculo de harmônicos e filtros serão consideradas as tolerâncias de fabricação das impedâncias dos transformadores elevadores do CER, incluindo diferenças entre fases, bem como os valores especificados de tensão de sequência negativa da rede e da faixa de variação da frequência fundamental.

O controle do CER será concebido de forma a evitar “hunting” com controles de outros CERs eletricamente próximos. As operações do sistema de controle de elementos manobráveis e/ou comutadores automáticos de transformadores (do compensador estático ou externos), não darão origem a oscilações intermitentes (“huntings”) entre estes elementos, nem entre nenhum deles e o controle do compensador.

O controle do compensador estático será concebido de forma a contribuir para minimizar as perturbações no sistema elétrico, durante uma falta. O controle será dimensionado considerando a necessidade de atuação do esquema de religamento monopolar.

O controle do CER permitirá a entrada de sinais de grandezas elétricas adicionais, tais como fluxo de potência ativa e frequência, com o objetivo de modular, se necessário, a potência reativa do CER no sentido de amortecer oscilações de tensão e oscilações de potência na rede elétrica. Adicionalmente, o CER não contribuirá para amplificar oscilações subsíncronas.

O controle do CER será projetado de tal forma a não comprometer a estabilidade de tensão da rede elétrica. Para tanto, deve identificar a sensibilidade da tensão da rede elétrica à variação da susceptância do CER, e adotar medidas corretivas no sentido de evitar condições de instabilidade.

Todos os equipamentos integrantes do CER serão dimensionados para suportar solicitações de curto-circuito na barra de 500kV da SE Gentio do Ouro II.

Será possível ajustar a inclinação da rampa do controle do CER de forma contínua dentro da faixa de tensão operativa em regime permanente.

### **5.2 Tensões Nominais e Limites de Potência Reativa**

A Tabela a seguir resume o montante de compensação reativa controlável a ser instalado. Entende-se por barra de conexão àquela barra da rede à qual se conecta o lado de alta tensão do transformador do CER.

### Tensões Nominais e Limites de Potência Reativa

Subestação	Tensão Nominal na Barra de Conexão do CER (kV)	Faixa de Tensão Operativa em regime permanente na Barra de Conexão do CER (kV)	Capacidade Nominal Contínua na Barra de Conexão do CER para toda a faixa de tensão operativa (Mvar)
Gentio do Ouro II	500	475 a 550	-100/+200

#### 5.3 Configuração Mínima do CER

O CER será composto no mínimo por 2 módulos de TSCs (Capacitor Chaveado a Tiristores) e 2 módulos de TCRs (Reator Controlado a Tiristores), onde cada módulo será provido de equipamento de seccionamento motorizado para isolamento.

Toda a faixa de variação, -100/+200 MVAR, será proporcionada por dispositivos de chaveamentos controlados eletronicamente por semicondutores não sendo permitida a utilização de equipamentos chaveados por disjuntores.

A definição da configuração a ser adotada para os filtros levará em conta os limites de perdas definidos, o desempenho do CER e o desempenho harmônico.

#### 5.4 Perdas Máximas nos Componentes do CER

As perdas máximas totais do CER, incluindo as perdas do transformador e dos serviços auxiliares para refrigeração das válvulas serão iguais ou menores a 0,20% com potência reativa nula. As perdas máximas do CER serão inferiores a 1,5% em qualquer ponto de sua faixa de fornecimento (-100/+200 Mvar). O valor percentual é definido à potência de 200 MVA.

#### 5.5 Frequência

O CER deverá ser dimensionado para operar nas seguintes condições de frequência:

- Faixa de Frequência em Regime Permanente: 60 Hz  $\pm$  0,2 Hz
- Faixa de Variação Transitória de Frequência
  - (a) 56 a 59,8 Hz por 20 segundos
  - (b) 60,2 a 66 Hz por 20 segundos

A faixa de operação em regime permanente deverá ser utilizada para cálculos de desempenho de equipamentos e as faixas de operação transitória para o cálculo dos valores de capacidade (rating).

#### 5.6 Ciclo de Sobrecarga

O CER deverá ser capaz de suportar as seguintes condições de operação em sobrecarga:

Tabela Tensão x Tempo

Tensão (pu)	Tempo
1,80	50 ms (Ind)
1,40	200 ms (Ind)
1,30	1 s (Ind)
1,20	10 s (Ind)
1,05 <sup>(1)</sup>	Contínuamente (Cap/Ind)

Nota 1: Para as tensões de operação de 500 ou 525 kV, o ciclo preverá a operação contínua para 550 kV (1,10 pu de 500 kV).

O CER suportará o ciclo de sobretensão/sobrecarga indutiva, a partir do regime permanente, totalmente indutivo, observando ainda as seguintes condições:

- (a) Sem que haja disparo protetivo da válvula de tiristores produzido pelas sobretensões de bloqueio dos tiristores (“turn-off overshoot”);
- (b) Sem que a temperatura de junção dos tiristores supere a máxima temperatura de junção admitida no projeto;
- (c) Sem que haja limitação no ângulo de disparo do(s) TCR(s) (reator controlado a tiristores).

## 5.7 Desempenho do CER

A resposta ao degrau do CER apresentará, no mínimo, o seguinte desempenho:

### Resposta do CER

Parâmetros	Valor
<i>Response time (rise time): 90% do valor final</i>	33 ms
<i>Settling time: ±5% do valor final</i>	100 ms
<i>Overshoot: sem exceções</i>	30%

Esta resposta será atingida para qualquer tensão dentro da faixa operativa, para qualquer condição da rede externa ao CER. O tempo de resposta do controle do CER é avaliado considerando a variação da tensão medida do ponto de conexão do CER, após as filtragens, com o estatismo do controle ajustado em zero.

## 5.8 Desempenho Harmônico

Definições:

- (a) Distorção de tensão harmônica individual

$$D = V_h \text{ (em \%)}$$

- (b) Distorção de tensão harmônica total (DTHT) é a raiz quadrada do somatório quadrático das tensões harmônicas de ordens 2 a 30:

$$DTHT = \sqrt{\sum V_h^2} \text{ (em \%), onde:}$$

$$V_h = 100 \frac{V_h}{V_1} \Rightarrow \text{tensão harmônica de ordem h em porcentagem da fundamental}$$

$v_h \Rightarrow$  tensão harmônica de ordem h (V)

$v_1 \Rightarrow$  tensão fundamental nominal (V)

## 5.9 Avaliação da Performance dos Filtros

A tabela a seguir define os limites de distorção harmônica individual (D) na barra de conexão que serão atendidos, considerando o CER como o único gerador de harmônicos:

Limites de Distorção Harmônica Individual

13,8 kV ≤ V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
ÍMPARES		PARES		ÍMPARES		PARES	
ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)
3 a 25	1,5			3 a 25	0,6		
		todos	0,6			todos	0,3
≥27	0,7			≥27	0,4		
DTHTS95% = 3				DTHTS95% = 1,5			

## 5.10 Avaliação do Rating dos Filtros

Para a definição do rating dos elementos dos filtros, serão avaliadas as harmônicas externas ao seu CER (“background harmonics”), considerando os valores limites globais apresentados na tabela a seguir, que impliquem nos piores valores de corrente e tensão nos componentes dos filtros, respeitando o limite global de DTHT.

Limites Globais de Tensão Expressos em Porcentagem da Tensão Fundamental

V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
ÍMPARES		PARES		ÍMPARES		PARES	
ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)
3, 5, 7	5%			3, 5, 7	2%		
		2, 4, 6	2%			2, 4, 6	1%
9, 11, 13	3%			9, 11, 13	1,5%		
		≥8	1%			≥8	0,5%
15 a 25	2%			15 a 25	1%		
≥27	1%			≥27	0,5%		
DTHT = 6%				DTHT = 3%			

Os filtros serão dimensionados para que não haja necessidade de desligamento por “overrating” em condições operativas normais e de contingências simples (n-1) da rede externa, mesmo em caso de operação com indisponibilidade de um filtro.

## 5.11 Níveis de Curto-circuito na Barra de 500kV da SE Gentio do Ouro II

O projeto do compensador estático de reativos levará em consideração os seguintes valores:

- Corrente de curto-circuito máxima no ano da entrada em operação (kA).....5,5
- Corrente de curto-circuito mínima no ano da entrada em operação, em condição de rede

degradada (kA)..... 1,3

### **5.12 Tempo de Eliminação de Falhas no Setor de 500kV**

O projeto do compensador estático de reativos levará em consideração os seguintes valores:

- Tempo de eliminação de falhas sem falha de disjuntor (ms) ..... 100
- Tempo de eliminação de falhas com falha de disjuntor (ms).....250

### **5.13 Requisitos da Documentação e Informação Técnica a ser Fornecida pelo Fabricante**

Após a aquisição do equipamento, o fabricante deverá enviar para aprovação da JMM no mínimo os seguintes relatórios:

- a) Características técnicas dos equipamentos e de seus componentes;
- b) Estudo e relatório técnico detalhado demonstrando o dimensionamento dos componentes do CER;
- c) Características V x I do CER, indicando faixas de operação capacitiva, indutiva e sobrecarga devido às sobretensões;
- d) Diagramas unifilares: AT/BT, proteção e medição;
- e) Serviços auxiliares CA/CC;
- f) Planta e cortes da instalação;
- g) Descrição da operação;
- h) Descrição das válvulas a tiristores;
- i) Descrição do sistema de resfriamento;
- j) Descrição e documentação técnica do Sistema de Proteção, Controle e Supervisão;
- k) Desenhos e catálogos dos componentes.
- l) Modelo completo para estudos digitais, incluindo descrição funcional, diagrama de blocos e ajuste suportando os requisitos do Operador do Sistema definidos no Anexo 6.

## 6 DISJUNTORES

Disjuntor tripolar, uso externo, do tipo a gás SF<sub>6</sub> (hexafluoreto de enxofre), de pressão única, com abertura livre (trip-free), tanto elétrica quanto mecânica, com dispositivo de antibombeamento e com as câmaras de extinção ao nível do barramento (live tank). Completo com os armários dos mecanismos de acionamento e do sistema de comando e controle, com estruturas suportes, conectores de aterramento e com a primeira carga de gás para enchimento, com resistores de fechamento ou sincronizador, conforme a aplicação.

As características principais dos equipamentos são as seguintes:

### 6.1 Requisitos Comuns aos Disjuntores em Todos os Níveis de Tensão

- Os disjuntores terão dois circuitos de disparo independentes, lógicas de detecção de discrepância de polos e acionamento monopolar. O ciclo de operação nominal deve ser compatível com a utilização de esquemas de religamento automático tripolar e monopolar.
- Os documentos 41-S000-0010 – Estudos de Transitórios de Energização de Linhas de Transmissão, Religamento Tripolar e Rejeição de Carga e 41-S000-0015 - Estudos de Transitórios de Energização de Transformadores indicam os disjuntores de manobra de linha de transmissão e transformadores que serão equipados com resistores de pré-inserção ou com mecanismos de fechamento ou abertura controlados. Adicionalmente, disjuntores de manobra de reatores de barra serão também equipados com dispositivos de manobra controlada.
- Os disjuntores devem ser especificados para operar quando submetidos às solicitações de manobra determinadas nos estudos.
- Os disjuntores que manobrem linhas a vazio devem ser especificados como de “baixíssima probabilidade de reacendimento de arco”, classe C2, conforme norma IEC 62271-100.
- Os requisitos mínimos para o disjuntor na manobra de linha a vazio devem levar em conta o valor eficaz da tensão fase-fase da rede de 770 kV à frequência de 60 Hz, para os disjuntores dos pátios de 500 kV. O correspondente valor para o pátio de 230 kV é de 339 kV.
- Os disjuntores devem ser especificados para abertura de corrente de curto-circuito nas condições mais severas de X/R no ponto de conexão do disjuntor (ver tabela adiante).
- Capacidade de manobrar outros equipamentos e/ou linhas de transmissão existentes na subestação onde estão instalados, em caso de faltas nesses equipamentos seguidas de falha do referido disjuntor, considerando inclusive disjuntor em manutenção.
- Capacidade de manobrar a linha de transmissão licitada em conjunto com o(s) equipamento(s) / linha(s) de transmissão a elas conectadas em subestações adjacentes, em caso de falta no equipamento / linha de transmissão da subestação adjacente, seguido de falha do respectivo disjuntor.
- Os disjuntores deverão atender as características de TRT conforme estabelecido no documento 41-S000-0013 – Estudos de Transitórios de TRT, Abertura de Linhas de Transmissão em Vazio e Manobras de Seccionadores de Aterramento, parte deste Projeto Básico;
- A componente contínua da capacidade de interrupção nominal em curto-circuito deverá ser definida pelo fabricante considerando os valores de X/R correspondentes ao local da aplicação, conforme tabela abaixo.

SE	Tensão (kV)	Curto-circuito	Corrente (kAeficaz)	X/R	Fator de assimetria
<b>Gentio do Ouro II</b>	500	Trifásico	5,51	13,88	2,54
		Monofásico	4,41	9,53	2,43
	230	Trifásico	8,97	16,54	2,58
		Monofásico	8,22	11,96	2,50
<b>Gilbués II</b>	500	Trifásico	20,02	8,97	2,41
		Monofásico	11,84	8,41	2,39
<b>Ourolândia II</b>	500	Trifásico	5,77	14,41	2,55
		Monofásico	5,14	9,67	2,44
	230	Trifásico	9,74	15,49	2,57
		Monofásico	9,41	11,55	2,49
<b>Brotas de Macaúbas</b>	230	Trifásico	4,57	6,00	2,25
		Monofásico	3,96	4,79	2,15
<b>Irecê</b>	230	Trifásico	7,04	8,03	2,37
		Monofásico	7,79	8,83	2,41
<b>Campo Formoso</b>	230	Trifásico	5,79	8,27	2,38
		Monofásico	5,67	8,99	2,41
<b>Pindaí II</b>	230	Trifásico	13,30	16,63	2,59
		Monofásico	12,64	13,94	2,54
<b>Igaporã III</b>	230	Trifásico	23,01	24,06	<b>2,66</b>
		Monofásico	22,94	17,77	2,60

## 6.2 Disjuntores de 500 kV

- Tensão nominal do equipamento (kV, eficaz) .....550
- Tensão máxima de operação do sistema (Vmax - kV, eficaz) .....550
- Corrente nominal (A, eficaz)..... 5000/4000 (Nota 2)
- Fator de primeiro polo..... **1,3 ou 1,5 (Nota 3)**
- Frequência nominal (Hz).....60
- Capacidade de interrupção nominal em curto-circuito (kA, eficaz) .....50
  - Componente contínua ..... (Nota 1)
- Capacidade de estabelecimento nominal em curto-circuito, valor de crista (kA, crista)..... 130
- Corrente suportável nominal de curta duração, durante 1s (kA, eficaz).....50
- Valor de crista – VC - nominal da corrente suportável (kA, crista) ..... 130
- Fator de assimetria de do valor de crista da corrente suportável nominal .....2,6
- Sequência nominal de operações .....O-0,3s-CO-3min-CO
- Tempo máximo de interrupção (ciclos) .....2

- Tempo máximo de interrupção para correntes entre 10% e 100% da capacidade de interrupção nominal em curto-circuito e para todas as aberturas da sequência nominal de operações.....2
- Tolerância máxima no valor do tempo nominal de interrupção (ms) .....+2
- Diferença de tempo máxima entre polos para o fechamento tripolar (ms) .....5
- Os disjuntores deverão ser capazes de interromper as correntes associadas à abertura de transformadores energizados a  $V_{\max}$  kV, sem que as sobretensões de manobra produzidas ultrapassem 2,1 pu (2,1 pu de  $V_{\max} \sqrt{2} / \sqrt{3}$  kV).
- Tensão suportável nominal a impulso atmosférico
  - À terra e entre polos (kV, crista) ..... 1550
  - Entre contatos abertos (\*) ..... 1550 (+315)
- Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva
  - À terra/entre polos (kV, crista) ..... 1175
  - Entre contatos abertos (kV, crista) (\*\*) ..... 900 (+450)
- Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 minuto
  - À terra e entre polos (kV, eficaz) ..... 620
  - Entre contatos abertos (kV, eficaz) ..... 800
- Tensão suportável nominal à frequência industrial dos circuitos auxiliares, durante 1 minuto (kV, eficaz) ..... 2
- Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) ..... 350
- Nível máximo de rádio-interferência para os disjuntores energizados a a  $605/\sqrt{3}$  kV (valor eficaz, fase-terra) ..... 2500  $\mu$ V, a 1000 Hz
- Nível máximo de descargas parciais nos capacitores equalizadores de potencial, para os disjuntores energizados a  $550/\sqrt{3}$  kV (valor eficaz, fase-terra) (pC) ..... <10
- Elevação de temperatura ..... conforme IEC 62271-100
- Distância mínima de escoamento (mm) ..... 11.000
- Os disjuntores de 500kV de manobra dos transformadores serão equipados com dispositivo sincronizador e especificado com uma precisão de eletrônica menor ou igual a  $\pm 0,5$ ms. Estes conjuntos (disjuntores + sincronizadores), utilizados para manobrar os transformadores, terão uma dispersão total devido à imprecisão mecânica do disjuntor e imprecisão eletrônica do controlador do sincronizador inferior ou igual a  $\pm 1,5$  ms. Além disso, os disjuntores apresentarão uma taxa de decaimento da rigidez dielétrica (RDDS) superior que a derivada da tensão máxima do sistema no cruzamento por zero de 200,0 kV/ms.
- Os disjuntores da linha de transmissão 500 kV das linhas de transmissão Gilbués II – Gentio do Ouro II e Gentio do Ouro II – Orolândia II (disjuntores da barra e de interligação de barras) serão dotados de resistores de pré-inserção de 400  $\Omega$ , com tempo de inserção de  $10 \pm 2$  ms.

### 6.3 Disjuntores de 230 kV

▪ Tensão nominal do equipamento (kV, eficaz) .....	245
▪ Tensão máxima de operação do sistema (Vmax - kV, eficaz) .....	242
▪ Corrente nominal (A, eficaz).....	4000/2000 (Nota 2)
▪ Fator de primeiro polo.....	1,3 ou 1,5 (Nota 3)
▪ Frequência nominal (Hz).....	60
▪ Capacidade de interrupção nominal em curto-circuito	
○ Componente alternada (kA, eficaz) .....	40
○ Componente contínua .....	Nota 1
▪ Capacidade de estabelecimento nominal em curto-circuito, valor de crista (kA, crista)	
○ Equipamentos utilizados na SE Igaporã III .....	106,4
○ Equipamentos utilizados nas demais SEs .....	104
▪ Corrente suportável nominal de curta duração, durante 1s (kA, eficaz) .....	40
▪ Valor de crista – VC - nominal da corrente suportável (kA, crista)	
○ Equipamentos utilizados na SE Igaporã III .....	106,4
○ Equipamentos utilizados nas demais SEs .....	104
▪ Fator de assimetria de do valor de crista da corrente suportável nominal	
○ Equipamentos utilizados na SE Igaporã III .....	2,66
○ Equipamentos utilizados nas demais SEs .....	2,6
▪ Sequencia nominal de operações .....	O-0,3s-CO-3min-CO
▪ Tempo máximo de interrupção (ciclos) .....	3
▪ Tolerância máxima no valor do tempo nominal de interrupção (ms) .....	+2
▪ Diferença de tempo máxima entre polos para o fechamento tripolar (ms) .....	5
▪ Os disjuntores deverão ser capazes de interromper as correntes associadas à abertura de transformadores energizados a 242 kV, sem que as sobretensões de manobra produzidas ultrapassem 2,1 pu (2,1 pu de $242 \sqrt{2} / \sqrt{3}$ kV).	
▪ Tensão suportável nominal a impulso atmosférico	
○ À terra e entre polos (kV, crista) .....	950
○ Entre contatos abertos.....	1050
▪ Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 minuto	
○ À terra e entre polos (kV, eficaz) .....	395
○ Entre contatos abertos (kV, eficaz) .....	460
▪ Tensão suportável nominal à frequência industrial dos circuitos auxiliares, durante 1 minuto (kV, eficaz) .....	2
▪ Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) .....	161

- Nível máximo de rádio-interferência para os disjuntores energizados a  $266/\sqrt{3}$  kV (valor eficaz, fase-terra) ..... 2500  $\mu$ V, a 1000 Hz
- Nível máximo de descargas parciais nos capacitores equalizadores de potencial, para os disjuntores energizados a  $242/\sqrt{3}$  kV (valor eficaz, fase-terra) (pC) ..... <10
- Elevação de temperatura ..... conforme IEC 62271-100
- Distância mínima de escoamento (mm) ..... 4.840

#### NOTAS:

- 1) A componente contínua da capacidade de interrupção nominal em curto-circuito deverá ser definida pelo fabricante considerando os valores de X/R correspondentes ao local da aplicação, conforme tabela do item 6.1.
- 2) Para aplicação dos disjuntores relativamente às correntes nominais, ver diagramas unifilares simplificados constantes do presente Projeto Básico.
- 3) A escolha do fator de primeiro polo dos disjuntores, se 1,3 ou 1,5, levará em conta as recomendações contidas no item 3 do documento 41-S000-0013.

## 7 SECCIONADORAS

Secionadores tripolares, mecanismo de acionamento motorizado, para as lâminas principais e lâminas de terra. Deverão possuir dispositivos elétricos e mecânicos que permitam o intertravamento com a lâmina de terra e com os demais seccionadores e disjuntores associados.

As características principais dos equipamentos são as seguintes:

### 7.1 Secionadoras de 500 kV

- Tensão nominal do equipamento (kV, eficaz) .....550
- Tensão máxima de operação do sistema (Vmax - kV, eficaz).....550
- Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....600
- Corrente nominal (A, eficaz)..... 5000/4000 (Nota 1)
- Frequência nominal (Hz).....60
- Corrente suportável nominal de curta duração (1s), para o seccionador e para a lâmina de aterramento (kA, eficaz).....50
- Valor de crista nominal da corrente suportável, para o seccionador e para a lâmina de aterramento (kA, crista) .....130
- Fator de assimetria de do valor de crista da corrente suportável nominal .....2,6
- Tensão suportável nominal a impulso atmosférico
  - À terra e entre polos (kV, crista) .....1550
  - Entre contatos abertos (\*\*).....1550 (+315)
- Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva
  - À terra/entre polos (kV, crista).....1175
  - Entre contatos abertos (kV, crista) (\*\*).....900 (+315)
- Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 minuto
  - À terra e entre polos (kV, eficaz) .....620
  - Entre contatos abertos (kV, eficaz) .....800
- Tensão suportável nominal à frequência industrial dos circuitos auxiliares, durante 1 minuto (kV, eficaz) .....2
- Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) .....350
- Nível máximo de rádio interferência para os disjuntores energizados a  $605/\sqrt{3}$  kV (valor eficaz, fase-terra) .....2500  $\mu$ V, a 1000 Hz
- Distância mínima de escoamento (mm) .....11.000
- Limites de elevação de temperatura ..... conforme NBR IEC 62271-102
- As lâminas de terra dos seccionadores a serem instalados nas saídas das linhas de transmissão 500 kV serão compatíveis com a classe A no Anexo C da norma NBR IEC 62271-102.

## 7.2 Seccionadoras de 230 kV

- Tensão nominal do equipamento (kV, eficaz) .....230
- Tensão máxima de operação do sistema (Vmax - kV, eficaz).....242
- Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....253
- Corrente nominal (A, eficaz)..... 3150/2500/1600/630 (Nota 1)
  - Vão do transformador e interligação de barras – SE Morro do Chapéu II.....3150
  - Demais aplicações .....2500
- Frequência nominal (Hz).....60
- Corrente suportável nominal de curta duração (1s), para o seccionador e para a lâmina de aterramento (kA, eficaz).....40
- Valor de crista nominal da corrente suportável, para o seccionador e para a lâmina de aterramento
  - Equipamentos utilizados na SE Igaporã III .....106,4
  - Equipamentos utilizados nas demais SEs .....104
- Fator de assimetria de do valor de crista da corrente suportável nominal
  - Equipamentos utilizados na SE Igaporã III .....2,66
  - Equipamentos utilizados nas demais SEs .....2,6
- Tensão suportável nominal a impulso atmosférico
  - À terra e entre polos (kV, crista) .....950
  - Entre contatos abertos (\*\*).....1050
- Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 minuto
  - À terra e entre polos (kV, eficaz) .....395
  - Entre contatos abertos (kV, eficaz) .....460
- Tensão suportável nominal à frequência industrial dos circuitos auxiliares, durante 1 minuto (kV, eficaz) .....2
- Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) .....161
- Nível máximo de rádio interferência para os disjuntores energizados a  $266/\sqrt{3}$  kV (valor eficaz, fase-terra) ..... 2500  $\mu$ V, a 1000 Hz
- Distância mínima de escoamento (mm) .....4840
- Limites de elevação de temperatura ..... conforme NBR IEC 62271-102
- As lâminas de terra dos seccionadores a serem instalados nas saídas das linhas de transmissão 230 kV serão compatíveis com:
  - Classe B no Anexo C da norma NBR IEC 62271-102 para as seccionadoras a serem utilizadas nas LTs Igaporã III – Pindaí II. Adicionalmente, as lâminas de terra usadas nas chaves desta LT deverão suportar corrente induzida proveniente de acoplamento magnético de 106,21 A;
  - Classe A no Anexo C da norma NBR IEC 62271-102 para as lâminas de terra das demais seccionadoras.

- As seccionadoras usadas para transferência de barras nos esquemas barra dupla 4 chaves (as seletoras de barra e a chave de transferência) serão providas de acessório para atendimento ao Anexo B da norma NBR IEC 62271-102.

Nota 1: Para aplicação das seccionadoras relativamente às correntes nominais, ver diagramas unifilares simplificados constantes do presente Projeto Básico.

## 8 PARA-RAIOS

Os para-raios são tipo estação, de óxido de zinco, sem centelhadores (quer em série, quer em paralelo), para uso externo em posição vertical, autossustentáveis, com base de montagem em aço fundido ou alumínio e montados sobre isoladores de base para permitir a conexão de contadores de descarga e miliamperímetros.

Possuem meios adequados de distribuição de potencial a fim de assegurar que os mesmos operarão de modo seguro mesmo quando a superfície estiver altamente poluída. Também deverão ser fornecidos, se necessário, meios de equalização.

As características principais dos equipamentos são as seguintes:

### 8.1 Para raios de 500 kV

▪ Tensão nominal do sistema (kV, eficaz) .....	500
▪ Frequência nominal (Hz).....	60
▪ Tensão máxima de operação contínua (Vmax - kV, eficaz) .....	550
▪ Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....	600
▪ Tensão nominal do para-raios (kV eficaz, fase-terra) .....	420
▪ Máxima tensão contínua de operação (MCOV) (kV eficaz) .....	336
▪ Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual (KV, eficaz) .....	350
▪ Nível máximo de rádio-interferência para os para-raios energizados a 420kV (valor eficaz, fase-terra) .....	2500 $\mu$ V a 1000 kHz
▪ Corrente nominal de descarga (8 x 20 microseg, kA, crista) .....	20
▪ Capacidade mínima de absorção de energia para surtos de manobra (kJ/kV).....	15,4
▪ Classe (IEC) de capacidade de absorção de energia .....	5
▪ Tensões residuais	
○ Valores máximos correspondentes às correntes nominais 8 x 20 $\mu$ s (kV, crista):	
▪ 10 kA .....	966
▪ 20 kA .....	1072
○ Valores máximos de surto de manobra, correspondentes a impulso de corrente com frete de onda 30/60 microseg (kV, crista):	
▪ 1,0 kA .....	798
▪ 2,0 kA .....	831
▪ Distância mínima de escoamento (mm) .....	11.000

### 8.2 Para raios de 230 kV

▪ Tensão nominal do sistema (kV, eficaz) .....	230
▪ Frequência nominal (Hz).....	60

▪ Tensão máxima de operação contínua (Vmax - kV, eficaz) .....	242
▪ Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....	253
▪ Tensão nominal do para-raios (kV eficaz, fase-terra) .....	192
▪ Máxima tensão contínua de operação (MCOV) (kV eficaz) .....	146
▪ Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual (KV, eficaz) .....	161
▪ Nível máximo de rádio-interferência para os para-raios energizados a 146kV (valor eficaz, fase-terra) .....	2500 $\mu$ V a 1000 kHz
▪ Corrente nominal de descarga (8 x 20 microseg, kA, crista) .....	10
▪ Capacidade mínima de absorção de energia para surtos de manobra (kJ/kV).....	7,8
▪ Classe (IEC) de capacidade de absorção de energia .....	3
▪ Tensões residuais	
○ Valores máximos correspondentes às correntes nominais 8 x 20 $\mu$ s (kV, crista):	
▪ 10 kA .....	440
▪ 20 kA .....	480
○ Valores máximos de surto de manobra, correspondentes a impulso de corrente com frete de onda 30/60 microseg (kV, crista):	
▪ 1,0 kA .....	365
▪ 2,0 kA .....	380
▪ Distância mínima de escoamento (mm) .....	4.840

### 8.3 Para raios de neutro dos reatores de linha

▪ Tensão nominal do para-raios (kV eficaz, fase-terra)	
○ LT Gilbués II – Gentio do Ouro II .....	120
○ LT Gentio do Ouro II – Ouarolândia II.....	72,5
○ LT Ouarolândia II – Morro do Chapéu II .....	72,5
▪ Capacidade mínima de absorção de energia para surtos de manobra (kJ/kV).....	5,1
▪ Valores máximos de surto de manobra, correspondentes a impulso de corrente com frete de onda 30/60 microseg (kV, crista):	
○ Para-raios de 120 kV	
▪ 0,5 kA .....	222
▪ 1,0 kA .....	228
▪ 2,0 kA .....	237
○ Para-raios de 72,5 kV	
▪ 0,5 kA .....	144
▪ 1,0 kA .....	150
▪ 2,0 kA .....	157

## 9 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS E INDUTIVOS

Os transformadores de potencial capacitivos (500 e 230kV) e indutivos (69kV) deverão ser adequados para instalação externa, montagem vertical, do tipo monopolar, para ligação fase-terra, devendo ser projetados para uso como transformador para instrumentos.

As características principais dos equipamentos são as seguintes:

### 9.1 Transformadores de Potencial Capacitivos de 500 kV

▪ Tensão nominal (kV, eficaz) .....	500
▪ Tensão máxima de operação do sistema ( $V_{max}$ - kV, eficaz) .....	550
▪ Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....	600
▪ Frequência nominal (Hz).....	60
▪ Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kV, crista) .....	1550
▪ Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva (kV crista) .....	1175
▪ Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 (um) minuto (kV, eficaz).....	650
▪ Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) .....	350
▪ Tensão suportável nominal à frequência industrial dos circuitos auxiliares, durante 1 minuto (kV, eficaz) .....	3
▪ Fator de sobretensão	
○ Contínuo .....	1,2
○ Em 30 segundos.....	1,5
▪ Nível máximo de rádio interferência para os disjuntores energizados a $605/\sqrt{3}$ kV (valor eficaz, fase-terra) .....	2500 $\mu$ V, a 1000 Hz
▪ Capacitância de acoplamento para onda portadora para o TPC (pF).....	> 4.500
▪ Distância mínima de escoamento (mm).....	11.000
▪ Tensão primária nominal (V) .....	$500.000/\sqrt{3}$
▪ Tensões secundárias (V) .....	$115/\sqrt{3}$ V e 115V
▪ Relações nominais.....	2.600/4.500 : 1
▪ Quantidade de enrolamentos	
○ Proteção .....	3
○ Medição .....	1
▪ Classe de precisão e carga nominal	
○ Proteção, carga nominal 75VA, FP=0,8 .....	3P
○ Medição, carga nominal 75VA, FP=0,8.....	0,3

- Quando todos os enrolamentos estiveram operando simultaneamente, com carga nominal (ou inferior) em cada um deles, cada enrolamento deverá manter a sua própria classe de exatidão, para uma carga simultânea de até 200 VA.
- Deverão ser adotadas medidas destinadas à supressão dos efeitos de ferro-ressonância, tais que:
  - Quando o TP, alimentado a 120% da tensão nominal e com carga praticamente nula, tiver seus terminais secundários curto-circuitados e o curto-circuito for repentinamente removido, o pico de tensão secundária retornará a um valor não diferindo do seu valor normal em mais de 10%, após 166,7 ms.
  - Quando o TP, alimentado a 1,5 vezes a sua tensão nominal e com carga praticamente nula, tiver seus terminais secundários curto-circuitados, sendo o curto-circuito removido repentinamente, a ferro-ressonância não se manterá por mais de 2 (dois) segundos.
- A resposta do TP a transitórios deverá ser tal que, após um curto-circuito da alimentação entre seu terminal primário e a terra, a tensão secundária do TPC caia, dentro de 16,67 ms, a um valor menor que 10% do valor de crista da tensão existente antes do curto-circuito.

## 9.2 Transformadores de Potencial Capacitivos de 230 kV

- Tensão nominal (kV, eficaz) .....230
- Tensão máxima de operação do sistema (V<sub>max</sub> - kV, eficaz) .....242
- Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....253
- Frequência nominal (Hz).....60
- Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kV, crista) .....950
- Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 (um) minuto (kV, eficaz).....395
- Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) .....161
- Tensão suportável nominal à frequência industrial dos circuitos auxiliares, durante 1 minuto (kV, eficaz) .....3
- Fator de sobretensão
  - Contínuo .....1,2
  - Em 30 segundos.....1,5
- Nível máximo de rádio-interferência para os disjuntores energizados a  $266/\sqrt{3}$  kV (valor eficaz, fase-terra) ..... 2500  $\mu$ V, a 1000 Hz
- Distância mínima de escoamento (mm).....4840
- Tensão primária nominal (V) ..... $230.000/\sqrt{3}$
- Tensões secundárias (V) .....  $115/\sqrt{3}$  V e 115V
- Relações nominais.....1200/2000 : 1
- Quantidade de enrolamentos
  - Proteção .....3

- Medição ..... 1
- Classe de precisão e carga nominal
  - Proteção, carga nominal 75VA, FP=0,8 .....3P
  - Medição, carga nominal 75VA, FP=0,8 .....0,3
- Quando todos os enrolamentos estiveram operando simultaneamente, com carga nominal (ou inferior) em cada um deles, cada enrolamento deverá manter a sua própria classe de exatidão, para uma carga simultânea de até 200 VA.
- Deverão ser adotadas medidas destinadas à supressão dos efeitos de ferro-ressonância, tais que:
  - Quando o TP, alimentado a 120% da tensão nominal e com carga praticamente nula, tiver seus terminais secundários curto-circuitados e o curto-circuito for repentinamente removido, o pico de tensão secundária retornará a um valor não diferindo do seu valor normal em mais de 10%, após 166,7 ms.
  - Quando o TP, alimentado a 1,5 vezes a sua tensão nominal e com carga praticamente nula, tiver seus terminais secundários curto-circuitados, sendo o curto-circuito removido repentinamente, a ferro-ressonância não se manterá por mais de 2 (dois) segundos.
- A resposta do TP a transitórios deverá ser tal que, após um curto-circuito da alimentação entre seu terminal primário e a terra, a tensão secundária do TPC caia, dentro de 16,67 ms, a um valor menor que 10% do valor de crista da tensão existente antes do curto-circuito.

## 10 TRANSFORMADORES DE CORRENTE

Os transformadores de corrente para serviços de medição e proteção deverão ser adequados para instalação externa, montagem vertical, do tipo monopolar, imersos em óleo isolante do tipo naftênico e para a frequência de 60 Hz, completos com todos os acessórios, terminais de alta tensão, conectores de aterramento, dispositivos para içamento, parafusos para fixação do TC à estrutura suporte, indicador de nível de óleo, válvula para drenagem e enchimento. Os transformadores de corrente, quando instalados, estarão sujeitos à influência dos fenômenos de alta frequência, oriundos de manobras na aparelhagem de alta tensão, tal como os seccionadores. Portanto, no projeto dos transformadores de corrente, essa condição deverá ser observada.

As características principais dos equipamentos são as seguintes:

### 10.1 Transformadores de Corrente de 500 kV

▪ Tensão nominal (kV, eficaz) .....	500
▪ Tensão máxima de operação do sistema ( $V_{max}$ - kV, eficaz) .....	550
▪ Frequência nominal (Hz).....	60
▪ Tensão suportável nominal a impulso atmosférico,	
○ Onda plena (kV, crista).....	1550
○ Onda cortada, corte em 3 microssegundos (kV, crista).....	1705
▪ Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva (kV crista).....	1175
▪ Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 (um) minuto (kV, eficaz).....	680
▪ Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) .....	350
▪ Tensão suportável nominal à frequência industrial dos circuitos auxiliares, durante 1 minuto (kV, eficaz) .....	3
▪ Nível máximo de rádio-interferência para os TCs energizados a $605/\sqrt{3}$ kV (valor eficaz, fase-terra) .....	2500 $\mu$ V, a 1000 Hz
▪ Nível máximo de descargas parciais totais (incluindo o ruído ambiente), quando o TC estiver energizado a $550/\sqrt{3}$ kV fase-terra (pC) .....	10
▪ Fator de potência do isolamento do TC's, a 20°C, menor que (%).....	1,0
▪ Corrente suportável nominal de curta duração (1s), em qualquer relação de transformação e em todas as derivações (kA, eficaz).....	50
▪ Corrente primária nominal (A).....	4000
▪ Fator térmico nominal	
○ Para TCs associados a equipamentos com $I_n = 4000$ A .....	1
○ Para TCs associados a equipamentos com $I_n = 5000$ A.....	1,25
▪ Relações nominais	
○ Enrolamentos de proteção .....	4000RM:1A
○ Enrolamentos de medição.....	4000RM:1A

- Quantidade de enrolamentos
  - Proteção ..... 3 ou 4
  - Medição ..... 1 ou 2
- Classes de precisão e carga nominais
  - Proteção ..... TPY/8VA
  - Medição ..... 0,3C10
- Distância mínima de escoamento (mm) ..... 11.000

## 10.2 Transformadores de Corrente de 230 kV

- Tensão nominal (kV, eficaz) ..... 230
- Tensão máxima de operação do sistema ( $V_{max}$  - kV, eficaz) ..... 242
- Frequência nominal (Hz) ..... 60
- Tensão suportável nominal a impulso atmosférico,
  - Onda plena (kV, crista) ..... 950
- Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 (um) minuto (kV, eficaz) ..... 395
- Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) ..... 161
- Tensão suportável nominal à frequência industrial dos circuitos auxiliares, durante 1 minuto (kV, eficaz) ..... 3
- Nível máximo de rádio-interferência para os TCs energizados a  $266/\sqrt{3}$  kV (valor eficaz, fase-terra) ..... 2500  $\mu$ V, a 1000 Hz
- Nível máximo de descargas parciais totais (incluindo o ruído ambiente), quando o TC estiver energizado a  $242/\sqrt{3}$  kV fase-terra (pC) ..... 10
- Fator de potência do isolamento do TC's, a 20°C, menor que (%) ..... 1,0
- Corrente suportável nominal de curta duração (1s), em qualquer relação de transformação e em todas as derivações (kA, eficaz) ..... 40
- Fator térmico nominal ..... 1
- Corrente primária nominal (A) ..... 4000/2000
- Relações nominais
  - Enrolamentos de proteção ..... 4000RM:1A/2000RM-1A (Nota 1)
  - Enrolamentos de medição ..... 4000RM:1A/2000RM-1A (Nota 1)
- Quantidade de enrolamentos
  - Proteção ..... 3
  - Medição ..... 1
- Classes de precisão e carga nominais
  - Proteção ..... TPY/8VA

- Medição ..... 0,3C10
- Distância mínima de escoamento (mm) ..... 4840

Nota 1: Para aplicação dos transformadores de corrente relativamente às relações nominais, ver diagramas unifilares de medição e proteção constantes do presente Projeto Básico.

## 11 ISOLADORES DE PEDESTAL

Os isoladores pedestal deverão ser próprios para uso externo e destinados a suporte de barramentos, fornecidos completos, inclusive com todos os parafusos de fixação (exceto os da base) e anel anti-corona.

As ferragens deverão ter as furações padronizadas e deverão ser de ferro maleável, ou de aço doce fundido ou forjadas e zincadas a quente.

As características principais dos equipamentos são as seguintes:

### 11.1 Isoladores de Pedestal de 500 kV

▪ Tensão nominal (kV, eficaz) .....	500
▪ Tensão máxima de operação do sistema (Vmax - kV, eficaz) .....	550
▪ Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....	600
▪ Frequência nominal (Hz).....	60
▪ Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kV, crista) .....	1550
▪ Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva (kV crista) .....	1175
▪ Tensão suportável nominal à frequência industrial, sob chuva, durante 1 (um) minuto (kV, eficaz).....	740
▪ Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) .....	350
▪ Cargas nominais de ruptura mecânica	
○ Flexão (kgf) .....	1000
○ Torção (kgf.m).....	1380
○ Tração (kgf).....	17800
○ Compressão (kgf) .....	45000
▪ Tensão de rádio interferência máxima quando o isolador estiver energizado a $605/\sqrt{3}$ kV eficaz, fase-terra .....	2500 $\mu$ V, a 1000 Hz
▪ Distância mínima de escoamento (mm).....	11000
▪ Distância de arco seco (mm).....	3200
▪ Círculo de furação	
○ No topo.....	127
○ Na base .....	178

### 11.2 Isoladores de Pedestal de 230 kV

▪ Tensão nominal (kV, eficaz) .....	230
▪ Tensão máxima de operação do sistema (Vmax - kV, eficaz).....	242
▪ Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 h (kV, eficaz) .....	253
▪ Frequência nominal (Hz).....	60
▪ Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kV, crista) .....	1050

▪ Tensão suportável nominal à frequência industrial, sob chuva, durante 1 (um) minuto (kV, eficaz).....	460
▪ Tensão mínima fase-terra de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz) .....	161
▪ Cargas nominais de ruptura mecânica	
○ Flexão (kgf) .....	600
○ Torção (kgf.m).....	1000
○ Tração (kgf).....	11000
○ Compressão (kgf) .....	25000
▪ Tensão de rádio interferência máxima quando o isolador estiver energizado a $266/\sqrt{3}$ kV eficaz, fase-terra .....	2500 $\mu$ V, a 1000 Hz
▪ Distância mínima de escoamento (mm).....	4840
▪ Círculo de furação	
○ No topo .....	127
○ Na base .....	127