

01	08/11/2019	Revisado item 6.5 sobregalvanização	PP	PP
00	13/06/2019	Aprovado	PP	PP
<i>Rev.</i>	<i>Data</i>	<i>Descrição</i>	<i>Por</i>	<i>Aprov.</i>
		<i>Nome da Obra</i> <b>LT 525 kV POVO NOVO – GUAÍBA 3 C3</b> <b>LT 525 kV CAPIVARI DO SUL - SIDERÓPOLIS 2 C1</b>		
<b>EKTT 05</b> Serviços de Transmissão de Energia Elétrica SPE S.A. 		<i>Título do Documento</i> <b>ESPECIFICAÇÃO PARA FORNECIMENTO DE ESTRUTURAS METÁLICAS</b>		
<i>Projeto</i>	Paulo Pamplona	10/05/19	<i>Sit. Proj.</i>	<i>Class.Proj.</i> Eletromecânico
<i>Aprovação</i>	Paulo Pamplona	10/05/19	<i>Nº Contratada</i> 3.61.15-A4-002	<i>Rev.</i> 01
<i>Responsável</i>	Rodrigo Noel CREA 2005104351	10/05/19	<i>Nº NEOENERGIA</i> LT-L-GERAL-ET-A4-0001	<i>ESC.</i> <i>Folha 1 de 33</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DAS ESTRUTURAS</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMAS APLICÁVEIS</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>AISC – American Institute of Steel Construction</b>	<b>7</b>
<b>3.3</b>	<b>ASTM – American Society for Testing and Materials</b>	<b>7</b>
<b>3.4</b>	<b>ASME – American Society of Mechanical Engineers</b>	<b>9</b>
<b>3.5</b>	<b>AWS – American Welding Society</b>	<b>9</b>
<b>3.6</b>	<b>IEC – International Electrotechnical Commission</b>	<b>9</b>
<b>3.7</b>	<b>ISO – International Organization for Standardization</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>REQUISITOS PARA OS MATERIAIS</b>	<b>10</b>
<b>4.1</b>	<b>Perfis e Chapas</b>	<b>10</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Características Mecânicas</b>	<b>10</b>
<b>4.2</b>	<b>Parafusos</b>	<b>11</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Características Mecânicas</b>	<b>11</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Dimensões</b>	<b>12</b>
<b>4.3</b>	<b>Parafusos-Degrau</b>	<b>13</b>
<b>4.4</b>	<b>Porcas</b>	<b>13</b>
<b>4.5</b>	<b>Arruelas</b>	<b>14</b>
<b>4.6</b>	<b>Sistema de Travamento das Porcas</b>	<b>14</b>
<b>4.7</b>	<b>Calços</b>	<b>14</b>
<b>4.8</b>	<b>Ferragens de Interligação</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>REQUISITOS PARA O CÁLCULO ESTRUTURAL</b>	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>Cargas nas Fundações</b>	<b>17</b>
<b>5.2</b>	<b>Detalhamento</b>	<b>17</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Espessura e Comprimento das Barras e Chapas</b>	<b>17</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Extensões de Corpo e Pernas</b>	<b>17</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Geometria da Base das Estruturas</b>	<b>18</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Montantes Duplos</b>	<b>18</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Perfis Compostos</b>	<b>18</b>
<b>5.2.6</b>	<b>Barras Solicitadas Somente à Tração</b>	<b>18</b>

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

<b>5.2.7</b>	<b>Emendas de Montantes</b>	<b>18</b>
<b>5.2.8</b>	<b>Emendas de Diagonais nos Treliçamentos em "X"</b>	<b>19</b>
<b>5.2.9</b>	<b>Ângulo Mínimo entre Duas Barras</b>	<b>19</b>
<b>5.2.10</b>	<b>Posição das Peças</b>	<b>19</b>
<b>5.2.11</b>	<b>Rigidez da Estrutura</b>	<b>19</b>
<b>5.2.12</b>	<b>Barras Sujeitas a Cargas de Montagem e Manutenção</b>	<b>20</b>
<b>5.2.13</b>	<b>Ligações</b>	<b>20</b>
<b>5.2.14</b>	<b>Excentricidades nas Ligações</b>	<b>20</b>
<b>5.2.15</b>	<b>Parafusos</b>	<b>20</b>
<b>5.2.16</b>	<b>Parafusos-Degrau</b>	<b>21</b>
<b>5.2.17</b>	<b>Base dos mastros</b>	<b>21</b>
<b>5.2.18</b>	<b>Furações Especiais</b>	<b>21</b>
<b>5.2.19</b>	<b>Ferragens de Fixação das Cadeias</b>	<b>22</b>
<b>5.2.20</b>	<b>Documentação Técnica a ser Fornecida</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>REQUISITOS PARA FABRICAÇÃO</b>	<b>25</b>
<b>6.1</b>	<b>Geral</b>	<b>25</b>
<b>6.2</b>	<b>Furos</b>	<b>25</b>
<b>6.3</b>	<b>Soldas</b>	<b>26</b>
<b>6.4</b>	<b>Marcação</b>	<b>26</b>
<b>6.5</b>	<b>Galvanização</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>INSPEÇÃO E ENSAIOS</b>	<b>27</b>
<b>7.1</b>	<b>Geral</b>	<b>27</b>
<b>7.2</b>	<b>Ensaio de Tipo</b>	<b>27</b>
<b>7.2.1</b>	<b>Ensaio de Carga</b>	<b>27</b>
<b>7.2.2</b>	<b>Pré-montagem</b>	<b>28</b>
<b>7.3</b>	<b>Ensaio de Rotina</b>	<b>29</b>
<b>7.3.1</b>	<b>Componentes da Estrutura</b>	<b>29</b>
<b>7.3.2</b>	<b>Ferragens para as Torres</b>	<b>29</b>
<b>7.4</b>	<b>Ensaio de Recebimento</b>	<b>29</b>
<b>7.4.1</b>	<b>Galvanização</b>	<b>29</b>
<b>7.4.2</b>	<b>Ensaio Mecânico para Parafusos e Porcas</b>	<b>30</b>
<b>7.4.3</b>	<b>Ensaio Mecânico para as Ferragens</b>	<b>30</b>
<b>7.4.4</b>	<b>Verificação Dimensional e de Acabamento</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>EMBALAGEM E EMBARQUE</b>	<b>32</b>
<b>9</b>	<b>INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS PELO FABRICANTE</b>	<b>33</b>
<b>9.1</b>	<b>Requisitos Gerais</b>	<b>33</b>

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

<b>9.2</b>	<b>Manual de Garantia da Qualidade</b>	<b>33</b>
<b>9.3</b>	<b>Plano de Inspeção e Ensaio</b>	<b>33</b>

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

## 1 OBJETIVO

Esta especificação tem por objetivo estabelecer os elementos técnicos necessários para o fornecimento de estruturas metálicas para utilização nas seguintes linhas de transmissão:

- LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3;
- LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1.

## 2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DAS ESTRUTURAS

A série de estruturas que será utilizada nas LT's tem a seguinte composição:

LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1										
Características		Tipo de Estrutura e Aplicação								
		KSEL	KSEP	KSSL	KSSP	KSTR	KSA1	KSA2	KSAT	
		Suspensão Leve	Suspensão Pesada	Suspensão Leve	Suspensão Pesada	Transposição	Ancoragem até 20°	Ancoragem até 40°	Ancoragem até 60°	Terminal
Tipo		Monomastro	Monomastro	Autoportante	Autoportante	Autoportante	Autoportante	Autoportante	Autoportante	Autoportante
Vão de vento (m)		550 / 0°	650 / 0°	600 / 0°	700 / 0°	600 / 0°	450 / 20°	450 / 40°	450 / 60°	450
Deflexão máxima		1°	3°	3°	6°	4°	20°	40°	60°	10° / 30°
Sem Vento	Vão de peso máximo (m)	condutor 650	750	700	900	700	1100	1100	1100	1100
	para-raios	700	800	750	950	750	1200	1200	1200	1200
Vento	Vão de peso mínimo (m)	condutor 465	415	370	320	335	-550	-550	-550	-550
	para-raios	465	415	370	320	335	-600	-600	-600	-600
Com Vento	Vão de peso máximo (m)	condutor 750	950	800	1200	800	1500	1500	1500	1500
	para-raios	808	1013	857	1267	857	1636	1636	1636	1636
Vento	Vão de peso mínimo (m)	condutor 233	207.5	185	160	168	-750	-750	-750	-750
	para-raios	233	207.5	185	160	168	-818	-818	-818	-818
Altura mínima (m)		25.0	25.0	22.0	22.0	27.0	22.5	22.5	22.5	22.5
Altura máxima (m)		40.0	49.0	49.0	55.0	48.0	46.5	40.5	34.5	34.5
Corpo Básico (m)		-	-	20.5	20.5	25.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Extensões (m)		-	-	6,0 / 12,0 / 18,0	6,0 / 12,0 / 18,0 / 24,0	12,0 / 18,0 / 24,0	6,0 / 12,0 / 18,0	6,0 / 12,0	6,0	6,0
Pernas (m)		-	-	1,5 a 10,5	1,5 a 10,5	1,5 a 10,5	3,0 a 9,0	3,0 a 9,0	3,0 a 9,0	3,0 a 9,0

Notas:

1. A estrutura terminal KSAT deverá ser projetada para suportar um ângulo de até 10° do lado de tração reduzida e 30° do lado de tração plena;
2. As alturas das estruturas de ancoragem são mísulas-solo e das demais estruturas são condutor-solo;
3. As alturas das estruturas variam de 1,5 m.

## 3 NORMAS APLICÁVEIS

As estruturas deverão ser fornecidas de acordo com os requisitos desta especificação e das normas abaixo relacionadas em sua última revisão.

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
<b>LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1</b>	Rev. 01
	Folha 2 de 33

### 3.1 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

<b>NBR - 5422</b>	Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica - Procedimento
<b>NBR - 5426</b>	Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos - Procedimento
<b>NBR - 5427</b>	Guia para a utilização da norma NBR 5426 - Procedimento
<b>NBR - 5429</b>	<b>Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por variáveis - Procedimento</b>
<b>NBR - 5430</b>	<b>Guia de utilização da norma NBR 5429 - Procedimento</b>
<b>NBR - 5871</b>	Arruela lisa de uso em parafuso sextavado estrutural - Dimensões e material - Padronização
<b>NBR - 5875</b>	Parafusos, porcas e acessórios - Terminologia
<b>NBR - 5876</b>	Roscas - Terminologia
<b>NBR - 5909</b>	Cordoalhas de fios de aço zincados para estais, tirantes, cabos mensageiros e usos similares - Especificação
<b>NBR - 6109</b>	Cantoneiras de abas iguais, de aço, laminadas - Dimensões e tolerâncias - Padronização
<b>NBR - 6323</b>	Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Especificação
<b>NBR - 6351</b>	Perfis U de abas inclinadas de aço laminado - Padronização
<b>NBR - 6352</b>	Cantoneiras de abas desiguais, de aço, laminadas a quente - Padronização
<b>NBR - 6944</b>	Perfis laminados de aço - Requisitos gerais - Procedimento
<b>NBR - 7007</b>	Aços para perfis laminados para uso estrutural - Especificação
<b>NBR - 7095</b>	Ferragens eletrotécnicas para linhas de transmissão e subestações de alta tensão e extra alta tensão - Especificação

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

<b>NBR - 7397</b>	Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Determinação da massa do revestimento por unidade de área - Método de ensaio
<b>NBR - 7398</b>	Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Verificação da aderência do revestimento - Método de ensaio
<b>NBR - 7399</b>	Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Verificação da espessura do revestimento por processo não destrutivo - Método de ensaio
<b>NBR - 7414</b>	Zincagem por imersão a quente - Terminologia
<b>NBR - 8842</b>	Suportes metálicos treliçados para linhas de transmissão - Resistência ao carregamento - Método de ensaio
<b>NBR - 8850</b>	Execução de suportes metálicos treliçados para linhas de transmissão - Procedimento
<b>NBR - 8851</b>	Parafuso sextavado para uso estrutural - Dimensões - Procedimento
<b>NBR - 8852</b>	Porcas sextavadas - Grau de produto C - Dimensões - Procedimento
<b>NBR - 8853</b>	Porca sextavada de segurança para estruturas metálicas de linhas de transmissão e subestações - Padronização
<b>NBR - 9971</b>	Elementos de fixação dos componentes das estruturas metálicas - Especificação
<b>NBR - 10647</b>	Desenho técnico - Terminologia

### 3.2 AISC – American Institute of Steel Construction

Manual of Steel Construction.

### 3.3 ASTM – American Society for Testing and Materials

**A6/A6M** Standard specification for general requirements for delivery of rolled structural steel bars, plates, shapes, sheet piling

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

<b>A36/A36M</b>	Standard specification for carbon structural steel
<b>A90/A90M</b>	Standard test method for weight (mass) of coating on iron and steel articles with zinc or zinc-alloy coatings
<b>A123/A123M</b>	Standard specification for zinc (hot-dip galvanized) coatings on iron and steel products
<b>A143</b>	Standard practice for safeguard against embrittlement of hot-dip galvanized structural steel products and procedure for detecting embrittlement
<b>A153/A153M</b>	Standard specification for zinc coating (hot-dip) on iron and steel hardware
<b>A283/A283M</b>	Standard specification for low and intermediate tensile strength carbon steel plates
<b>A370</b>	Standard test method for definitions for mechanical testing of steel products
<b>A394</b>	Standard specification for steel transmission tower bolts, zinc-coated and bare
<b>A475</b>	Standard specification for zinc-coated steel wire strand
<b>A490</b>	Standard specification for heat-treated steel structural bolts, 150ksi minimum tensile strength
<b>A529/A529M</b>	Standard specification for high-strength carbon-manganese steel of structural quality
<b>A563/A563M</b>	Standard specification for carbon and alloy steel nuts
<b>A570/A570M</b>	Standard specification for structural steel, sheet and carbon, hot rolled
<b>A572/A572M</b>	Standard specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel
<b>B6</b>	Standard specification for zinc
<b>E709</b>	Standard guide for magnetic particle examination

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

**F568** Standard specification for carbon and alloy steel externally threaded metric fasteners

**3.4 ASME – American Society of Mechanical Engineers**

**B1.1** Unified inch screw threads

**B1.13M** Metric screw threads-m profile

**B18.2.1** Square and hex bolts and screws (inch series)

**B.18.2.1A** Addenda to B18.2.1

**B18.2.2** Square and hex nuts (inch series)

**B18.2.3.5M** Metric hex bolts

**B18.2.4.1M** Metric hex nuts, style 1

**B18.2.4.2M** Metric hex nuts, style 2

**B18.2.4.6M** Metric heavy hex nuts, style 2

**B18.5** Round head bolts (inch series)

**B18.21.1** Lock washers (inch series)

**B18.22M** Metric plain washers

**3.5 AWS – American Welding Society**

**D1.1.** Structural welding code

**3.6 IEC – International Electrotechnical Commission**

**652** Loading tests on overhead line towers

**60826** Loading and strength of overhead transmission lines

**3.7 ISO – International Organization for Standardization**

**261** General purpose metric screw threads - General plan

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

<b>898-1</b>	Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs
<b>898-2</b>	Mechanical properties of fasteners - Part 2: Nuts with specified proof load values - Coarse thread
<b>965-1</b>	General purpose metric screw threads tolerances - Part 1: Principles and basic data
<b>965-2</b>	General purpose metric screw threads tolerances - Part 2: Limits of sizes for general purpose external and internal screw threads
<b>965-3</b>	<b>General purpose metric screw threads tolerances - Part 3: Deviations for constructional screw threads</b>
<b>4016</b>	Hexagon head bolts - Product grade C
<b>4034</b>	Hexagon nuts - Product grade C
<b>4759</b>	Tolerances for fasteners - Part 1: Bolts, screws and nuts with threads diameters >1.6mm and <150mm and product grades A, B and C
<b>7091</b>	Plain washers - Normal series product grade C

## **4 REQUISITOS PARA OS MATERIAIS**

Os materiais empregados na fabricação das estruturas deverão atender as seguintes prescrições.

### **4.1 Perfis e Chapas**

#### **4.1.1 Características Mecânicas**

Os perfis e as chapas de ligação de uma mesma estrutura deverão ser todos de um só tipo de aço ou no máximo de dois tipos, sendo um comum e outro de alta resistência. Neste último caso, o Fabricante deverá contar com um rigoroso controle de qualidade que assegure para cada peça o emprego do aço correto. Os aços deverão ter as características segundo as normas abaixo relacionadas:

- Aço carbono comum: ASTM A36;
- Aço carbono de alta resistência e baixa liga: ASTM A529 e A572.

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
<b>LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1</b>	Rev. 01 Folha 2 de 33

Na tabela a seguir constam as principais características destes aços:

Classificação	Denominação	Grau	Espessura	Fy (daN/cm <sup>2</sup> )	Fu (daN/cm <sup>2</sup> )
Aço comum	A-36	-	t ≤ 200 mm	2.500	4.000
Aço de alta resistência e baixa liga	A-572	Grau 42	t ≤ 150 mm	2.900	4.150
		Grau 50	t ≤ 100 mm	3.450	4.500
		Grau 60	t ≤ 32 mm	4.150	5.200

Aços especificados por outras normas e que apresentem características similares aos das normas acima citadas poderão ser utilizados, eventualmente, desde que previamente aceitos pela NEOENERGIA.

Deverão ser utilizadas cantoneiras de abas iguais laminadas a quente. Não será permitida a aplicação de perfis obtidos a partir das chapas dobradas, barras chatas, tubos ou hastes como peças estruturais.

## 4.2 Parafusos

### 4.2.1 Características Mecânicas

Os parafusos deverão ter as características especificadas nas Normas ASTM A394 (série em polegadas) ou ISO 898-1 (série métrica) e diâmetro mínimo de ½” ou M12. De acordo com a classificação por tipo ou classe estabelecida nestas normas, as características de resistência para os tipos preferencialmente utilizados nas estruturas para as linhas de transmissão são as seguintes:

a) ASTM A394, Tipo “0” - Galvanizado, de baixo ou médio carbono:

- Tensão limite de ruptura Fu = 5100 daN/cm<sup>2</sup>
- Tensão limite de cisalhamento no corpo Fv = 3165 daN/cm<sup>2</sup>

b) ASTM A394, Tipo “1” - Galvanizado, de médio carbono com tratamento térmico:

- Tensão limite de ruptura Fu = 8275 daN/cm<sup>2</sup>
- Tensão limite de cisalhamento no corpo Fv = 5130 daN/cm<sup>2</sup>

c) ISO 898 – 1, Classe 5.8 - Galvanizado, de baixo ou médio carbono:

- Tensão limite de ruptura Fu = 5200 daN/cm<sup>2</sup>
- Tensão limite de cisalhamento no corpo Fv = 3220 daN/cm<sup>2</sup>

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

d) ISO 898 – 1, Classe 8.8 - Galvanizado, de médio carbono com tratamento térmico:

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| - Tensão limite de ruptura (diâmetro $\leq$ 16 mm) | $F_u = 8000 \text{ daN/cm}^2$  |
| - Tensão limite de ruptura (diâmetro $>$ 16 mm)    | $F_u = 8300 \text{ daN/cm}^2$  |
| - Tensão limite de cisalhamento no corpo:          |                                |
| o (diâmetro $\leq$ 16 mm)                          | $F_v = 4960 \text{ da N/cm}^2$ |
| o (diâmetro $>$ 16 mm)                             | $F_v = 5150 \text{ daN/cm}^2$  |

A tensão de cisalhamento limite ( $F_v$ ) para outros tipos de aços poderá ser obtida a partir da tensão limite de ruptura,  $F_u$ , através da seguinte expressão:

$$F_v = 0,62 \times F_u$$

O Fabricante deverá informar o torque de aperto a ser aplicado a cada tipo e dimensão de parafuso fornecido. Os comprimentos dos parafusos deverão ser definidos de tal forma que o cisalhamento dos mesmos ocorra sempre no corpo, ou seja, excluída a seção da rosca.

#### 4.2.2 Dimensões

Será permitido empregar parafusos tanto da série métrica (M12, M14, M16, M20, M24) quanto da série em polegadas (1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 1"). Deverão ser priorizados os seguintes diâmetros de parafusos: M12, M16 e M20 (série métrica) e 1/2", 5/8" e 3/4" (série polegadas). Não poderão ser projetados parafusos com séries diferentes para a mesma estrutura bem como para a mesma série de estruturas que compõem a LT em referência, como forma de padronização.

Os parafusos deverão ter cabeças hexagonais e obedecer a Norma ASME B18.2.1 com tolerância 2A para os parafusos em polegadas e ISO 4016 (grau C) com tolerância conforme ISO 4759/1 para os parafusos métricos.

Os comprimentos total e de rosca devem permitir a instalação das arruelas, sistemas de travamento das porcas (arruela de pressão ou palnut) e porcas, sobrando após o aperto final um comprimento de parafuso de 3 a 12 mm, com 2 filetes de rosca de folga, no mínimo.

O diâmetro do furo deve ser de 1,6 mm maior do que o diâmetro do parafuso para a série em polegadas e de 1,5 mm para a série métrica.

A seção transversal do corpo dos parafusos, assim como a área líquida e a área da raiz da rosca, constam na tabela a seguir:

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

Diâmetro	Área do Corpo [cm <sup>2</sup> ]	n	p [mm]	Área Líquida da Rosca [cm <sup>2</sup> ]	Área da Raiz da Rosca [cm <sup>2</sup> ]
1/2"	1,267	13	--	0,915	0,811
5/8"	1,979	11	--	1,468	1,303
3/4"	2,850	10	--	2,155	1,948
7/8"	3,879	9	--	2,979	2,708
1"	5,067	8	--	3,908	3,558
M12	1,131	--	1,75	0,843	0,743
M14	1,539	--	2,00	1,154	1,021
M16	2,011	--	2,00	1,567	1,411
M20	3,142	--	2,50	2,448	2,204
M24	4,524	--	3,00	3,525	3,174

n - número de fios ou sulcos por polegadas;  
 p - passo, em mm.

### 4.3 Parafusos-Degrau

Os parafusos-degrau deverão ser fabricados com aço que apresente, como mínimo, as características mecânicas da Norma SAE 1010/1020. Os parafusos-degrau deverão ter as seguintes dimensões:

- Bitola mínima: 5/8" ou M16;
- Comprimento útil: 15 cm;
- Comprimento da rosca: 70 mm ± 2 mm;
- Diâmetro da cabeça: 35 mm ± 2 mm;
- Altura da cabeça: 10 mm ± 1 mm.

### 4.4 Porcas

Para cada tipo de parafuso estabelecido nas Normas ASTM A394 e ISO 898-1, deverá corresponder uma porca de características estabelecidas nas Normas ASTM A563 (porcas em polegadas) ou ISO 898-2 (porcas métricas), conforme tabela abaixo:

Parafusos	Porcas
ASTM A394, Tipo "0"	ASTM A563, Grau A
ASTM A394, Tipo "1"	ASTM A563, Grau DH
ISO 898-1, Classe 5.8	ISO 898-2, Classe 5
ISO 898-1, Classe 8.8	ISO 898-2, Classe 8

As porcas deverão ser hexagonais e de acordo com as Normas ASME B18.2.2 (porcas em polegadas) e ISO 4034 grau C (porcas métricas).

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

#### 4.5 Arruelas

As arruelas deverão ser fabricadas em aço ASTM A36 ou outros aços carbono de baixa, média e alta resistência. As arruelas poderão ser redondas ou quadradas, atendendo a ASME B18.22.1 “type B - Narrow” (parafusos em polegadas), ou ISO 7091 (parafusos métricos), com as seguintes dimensões e tolerâncias:

<b>Parafusos</b>	<b>Diâmetro ou Lado da Arruela (mm)</b>	<b>Diâmetro do Furo (mm)</b>
1/2”	25,4 ± 0,4	14,3 ± 0,4
5/8”	32,0 ± 0,5	17,5 ± 0,5
3/4”	35,2 ± 0,5	20,7 ± 0,5
7/8”	37,6 ± 0,5	23,8 ± 0,5
1”	44,7 ± 0,5	27,0 ± 0,5
M12	23,5 ± 0,5	13,4 ± 0,4
M14	27,5 ± 0,5	15,5 ± 0,5
M16	29,5 ± 0,5	17,5 ± 0,5
M20	36,5 ± 0,5	22,0 ± 0,5
M24	43,5 ± 0,5	26,0 ± 0,5

As espessuras poderão variar de 3 mm a 6,4 mm, com tolerância de  $\pm 0,4$  mm. Deverão ser utilizadas, no máximo, duas espessuras distintas de arruelas por tipo de estrutura.

#### 4.6 Sistema de Travamento das Porcas

O sistema de travamento das porcas deverá ser constituído por arruelas de pressão de aço classe SAE 1055/1065 ou palnut que deverá ser fabricado de aço SAE J4896.

#### 4.7 Calços

Os calços deverão ser fabricados em aço ASTM A36 e atender os requisitos aplicáveis da norma NBR 9983. Os calços deverão ser utilizados sempre que a relação entre a espessura a ser compensada e a distância entre pontos de ligação for maior do que 3/1000. É obrigatório o uso de calços nas conexões em que for necessário compensar diferenças entre os planos das barras conectadas. A espessura do calço (ou calços) deverá ser compatível com o espaço a ser preenchido.

#### 4.8 Ferragens de Interligação

As ferragens de interligação da torre com as cadeias de isoladores e conjuntos dos cabos para-raios deverão ser as seguintes:

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

a) Cabo para-raios

Suspensão: manilha  
Ancoragem: manilha

b) Cabo condutor

Suspensão vertical: mancal e manilha  
Suspensão em V: manilha  
Ancoragem: mancal e manilha

Somente os mancais serão fornecidos juntamente com as torres.

As manilhas utilizadas para fixação das cadeias de isoladores e conjuntos para os cabos para-raios deverão atender as seguintes exigências:

- a) O comprimento roscado dos pinos de engate e a posição do contrapino deverão ser determinados de tal forma que, com o pino submetido às cargas normais de trabalho e a cabeça do mesmo em contato com a manilha ou cavalote, sejam verificadas as seguintes condições:
- A porca não deverá tocar a manilha, quando atarraxada até o final da parte rosqueada do pino;
  - Com a porca em contato com o contrapino, à distância entre esta e a manilha ou cavalote deverá ser inferior a 6,3 mm (1/4") e 9,5 mm (3/8") para pinos de diâmetro até 25 mm e maiores respectivamente;
  - A instalação e retirada do contrapino possam ser efetuadas facilmente;
  - O diâmetro do furo do contrapino (D) deverá ser conforme recomendado na tabela abaixo, sendo que a distância do centro do furo à extremidade do contrapino deverá ser inferior a 1,2D;

<b>Contrapino</b>			
<b>Diâmetro Nominal</b>		<b>Diâmetro Recomendado para o Furo (D)</b>	
<b>Métrica</b>	<b>Polegada</b>	<b>(mm)</b>	<b>(Polegada)</b>
M12	1/2	4,37	11/64
M16	5/8	5,56	7/32
M20	3/4		
M22	7/8	7,15	9/32
M26	1		
M27	1 1/8		
M30	1 1/4	7,94	5/16
	1 3/8		
M36	1 1/2		

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01
	Folha 2 de 33

- b) Todos os pinos de engate que possam sofrer esforços longitudinais ou desgaste excessivo do contrapino devem ser fornecidos com porca e contrapino. Todos os pinos deverão ser providos de arruelas lisas.

## 5 REQUISITOS PARA O CÁLCULO ESTRUTURAL

Para cálculo das solicitações atuantes em cada elemento das estruturas autoportantes, assim como dos deslocamentos no topo e em outros pontos de interesse, o Fornecedor deverá realizar uma análise estática levando em consideração a rigidez das barras e as combinações possíveis de extensões e assimetria de pernas. Esta análise deverá ser linear-elástica, a menos que o Fornecedor julgue necessária uma análise não-linear e justifique tal procedimento perante a Contratante.

As solicitações atuando em cada elemento das estruturas, incluindo sobre os estais, deverão ser calculadas para todas as hipóteses de carregamento previstas no projeto.

O cálculo da resistência limite de cada elemento das estruturas deverá ser realizado de acordo com as recomendações da norma ASCE 10-97. Os valores assim calculados deverão ser multiplicados por um fator de minoração ( $\phi_R$ ) igual a:

- Estruturas com protótipos submetidos a ensaios de carga:  $\phi_R = 0,93$
- Estruturas de suspensão não submetidas a ensaios de carga:  $\phi_R = 0,90$
- Estruturas de ancoragem e especiais não submetidas a ensaios de carga:  $\phi_R = 0,85$

A resistência limite dos cabos utilizados para os estais será obtida multiplicando o fator aplicável  $\phi_R$ , pelo valor correspondente a 75% da carga de ruptura mínima garantida do cabo selecionado.

A esbeltez efetiva (kL/r) das barras deverá respeitar os seguintes valores:

- Montantes  $kL/r \leq 150$
- Outras barras submetidas à compressão  $kL/r \leq 200$
- Barras redundantes e barras tracionadas que, para certas combinações de carregamento, podem ficar descarregadas  $kL/r \leq 250$
- Barras sempre tracionadas  $kL/r \leq 375$

Todas as barras redundantes (sem esforços calculados) deverão ter resistência à compressão não inferior a 2,5% da solicitação máxima atuando na barra principal contraventada e também atender a solicitação de uma carga vertical correspondente a 100 kgf no meio do vão da barra.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

No dimensionamento estrutural das barras e ligações que compõem a estrutura deverão ser considerados as seguintes verificações: a flambagem, a capacidade da seção líquida, cisalhamento dos parafusos e o esmagamento das peças que compõem a ligação na análise estrutural realizada.

## 5.1 Cargas nas Fundações

O Fornecedor deverá elaborar uma planilha contendo as reações (tração, compressão e esforços horizontais) atuando no topo das fundações e no piquete central (incluindo momentos), calculadas a partir das hipóteses de carregamento especificadas. As reações de apoio deverão ser apresentadas para os sistemas referenciais local e global.

Para cálculo das fundações, as reações obtidas deverão ser multiplicadas por um fator adicional igual a 1,1. O cálculo estrutural das cantoneiras de ancoragem e respectivas aletas deverá atender o especificado no item anterior.

## 5.2 Detalhamento

### 5.2.1 Espessura e Comprimento das Barras e Chapas

As barras das estruturas deverão ter espessura não inferior a 3 mm ou 1/8". As chapas de ligação deverão ter espessura igual ou superior à das barras que estão sendo conectadas, porém não inferior a 5 mm ou 3/16".

O perfil utilizado nas cantoneiras de ancoragem não poderá ser menor (largura da aba e espessura) do que o perfil do respectivo montante. A espessura das cantoneiras de ancoragem e respectivas aletas não poderá ser inferior a 5 mm ou 3/16".

O comprimento contínuo (sem emendas) de qualquer barra das estruturas deverá ser inferior ou, no máximo, igual a 9 (nove) metros.

### 5.2.2 Extensões de Corpo e Pernas

As extensões de corpo e pernas, para cada tipo de estrutura, deverão ser concebidas e detalhadas de tal forma que seja possível montar quaisquer alturas e combinações das pernas previstas, tanto na torre básica como nas extensões de corpo. A inclinação dos montantes deve ser definida e otimizada após uma análise crítica dos esforços ao longo dos componentes da estrutura.

As torres básicas utilizadas com e sem extensão de corpo deverão ser idênticas, tanto do ponto de vista estrutural como dimensional.

As extensões do mastro das estruturas estaiadas deverão ser detalhadas com conexões idênticas, de modo a poderem ser montadas em qualquer ordem, para obtenção das alturas

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

projetadas. As diferentes alturas das torres deverão ser obtidas variando a combinação de extensões na parte central do mastro.

### 5.2.3 Geometria da Base das Estruturas

As estruturas de ancoragem deverão ter base quadrada. As estruturas de suspensão autoportantes poderão ter base retangular desde que o lado menor da base não seja inferior a 60% do lado maior.

As inclinações dos estais para cada tipo de estrutura estaiada deverão ser idênticas para todas as alturas disponíveis.

### 5.2.4 Montantes Duplos

O emprego de cantoneiras duplas em "+" nos montantes deverá ser evitado, sendo admitido somente quando não for possível a utilização de cantoneiras simples de aço de alta resistência ou bitola superior.

### 5.2.5 Perfis Compostos

A esbeltez efetiva ( $kL/r$ ) dos perfis compostos deve atender os requisitos do item 5.0 e o indicado a seguir:

Barras comprimidas – a esbeltez efetiva de cada perfil isolado deve ser inferior a 75% da esbeltez efetiva do perfil composto.

Barras tracionadas – a esbeltez efetiva de cada perfil isolado deve ser inferior a 300 ou à esbeltez efetiva do perfil composto, o que for menor.

Perfis compostos formados por cantoneiras de abas com dimensão igual ou superior a 100 mm devem ser interligados utilizando, no mínimo, dois parafusos em cada ligação intermediária entre perfis.

### 5.2.6 Barras Solicitadas Somente à Tração

Barras solicitadas somente à tração deverão ter, no mínimo, 2 parafusos por ligação, de modo a facilitar a montagem.

### 5.2.7 Emendas de Montantes

As emendas de montantes de bitolas diferentes deverão ser feitas, preferencialmente, por superposição das cantoneiras. A aresta da cantoneira interna deverá ser esmerilhada para permitir um perfeito ajustamento entre as faces das cantoneiras.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

As emendas dos montantes deverão localizar-se tão perto quanto possível e logo acima dos pontos de ligação dos quadros horizontais, das diagonais ou da fundação.

A emenda com a fundação deverá ser feita imediatamente acima da ligação com a diagonal da perna.

As emendas dos montantes dos mastros das estruturas estaiadas deverão ser de topo com cantoneira cobre-junta. A cantoneira cobre-junta deverá ter aresta esmerilhada a fim de permitir boa justaposição com as cantoneiras em ligação.

### **5.2.8 Emendas de Diagonais nos Treliçamentos em "X"**

Deverão ser evitadas emendas nas diagonais dos treliçamentos em "X" trabalhando simultaneamente à compressão e à tração.

Quando inevitáveis, as emendas deverão ficar tão perto quanto possível do ponto de cruzamento, preferencialmente no menor vão.

Nos pontos de cruzamento não serão aceitas emendas através de chapas de ligação nem recortes nas abas das cantoneiras.

### **5.2.9 Ângulo Mínimo entre Duas Barras**

O ângulo entre duas barras concorrentes não deverá ser inferior a 13°.

### **5.2.10 Posição das Peças**

Todas as peças deverão ser posicionadas de modo a evitar acúmulo de água e impurezas. Quando isto não for possível, deverão ser previstos furos de drenagem.

### **5.2.11 Rigidez da Estrutura**

Deverão ser obrigatoriamente colocados diafragmas horizontais no nível da junção das pernas com a torre básica e com as extensões de corpo, da junção da torre básica com as extensões de corpo, da junção do tronco inferior com a parte superior (cintura) e no plano horizontal de junção da parte inferior das mísulas com o corpo da estrutura.

Os mastros das estruturas estaiadas deverão ter diafragmas internos em suas seções retas, nas junções entre suas extensões e entre cada extensão e cada parte comum.

A distância vertical entre dois diafragmas horizontais consecutivos deverá ser inferior a 20 metros.

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

Cabe ao Fornecedor verificar a necessidade de diafragmas de contraventamento em outros níveis das estruturas além dos indicados nos itens acima.

A quantidade e posicionamento desses diafragmas adicionais deverão ser definidos pelo Fornecedor de modo a garantir a estabilidade das estruturas durante o processo de montagem.

As pernas das estruturas autoportantes deverão ter contraventamentos internos interligando faces adjacentes.

### **5.2.12 Barras Sujeitas a Cargas de Montagem e Manutenção**

Barras horizontais ou que façam um ângulo menor do que 45° com a horizontal deverão resistir a uma carga de 100 kgf aplicada em seu ponto médio, independente de qualquer outra carga, sem deformação permanente.

Barras horizontais situadas próximo às fixações das cadeias de isoladores e dos conjuntos dos para-raios deverão suportar uma carga vertical de 400 kgf aplicada em seu ponto médio, independente de qualquer outra carga, sem deformação permanente.

### **5.2.13 Ligações**

Todas as ligações das barras que formam as estruturas deverão ser aparafusadas.

Preferencialmente, as diagonais devem ser aparafusadas diretamente nos montantes e entre si reduzindo o emprego de chapas de ligação ao mínimo possível.

As distâncias mínimas entre furos, nas peças, e dos furos às respectivas bordas deverão atender as recomendações da norma ASCE 10-97.

### **5.2.14 Excentricidades nas Ligações**

As ligações deverão ser projetadas de maneira a evitar excentricidades nas conexões.

Quando isso não for possível, as solicitações adicionais resultantes dessas excentricidades deverão ser levadas em consideração no cálculo das peças ligadas e dos parafusos da ligação.

### **5.2.15 Parafusos**

Os parafusos deverão ser equipados com arruela lisa, sistema de travamento da porca (arruela de pressão ou palnut) e porca e ser dimensionados de forma que os esforços de cisalhamento da ligação sejam transmitidos estritamente através da parte não roscada do corpo.

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

Os comprimentos total e de rosca devem permitir a instalação das arruelas, sistemas de travamento das porcas (arruela de pressão ou palnut) e porcas, sobrando após o aperto final um comprimento de parafuso de 3 a 12 mm, com 2 filetes de rosca de folga, no mínimo.

Os parafusos, porcas, sistemas de travamento das porcas (arruela de pressão ou palnut), arruelas e calços deverão ser fornecidos com excesso de 2% em relação às quantidades teoricamente necessárias, salvo o caso em que outro documento do contrato se indique uma porcentagem diferente.

#### **5.2.16 Parafusos-Degrau**

Os parafusos-degrau deverão ser instalados em um montante com espaçamento aproximadamente constante, entre 35 e 40 cm, desde 3 metros acima do solo até a altura de fixação dos condutores. Adicionalmente, deverão ser instalados parafusos-degrau até o topo dos suportes dos dois cabos para-raios.

Poderá ser dispensada a utilização de parafusos-degrau nos mastros das estruturas estaiadas caso o treliçamento permita a escalada das torres sem dificuldade.

#### **5.2.17 Base dos mastros**

A conexão dos mastros das estruturas estaiadas com suas fundações deverá ser rotulada, permitindo a rotação dos mesmos em todas as direções. A base convexa de apoio deverá garantir o alinhamento do pino engastado na fundação com o eixo longitudinal do mastro.

O treliçamento do trecho inferior dos mastros deverá ser projetado de modo a impedir o acesso da cabeça de animais de grande porte.

A base dos mastros deverá ser detalhada de forma a não permitir acúmulo de água em seu interior. Os espaços ou furos de drenagem para vazão da água deverão ser suficientemente grandes para evitar entupimentos.

#### **5.2.18 Furações Especiais**

Deverão ser previstos furos de  $\varnothing 14,3$  mm para aterramento dos cabos para-raios no topo das estruturas. Os furos deverão ficar nas duas faces da estrutura, próximos aos pontos de fixação dos cabos.

Deverão ser previstos furos de  $\varnothing 14,3$  mm junto às fundações para conexão dos quatro ramais do sistema de aterramento das estruturas, tanto acima como abaixo do nível do solo.

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

Deverão ser previstos furos auxiliares de montagem e manutenção nas mísulas e para-raios, constando informações dos valores de cargas máximas permitidas com seus respectivos ângulos de ação.

### 5.2.19 Ferragens de Fixação das Cadeias

Todas as estruturas de suspensão deverão ser projetadas com detalhes para fixação dos cabos para-raios em suspensão e ancoragem.

Todas as ferragens de fixação das cadeias que utilizem pinos aparafusados deverão utilizar arruelas lisas e ter as respectivas porcas travadas por contrapinos do tipo autotravante, perfil meia-cana, fabricados em aço inoxidável AISI 301, 302 ou 304, estirado a frio, conforme item 4.8 desta Especificações.

### 5.2.20 Documentação Técnica a ser Fornecida

Após a conclusão do cálculo e do detalhamento estrutural das estruturas metálicas, o Fabricante deverá fornecer a NEOENERGIA as memórias de cálculo, desenhos de detalhamento, listas de materiais, de parafusos e de acessórios, planos de inspeção e controle de qualidade (PICQ) e quaisquer outros documentos necessários para o projeto estrutural e montagem das torres metálicas.

Para cada tipo de estrutura deverá ser apresentada uma memória de cálculo de forma clara e ordenada, de modo a permitir a verificação de todo seu desenvolvimento. A memória deverá conter, no mínimo, as seguintes informações:

Desenhos da silhueta das estruturas com as dimensões principais, identificação das barras, combinações de extensões, esquema das fundações, balanço das cadeias, ângulo de blindagem, distâncias elétricas mínimas, ângulos dos estais com a vertical nos planos transversal, longitudinal e verdadeira grandeza, características da estrutura (vão de vento e de peso, deflexão, cabos utilizados), tipos de aço empregados, etc.;

Esquemas com as hipóteses de carregamento e respectivas cargas e cálculo detalhado dos carregamentos decorrentes da ação dos ventos de projeto atuando sobre as estruturas. Também deverá ser informado se foi utilizado algum coeficiente de majoração de carga adicional na análise estrutural das torres;

Fatores de minoração utilizados no cálculo da resistência limite dos componentes das estruturas conforme item 5.0 destas Especificações;

Dimensionamento de todas as barras e conexões, indicando, para cada barra, perfil e tipo de aço utilizado, cargas máximas de compressão e de tração atuando na barra e hipóteses de carregamento correspondentes, comprimento de flambagem, raio de giração, esbeltez

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

efetiva, áreas bruta e líquida, tensões admissível e atuante na barra, número e diâmetro dos parafusos da conexão e tensões de cisalhamento e esmagamento em tais conexões;

Dimensionamento dos estais, indicando as cargas máximas atuando nos cabos e hipóteses de carregamento correspondentes, resistências limite (ver item 5.0), bitola e formação dos cabos e respectivas cargas de ruptura (valores mínimos garantidos);

Cargas máximas atuando nas fundações, incluindo esforços de compressão, tração e cargas horizontais associadas para os eixos locais e globais, bem como as hipóteses de carregamento correspondentes; as cargas atuando nas fundações, incluindo momentos, devem ser também fornecidas referidas ao piquete central das estruturas considerando pernas niveladas.

Programa de cálculo estrutural utilizado para o cálculo e dimensionamento estrutural;

Quanto aos desenhos de detalhamento estrutural, deverão incluir todas as informações necessárias, a critério da Contratante, para demonstrar sua concordância com estas Especificações.

O primeiro desenho de cada estrutura deverá conter uma relação completa, com título e numeração, de todos os desenhos, listas de materiais, parafusos e acessórios e demais documentos técnicos aplicáveis à referida estrutura.

Cada desenho de montagem deverá mostrar um conjunto completo ou parte do mesmo e conter as vistas, cortes e seções que se fizerem necessários para permitir a montagem do conjunto no campo de forma inequívoca. Também deverá conter, localizada acima do carimbo, uma representação esquemática da estrutura, ressaltando em negrito o trecho da estrutura que está sendo detalhado em cada desenho.

Para todas as peças, os desenhos deverão indicar: número de identificação, tipo de material, dimensões, furação, conexões, dobras, emendas, recortes, etc. Os números de identificação das peças deverão crescer do topo para a base da estrutura.

Todas as conexões deverão indicar o número de parafusos, seu diâmetro e comprimento, calços e arruelas utilizados. O posicionamento dos parafusos-degrau deverá ser claramente indicado. Deverá ser informado nos desenhos o torque a ser aplicado nos parafusos (um valor para cada diâmetro).

Deverão ser preparadas listas de material, de parafusos e de acessórios para cada tipo de estrutura, indicando todo material utilizado, suas dimensões, marcação, quantidade por conjunto, peso unitário e peso total, incluindo zincagem.

Os desenhos deverão conter detalhes das fixações às estruturas das cadeias de suspensão e ancoragem dos condutores e para-raios e fazer referência aos acessórios utilizados nessas

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

conexões. Deverá ser preparado um desenho detalhado, em padrão A4, para cada acessório utilizado (parafusos-degrau, mancais, manilhas, cavalotes e etc.) indicando sua aplicação nas estruturas. Uma capa deverá ser preparada para todo o conjunto dos desenhos dos acessórios, conforme item 6.1.2, anterior, relacionando todos os acessórios que fazem parte da série de estruturas, com as aplicações respectivas.

Por ocasião da aprovação final dos desenhos, deverá ser fornecida tabela em padrão A4 indicando o peso final por componente (corpo básico, extensões de corpo, pernas, etc.) e, também, por altura nominal das estruturas.

Deverá ser fornecida uma tabulação completa de todas as dimensões da base das estruturas estaiadas e autoportantes, para cada combinação de altura, incluindo corpo básico, extensões de corpo e pernas.

A tabulação deverá incluir as seguintes dimensões considerando um plano horizontal para o solo:

Distância transversal da linha de centro longitudinal até a perna ou estai;

Distância longitudinal da linha de centro transversal até a perna ou estai;

Distância diagonal do centro da torre até a perna (apenas estruturas autoportantes);

Distância longitudinal da linha de centro transversal até o ponto de fixação dos estais nos mastros (apenas estruturas estaiadas).

Para as estruturas autoportantes, as distâncias acima mencionadas deverão ser fornecidas para dois pontos distintos: quina superior da cantoneira de ancoragem e furo de referência da conexão da cantoneira de ancoragem com a diagonal da perna.

Para as estruturas estaiadas, a tabulação deverá incluir os ângulos dos estais com a vertical nos planos transversal, longitudinal e verdadeira grandeza, bem como os comprimentos dos estais, considerando terreno nivelado, para todas as alturas.

Deverá ser fornecida instrução detalhada especificando as tolerâncias de montagem aplicáveis a todos os tipos de estruturas objeto do fornecimento.

Para as estruturas estaiadas, a instrução deverá incluir as trações aproximadas a serem aplicadas nos estais, para cada altura dos mastros.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

## 6 REQUISITOS PARA FABRICAÇÃO

### 6.1 Geral

A fabricação e o acabamento deverão obedecer a mais moderna prática para estruturas de transmissão, não obstante quaisquer omissões eventuais desta especificação.

Todas as partes e peças das estruturas deverão ter bom acabamento, adequado e preciso, livre de arestas, rebarbas ou dobras indevidas. Todos os furos, cortes e ligaduras deverão ter acabamento sem rebarbas, falhas, bordas ásperas ou dilaceradas.

Todo o material deverá ser limpo e devidamente alinhado para fabricação. Se qualquer retificação ou aplainamento for necessário, deverá ser feito através de processo e maneira que não danifique o acabamento do material ou sua resistência. Qualquer lote de material que não se enquadre nestas exigências e/ou se apresente com dobras acentuadas e de difícil correção, será rejeitado.

Os cortes dos perfis e chapas deverão ser executados cuidadosamente e todas as partes do trabalho deverão ter muito bom e adequado acabamento. Para as conexões de cantoneiras por superposição, a aresta da cantoneira interna deverá ser desbastada suficientemente para uma perfeita justaposição. Não deverão ser empregados maçaricos de corte guiados manualmente.

Quaisquer modelagens ou dobras das peças durante a fabricação deverão ser feitas por métodos que evitem a fragilização (“embrittlement”) ou perda de resistência do material, ou danos à galvanização. Para tanto, deverão ser atendidas as recomendações da norma ASTM A143.

### 6.2 Furos

Os furos para os parafusos deverão ter diâmetro de 1,6 mm (1/16”) maior que o diâmetro nominal do parafuso.

Todos os furos em peças com espessura igual ou inferior a 17,5 mm (11/6”) poderão ser puncionados em uma só operação. Furos em peças com espessura superior a 17,5 mm deverão ser broqueados ou sub puncionados e alargados até o diâmetro final.

Os puncionamentos deverão ser feitos com precisão. Os furos deverão ser marcados com precisão a fim de assegurar que os eixos dos parafusos estarão corretamente a 90° com os planos de conexão. Se for necessário o uso na obra de alargadores para corrigir o indevido alinhamento dos furos, todos os ônus adicionais decorrentes deste trabalho serão cobrados do Fabricante.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

Todos os furos deverão ser cilíndricos, normais ao plano da peça e feitos com ferramentas afiadas e de moda e evitar bordas ásperas ou rasgos. Rebarbas resultantes de furos a máquina deverão ser removidas com ferramenta e acabamento adequado.

Onde necessário, para evitar distorção, os furos próximos de linha de dobra deverão ser feitos depois da execução da dobra.

Todos os furos deverão ser espaçados com precisão, marcados corretamente sobre os eixos de furação nas peças e em obediência às indicações dos desenhos. A variação máxima permitida nos espaçamentos de furos com relação às indicadas nos desenhos, para todos os furos dos parafusos, deverá ser 0,8 mm (1/32”).

### 6.3 Soldas

As soldas deverão ser evitadas, só podendo ser utilizadas quando consideradas imprescindíveis e aprovadas pela Contratante.

As soldas deverão ser projetadas e executadas de acordo com a última edição do “StructuralWeldingCode”, da “American WeldingSociety”. Todas as soldas deverão ser indicadas nos desenhos e deverão ser feitas de acordo com as recomendações dos Fabricantes do aço no que se refere.

Não serão permitidas soldagens no campo.

### 6.4 Marcação

Para permitir a identificação da posição na torre e também o tipo de torre a que pertencem, todas as peças deverão receber, por estampagem a punção, antes da galvanização, marcações de letras e números para esse fim de conformidade com os mesmos números mostrados nos desenhos de detalhe e de montagem. Tais marcas terão altura mínima de 16 mm e deverão manter aproximadamente a mesma posição relativa em todas as peças ou grupo de peças, e não ficar cobertas pelas superposições nas conexões. Deverão, outrossim, ficar claramente visíveis após a galvanização. As barras de aço de alta resistência deverão receber também a letra “H” ou “G” junto ao número de identificação.

### 6.5 Galvanização

Todas as peças das estruturas deverão ser galvanizadas por imersão à quente, em conformidade com as Normas ASTM A123, A153 e A143.

Todos os parafusos, porcas, arruelas, sistemas de travamento das porcas (arruela de pressão ou palnut) e calços deverão ser galvanizados conforme a Norma ASTM A153. As porcas deverão ser repassadas depois de galvanizadas para se obter um fácil rosqueamento no parafuso.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

A galvanização somente deverá ser aplicada após as operações de corte, furação, dobramento, esmerilhamento, soldagem (quando aplicável), marcação e limpeza.

Todo material rejeitado devido a manchas ou falhas, espessura inadequada de revestimento ou de outros defeitos de galvanização deverá ser decapado e novamente galvanizado ou então será aplicado novo revestimento nas áreas com defeito, utilizando-se método aprovado pelo Inspetor.

A espessura (peso) da camada de zinco deverá atender o especificado nas normas ASTM A123 e A153.

A espessura mínima (peso) da camada de zinco onde houver a necessidade de sobregalvanização, deverá ser de 20% acima do especificado na tabela da norma NBR 6323 devido as estruturas estarem próximas à costa litorânea. Com esta espessura (SOBREGALVANIZADAS), garante-se uma melhor proteção, sem comprometer sua aderência.

## **7 INSPEÇÃO E ENSAIOS**

### **7.1 Geral**

Todos os ensaios deverão ser realizados de acordo com o Plano de Inspeção e Ensaios apresentado pelo Fabricante e aprovado pela NEOENERGIA.

Este plano deverá conter, como um mínimo, todos os ensaios relacionados a seguir.

Será de responsabilidade e ônus do Fabricante realizar todos os ensaios descritos nesta especificação e submeter à aprovação de NEOENERGIA os respectivos relatórios de ensaio.

O Fabricante deverá apresentar ao Inspetor todas as especificações técnicas utilizadas para compra das matérias-primas e componentes adquiridos de subfornecedores, bem como os relatórios de ensaios de recebimento.

### **7.2 Ensaios de Tipo**

#### **7.2.1 Ensaios de Carga**

- a) Será necessário a execução de ensaios de carga em protótipos das estruturas estaiadas consideradas predominantes ao longo da LT. As torres a serem ensaiadas deverão ser fabricadas com o mesmo material com que foram projetadas, não havendo necessidade de galvanização, e sua fabricação deverá estar de acordo com o previsto nesta especificação. A seu critério, a NEOENERGIA poderá dispensar de ensaio das torres autoportantes da série desde que o fabricante apresente relatório de ensaios de cargas

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
<b>LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1</b>	Rev. 01 Folha 2 de 33

realizados na torre proposta ou que a torre atenda no seu cálculo estrutural o fator de minoração da resistência ( $\phi_R$ ).

- b) A fabricação de qualquer tipo de torre que não tenha sido aprovada no ensaio, somente será autorizada após a realização de novo projeto aprovado pela NEOENERGIA e novo ensaio no qual a torre tenha apresentado bom desempenho. A fabricação de qualquer parte da torre fora destas condições será de total responsabilidade do Fabricante. A NEOENERGIA não se responsabilizará por quaisquer perdas de material que porventura ocorram em decorrência da não observância pelo Fabricante do que ficou estabelecido.
- c) O Fabricante deverá submeter à aprovação da NEOENERGIA o esquema para aplicação das cargas de ensaios. Para as torres estaiadas, a carga de vento sobre o mastro deverá ser distribuída de modo a produzir momentos e deflexões equivalentes às calculadas.
- d) Após o ensaio, a torre será considerada aprovada se nenhuma peça ou parafuso apresentar deformação permanente. Os componentes estruturais da estrutura ensaiados e aprovados não deverão ser reutilizados na construção da LT em tela.
- e) Após a conclusão dos ensaios, o Fabricante deverá fornecer a NEOENERGIA relatório dos ensaios. Tais relatórios deverão conter, no mínimo, as seguintes informações:
  - Arranjo geral dos ensaios;
  - Cargas aplicadas nos ensaios;
  - Deflexões da torre sob cada estágio de carregamento;
  - Fotografias da torre carregada com carga máxima e das peças que apresentarem falhas, se for o caso;
  - Relatórios dos ensaios de laboratório de todos os corpos de prova obtidas após a sequência de ensaio;
  - Relatórios certificados de calibração de todos os tipos de medidores de carga.

## 7.2.2 Pré-montagem

- a) Antes da fabricação, cada torre com a combinação de todas as extensões, pernas e stubs encomendados deverá ser pré-montada na presença do Inspetor, de forma a assegurar uma perfeita montagem de todas as partes. O alargamento de furos não será permitido. O uso de chaves de espinas será tolerado até um limite razoável. Se a pré-montagem demonstrar qualquer peça defeituosa, esta deverá ser corrigida e novamente pré-montada.
- b) Todos os acessórios utilizados para fixação das cadeias de suspensão e ancoragem dos condutores e cabos para-raios (mancais, manilhas e cavalotes) deverão ser montados nas respectivas conexões para verificação de sua funcionalidade.
- c) Para cada componente da estrutura, as quantidades de parafusos, porcas, arruelas e calços deverão ser contadas na presença do Inspetor e a seguir confrontadas com as quantidades indicadas pelo Fabricante nas listas de parafusos e acessórios liberadas para fabricação.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

- d) O Fabricante deverá enviar a NEOENERGIA, logo após a pré-montagem de cada estrutura, um relatório discriminando todas as alterações ocorridas durante a pré-montagem e apresentando o resultado da verificação efetuada na lista de parafusos e acessórios.
- e) Todas as peças aprovadas na pré-montagem deverão ser utilizadas como padrão para a fabricação das peças similares.

### **7.3 Ensaio de Rotina**

#### **7.3.1 Componentes da Estrutura**

- a) Cada tipo de aço utilizado na fabricação de peças deverá ser submetido a ensaios de qualidade. Corpos de prova de perfis, chapas e barras deverão ser submetidos a ensaios de tração e dobramento para verificar sua conformidade com as normas aplicáveis.
- b) Todos os perfilados, chapas e barras deverão ser verificados dimensionalmente para a comprovação com os requisitos da Norma ASTM A6.
- c) Durante a fabricação, cada peça da torre deverá ser visualmente inspecionada e comparada com peças padrão após punção e dobramento (quanto aplicável) e após galvanização.
- d) O zinco utilizado para a galvanização deverá ser submetido a análise química, de forma a verificar sua conformidade com a Norma ASTM B6.
- e) Após a galvanização, as peças das torres deverão ser visualmente inspecionadas para estabelecer a conformidade de sua camada de zinco com os requisitos das Normas ASTM A123 e A153.

#### **7.3.2 Ferragens para as Torres**

As ferragens deverão ser submetidas aos controles indicados no Plano de Inspeção e Ensaio apresentado pelo Fabricante.

### **7.4 Ensaio de Recebimento**

#### **7.4.1 Galvanização**

- a) Deverão ser retiradas amostras de todos os componentes das estruturas de forma a verificar a conformidade da galvanização com os requisitos das Normas ASTM A123 ou A153, onde aplicável, no que se refere a:

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

- Peso da camada;
  - Acabamento e aderência da camada.
- b) Além dos ensaios citados acima, amostras deverão ser submetidas a uma verificação da uniformidade da camada pelo teste de “Preece”, de acordo com a Norma ASTM A239. As amostras deverão resistir, sem apresentar depósito de cobre metálico, ao número de imersões de um minuto discriminado abaixo:
- Cantoneiras, chapas e outros perfis, arruelas e calços, parte não roscada de parafusos e porcas: seis imersões;
  - Parte roscada dos parafusos e porcas: quatro imersões.
- c) Para cada ensaio de galvanização, serão selecionadas três amostras de cada lote. Se uma ou mais amostras der resultado insatisfatório, serão selecionadas e ensaiadas mais seis amostras. Em caso de falha de qualquer uma das amostras suplementares, o lote será rejeitado.

#### 7.4.2 Ensaios Mecânicos para Parafusos e Porcas

- a) Deverão ser retiradas amostras de todos os parafusos e porcas, as quais serão submetidas aos seguintes ensaios, de acordo com as Normas ASTM A394 e A563, quando aplicáveis:
- Tração do parafuso (com cunha);
  - Tração da porca;
  - Cisalhamento;
  - Dureza.
- b) Caso os parafusos sejam originados de sub-fornecedores, deverão ser feitas amostragens distintas para cada sub-fornecedor.
- c) Para cada um dos ensaios acima, será utilizada a inspeção por atributos, conforme especificado na Norma NBR - 5426. Deverá ser adotado nível de qualidade aceitável (NQA) de 1,5, plano de amostragem simples, nível de inspeção S4, regime de inspeção normal. O nível e o regime de inspeção poderão ser alterados pelo Inspetor, de modo a tornar a inspeção mais severa, nos casos previstos na NBR - 5426.

#### 7.4.3 Ensaios Mecânicos para as Ferragens

- a) As ferragens, de responsabilidade do Fabricante, para ligação das cadeias de isoladores e dos cabos para-raios às estruturas, deverão ser submetidas a ensaios de ruptura para verificar sua conformidade com a carga garantida pelo Fabricante.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

- b) Os ensaios deverão ser executados após a zincagem, com as cargas aplicadas na peça na mesma situação que ocorrerá na operação da linha.
- c) Todas as amostras deverão ser inicialmente submetidas a uma carga igual a 60% da carga nominal de ruptura, por um minuto.
- d) Após a aplicação das cargas indicadas nos itens acima, todas as amostras deverão ser inspecionadas, não devendo mostrar deformação evidente, dano à zincagem ou falha incipiente.
- e) Após as amostras terem sido aprovadas no ensaio acima, a carga aplicada será aumentada até a ocorrência de falha. O valor no qual ocorre a falha deverá ser registrado. Para fins destes ensaios, a resistência da peça é definida como a carga na qual a ruptura ou deformação inutilizaria a peça.
- f) Após o carregamento acima, as amostras serão inspecionadas visualmente, a fim de detectar defeitos não visíveis antes do ensaio.
- g) Para os ensaios descritos acima, será aplicada inspeção por atributos, de acordo com os requisitos da Norma NBR - 5426, plano de amostragens simples, regime de inspeção normal, nível S-2 com nível de qualidade aceitável (NQA) igual a 1,5.
- h) A amostra terá falhado no ensaio e o lote representado pela mesma será rejeitado, quando:
  - Qualquer peça deixar de atender aos requisitos do Item 7.4.3.d;
  - Qualquer peça apresentar defeito de fabricação após a ruptura;
  - Qualquer peça falhar a um valor inferior à sua carga de ruptura nominal.

#### 7.4.4 Verificação Dimensional e de Acabamento

- a) Para cada lote, 10% (dez por cento) ou um mínimo de 5 (cinco) peças, o que resultar na maior quantidade, será selecionado pelo Inspetor para verificação dimensional e de acabamento, a fim de constatar-se a concordância com esta especificação. Se qualquer amostra for reprovada, o lote inteiro será recusado.
- b) O lote recusado nos termos do Item 7.4.4.a poderá ser novamente apresentado para inspeção, após ter sido examinado e corrigidas pelo Fabricante, as falhas que ocasionarem a rejeição. O critério de amostragem será o mesmo e, se pelo menos uma amostra for reprovada, o lote inteiro será definitivamente recusado.
- c) Todos os tipos de parafusos, porcas e pinos serão inspecionados da mesma forma acima, com relação ao livre movimento da porca e a excessivos depósitos de zinco na rosca.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

Caso haja alguma amostra rejeitada, o lote inteiro será recusado, nos mesmos moldes descritos acima.

## 8 EMBALAGEM E EMBARQUE

Todas as peças das estruturas deverão ser transportadas desmontadas, a menos que indicado ao contrário nos desenhos.

Antes de carregar os amarrados nos veículos onde serão transportados, o Fabricante deverá certificar-se de que os veículos estão suficientemente limpos e livres de qualquer material que possa causar dano de qualquer forma às peças e conjuntos. Deverá ser mantido um espaçamento mínimo de 10 cm (dez centímetros) entre os amarrados e a base da carroceria do veículo transportador. Qualquer dano ao material causado por insuficiência de proteção será de responsabilidade do Fabricante.

Em cada embalagem, externamente, deverão ser escritas com tinta resistente ao tempo e ao manuseio, as seguintes indicações:

- a) Nome do fabricante;
- b) Nome da transmissora;
- c) Locais de instalação;
- d) Material: tipo e denominação;
- e) Quantidade;
- f) Pesos: bruto, líquido e tara (em kgf);
- g) Dimensões: (da embalagem);
- h) Indicações adicionais (se solicitadas);
- i) Número da nota fiscal.

Os stubs das fundações deverão ser embarcados separadamente e antes do restante do material das torres. Peças que componham fundações completas deverão ser remetidas no mesmo embarque.

Parafusos originados de sub-fornecedores diferentes deverão ser embalados separadamente. Não deverão ser misturados na mesma embalagem parafusos de dimensões diferentes.

O Fabricante deverá pesar todos os materiais acabados e enviar a NEOENERGIA uma lista completa dos pesos líquidos, excluindo as embalagens.

O Fabricante deverá apresentar a NEOENERGIA os certificados de calibração das balanças utilizados para pesagem do material.

A determinação dos pesos finais será como estabelecido acima. Os pesos deverão estar de acordo com o estabelecido no Contrato.

Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas	Número documento
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33

## **9 INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS PELO FABRICANTE**

### **9.1 Requisitos Gerais**

Dentro de 10 (dez) dias após a assinatura do Contrato, o Fabricante deverá entregar, para aprovação da NEOENERGIA, o cronograma de fabricação e ensaios.

Com base neste cronograma, deverão ser apresentados programas e relatórios de ensaios e quaisquer desenhos e informações que se tornem necessários para os serviços de fabricação e montagem das torres.

### **9.2 Manual de Garantia da Qualidade**

Este manual deverá indicar o detalhamento de todos os procedimentos necessários para permitir as auditorias de qualidade dos materiais, processos de fabricação, ensaios, etc.

### **9.3 Plano de Inspeção e Ensaios**

Este plano deverá relacionar todos os ensaios de tipo, de rotina e de recebimento a serem realizados, os valores limite a serem observados, as normas pertinentes, os planos de amostragem e os critérios de aceitação e rejeição.

<b>Especificação para Fornecimento de Estruturas Metálicas</b>	<b>Número documento</b>
LT 525 kV Povo Novo - Guaíba 3 C3 e LT 525 kV Capivari do Sul - Siderópolis 2 C1	Rev. 01 Folha 2 de 33