



**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Escola de Engenharia**



**Especialização em Estruturas**

# **TRABALHO FINAL**

## **VERIFICAÇÃO DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS E SOLDADAS**

**Professor: Armando Cesar Campos Lavall**

**Aluno: Charles Albert Carneiro**

## ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO .....	3
2 – OBJETIVO .....	3
3 – PROGRAMAS UTILIZADOS .....	3
4 – DESENVOLVIMENTO .....	3
5 – CONCLUSÃO .....	4
6 – BIBLIOGRAFIAS ADOTADAS .....	4
7 – ANEXO .....	5
7.1 – PLANTA E CORTE DO GALPÃO .....	6
7.2 – AÇÕES ATUANTES E DIAGRAMAS .....	10
7.3 – PROPRIEDADES DOS PERFIS .....	19
7.4 – MEMÓRIA DE CÁLCULO E DETALHES DAS LIGAÇÕES...	25

## **1 - INTRODUÇÃO**

Neste trabalho serão abordadas as ligações entre barras de aço submetidas a ações estáticas.

As ligações são compostas por elementos de ligação, como chapas e cantoneiras, e meios de ligação, como soldas e parafusos.

Os elementos e meios de ligação devem ser dimensionados aos estados-limites últimos, de modo que possuam esforços resistentes de cálculo iguais ou superiores aos esforços solicitantes de cálculo.

A solda normalmente proporciona melhor continuidade entre as peças que os parafusos, no entanto, exige mão de obra mais especializada. Aspectos econômicos aliados a facilidades práticas geralmente levam a uma utilização maior da solda nas operações de fábrica e do parafuso no canteiro de obras.

## **2 - OBJETIVO**

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver o cálculo e detalhamento das ligações (parafusadas e/ou soldadas) da estrutura metálica apresentada.

## **3 - PROGRAMAS UTILIZADOS**

AUTO CAD

EXCEL

WORD

## **4 - DESENVOLVIMENTO**

Os detalhes das ligações foram executados utilizando o programa Auto-Cad. Já os cálculos das ligações foram feitos de forma manual conforme cálculos em anexo.

## **5 - CONCLUSÃO**

As ligações e perfis adotados para o galpão apresentado passaram nas análises realizadas. Salvo o perfil adotado para o pilar que terá de ser substituído por um outro perfil que possua espessura de mesa maior.

## **6 - BIBLIOGRAFIAS ADOTADAS**

- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – Dimensionamento Básico de Elementos de Estruturas de Aço do Professor: Ricardo Hallal Fakury
- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – Dimensionamento Básico de Elementos de Estruturas de Aço e Mistos de Aço e Concreto dos Professores: Ricardo Hallal Fakury, Rodrigo Barreto Caldas e Ana Lydiá R. de Castro e Silva

## **7 - ANEXO**

Planta, corte, diagramas, propriedades dos perfis, detalhes das ligações e memórias de cálculo. Ver páginas seguintes.

## **7 - ANEXO**

## 7.1 – PLANTA E CORTE DO GALPÃO



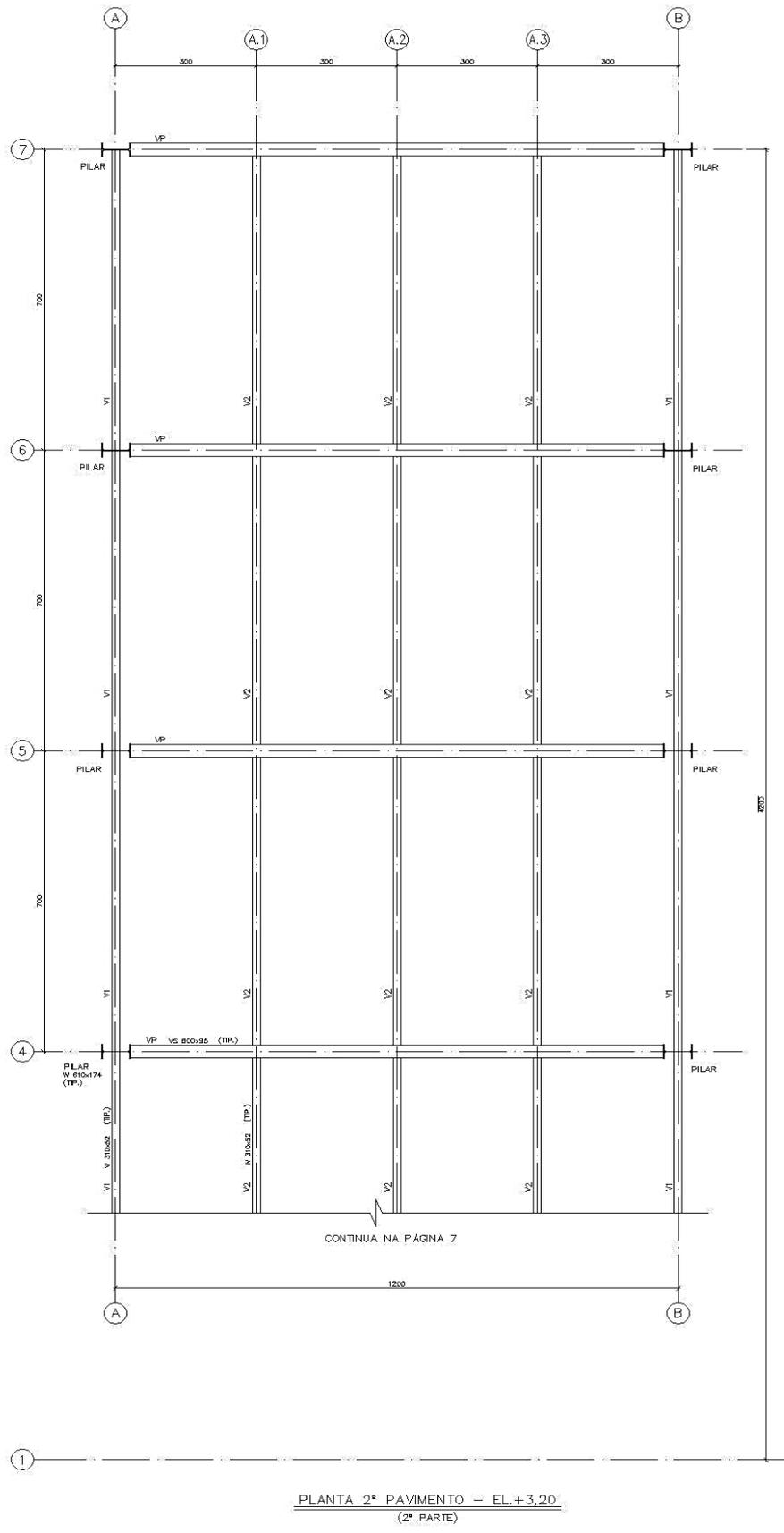


FIGURA - 7.2

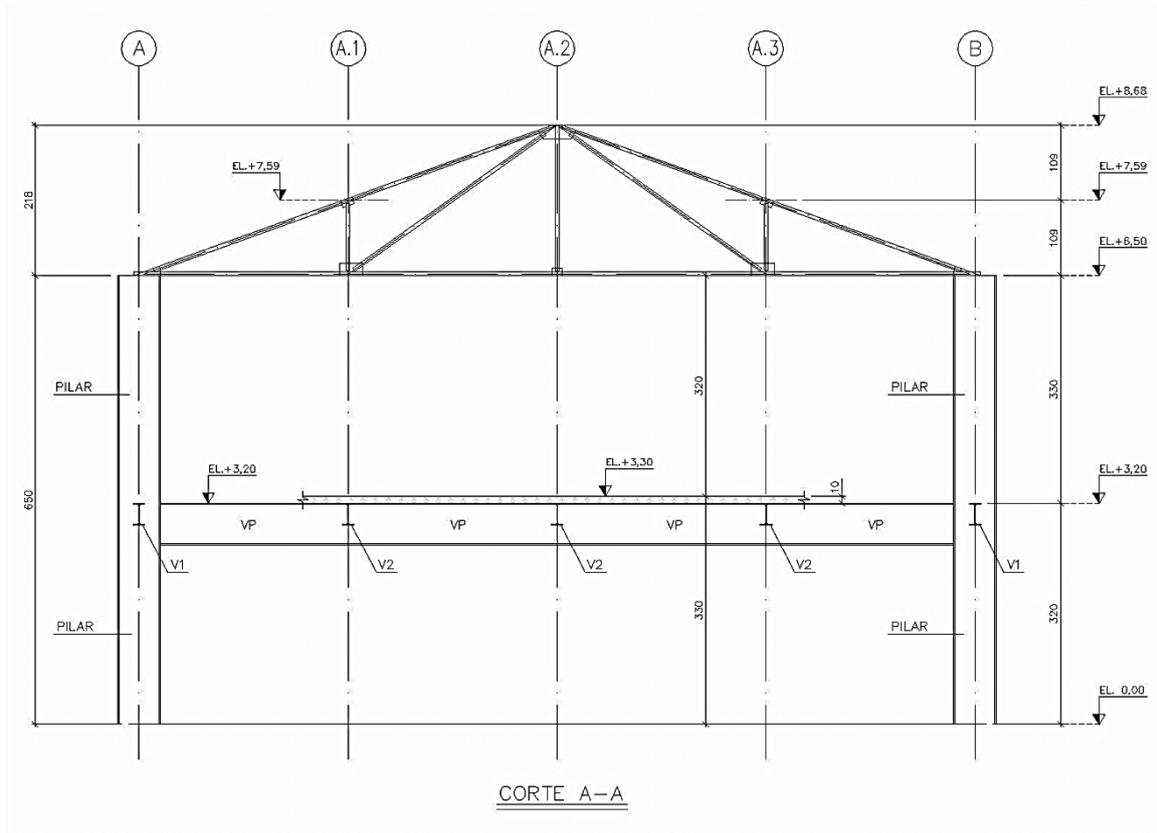


FIGURA 7.3

## 7.2 – AÇÕES ATUANTES E DIAGRAMAS

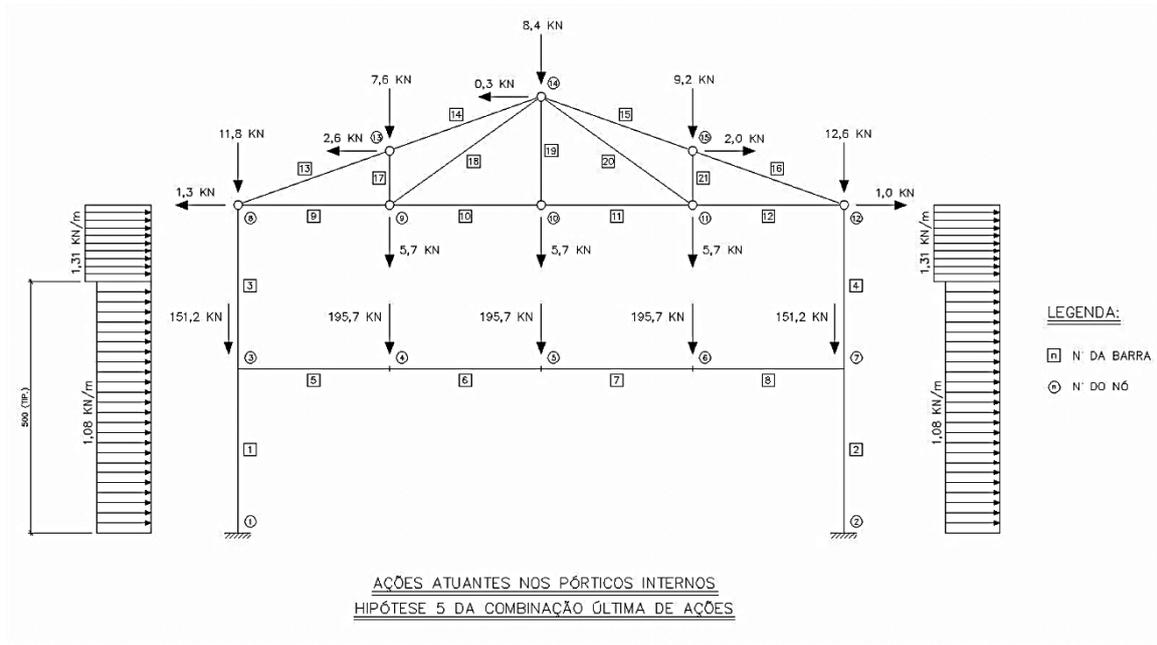


FIGURA – 7.4

BARRA	ELEMENTO	Nsd		Vsd		Msd	
		(KN)	LOCAL ANALISADO	(KN)	LOCAL ANALISADO	(KN.m)	LOCAL ANALISADO
1	PILAR ESQ. (andar 1)	-474,86	BARRATODA	-123,90	NÓ 3	-267,35	NÓ 3
2	PILAR DIR. (andar 1)	-481,14	BARRATODA	138,40	NÓ 2	-283,25	NÓ 7
3	PILAR ESQ. (andar 2)	-32,60	BARRATODA	-60,80	NÓ 8	193,73	NÓ 3
4	PILAR DIR. (andar 2)	-34,00	BARRATODA	65,80	NÓ 7	207,36	NÓ 7
5	VIGAPÓRTICO	-67,14	BARRATODA	291,00	BARRA TODA	-461,15	NÓ 3
6		-67,14	BARRATODA	95,30	BARRA TODA	698,60	NÓ 5
7		-67,14	BARRATODA	-100,40	BARRA TODA	698,60	NÓ 5
8		-67,14	BARRATODA	-296,10	BARRA TODA	-490,54	NÓ 7
9	CORDAS INFERIORES	-2,21	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
10		-19,21	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
11		-19,21	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
12		0,19	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
13	CORDAS SUPERIORES	-60,90	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
14		-58,20	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
15		-60,50	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
16		-62,60	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
17	MONTANTE	-6,70	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
18	DIAGONAL	21,00	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
19	MONTANTE	5,70	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
20	DIAGONAL	24,00	BARRATODA	0,00	-	0,00	-
21	MONTANTE	-8,50	BARRATODA	0,00	-	0,00	-

FIGURA – 7.5

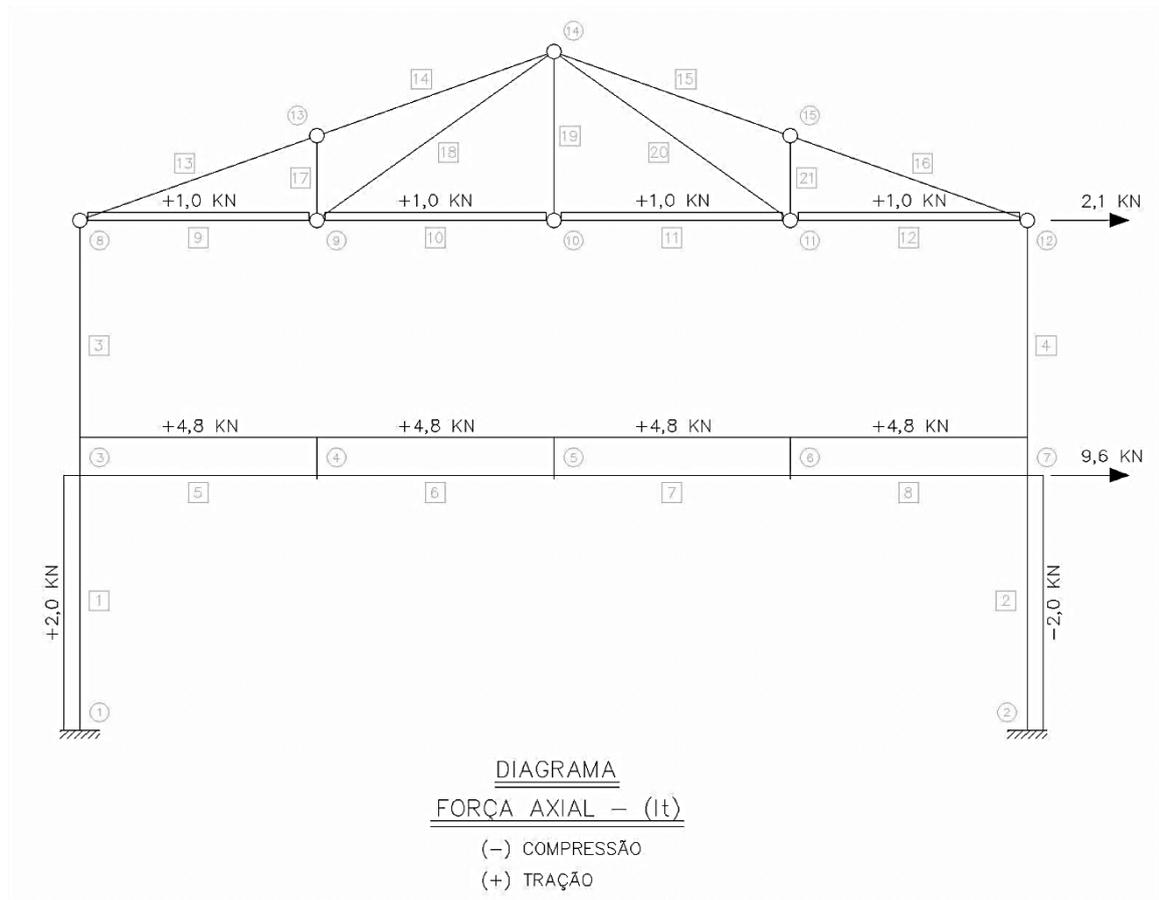


FIGURA – 7.6

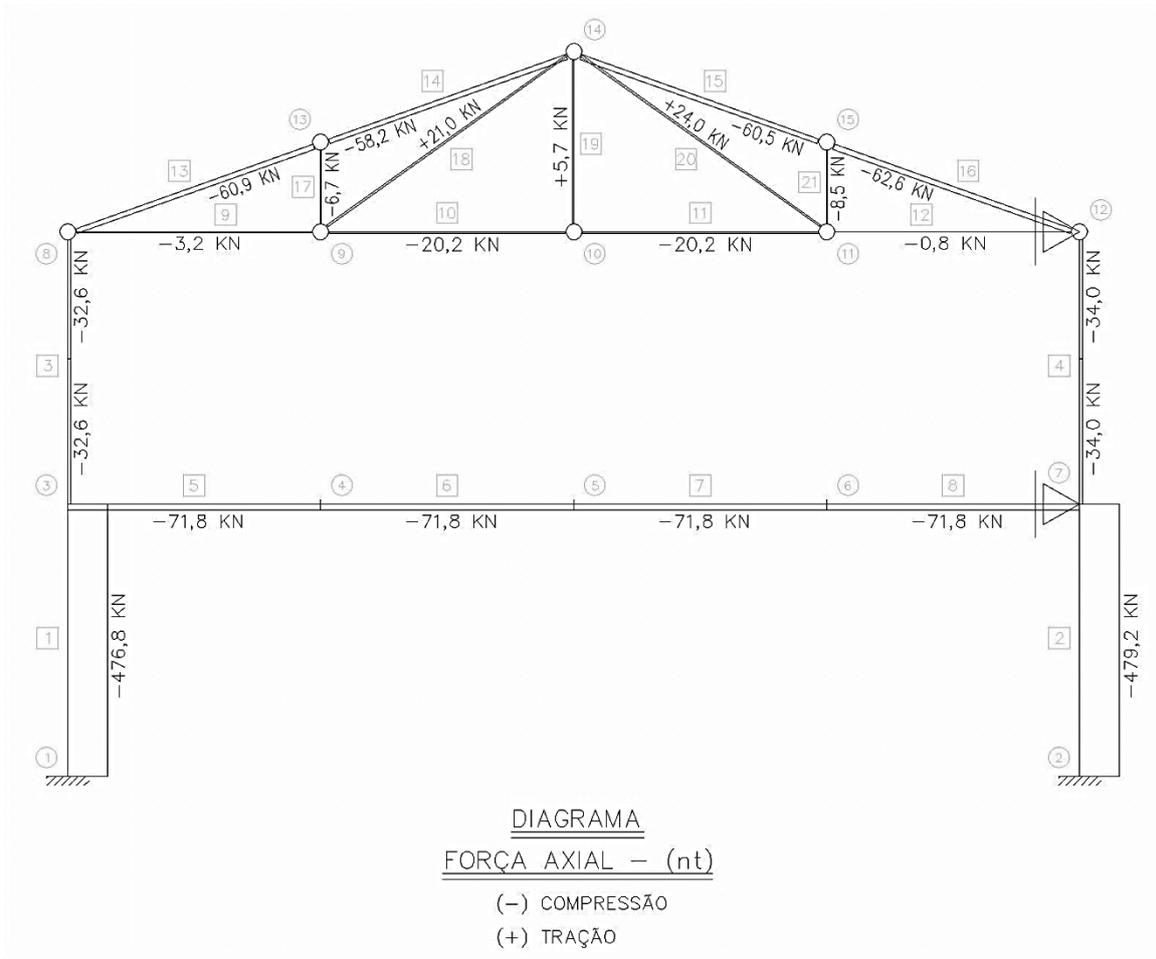


FIGURA - 7.7

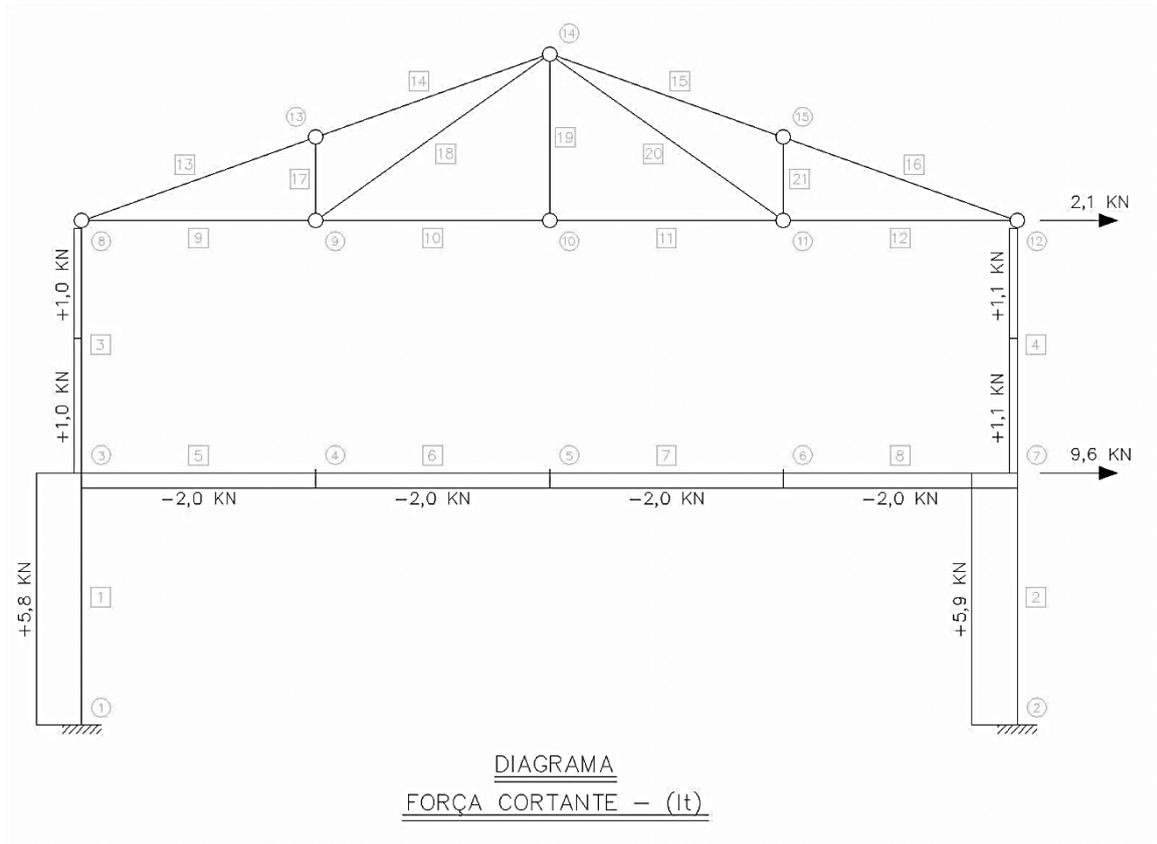


FIGURA - 7.8

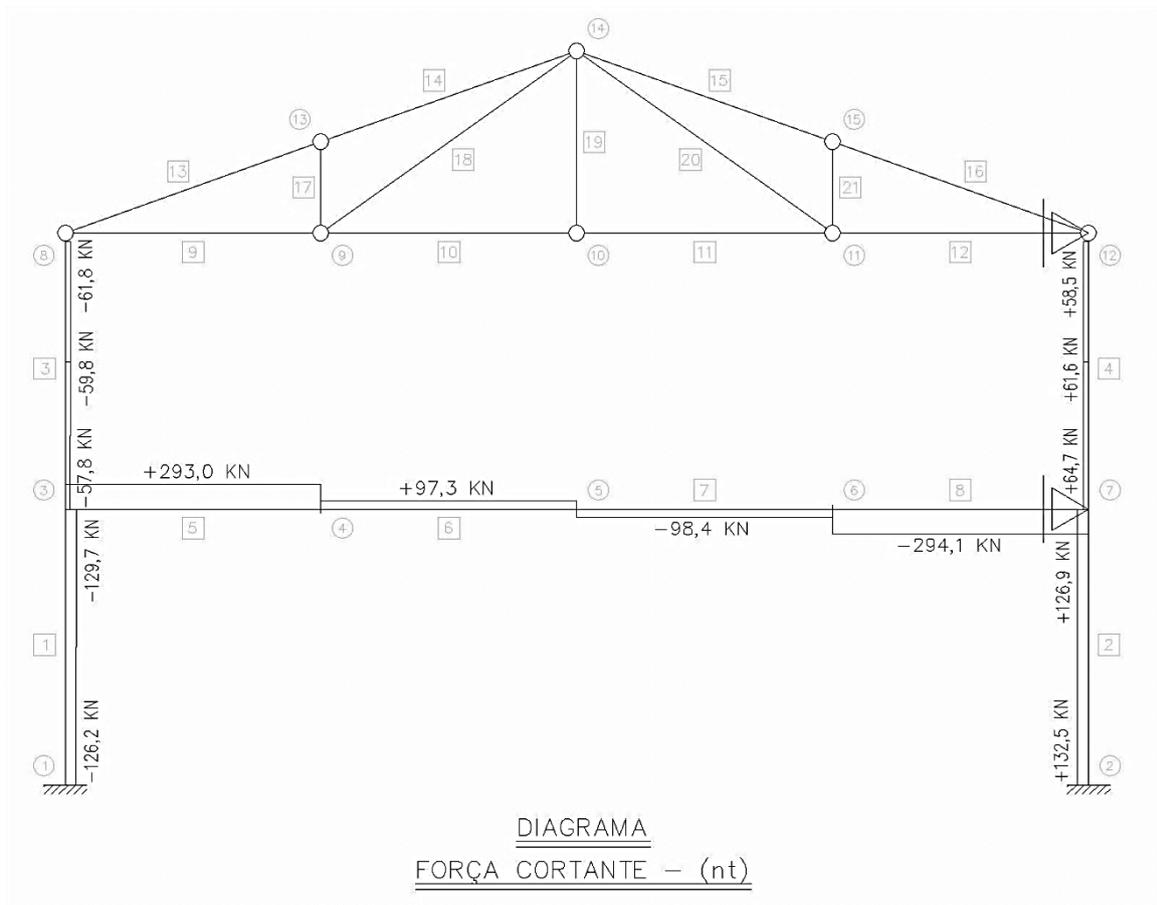


FIGURA – 7.9

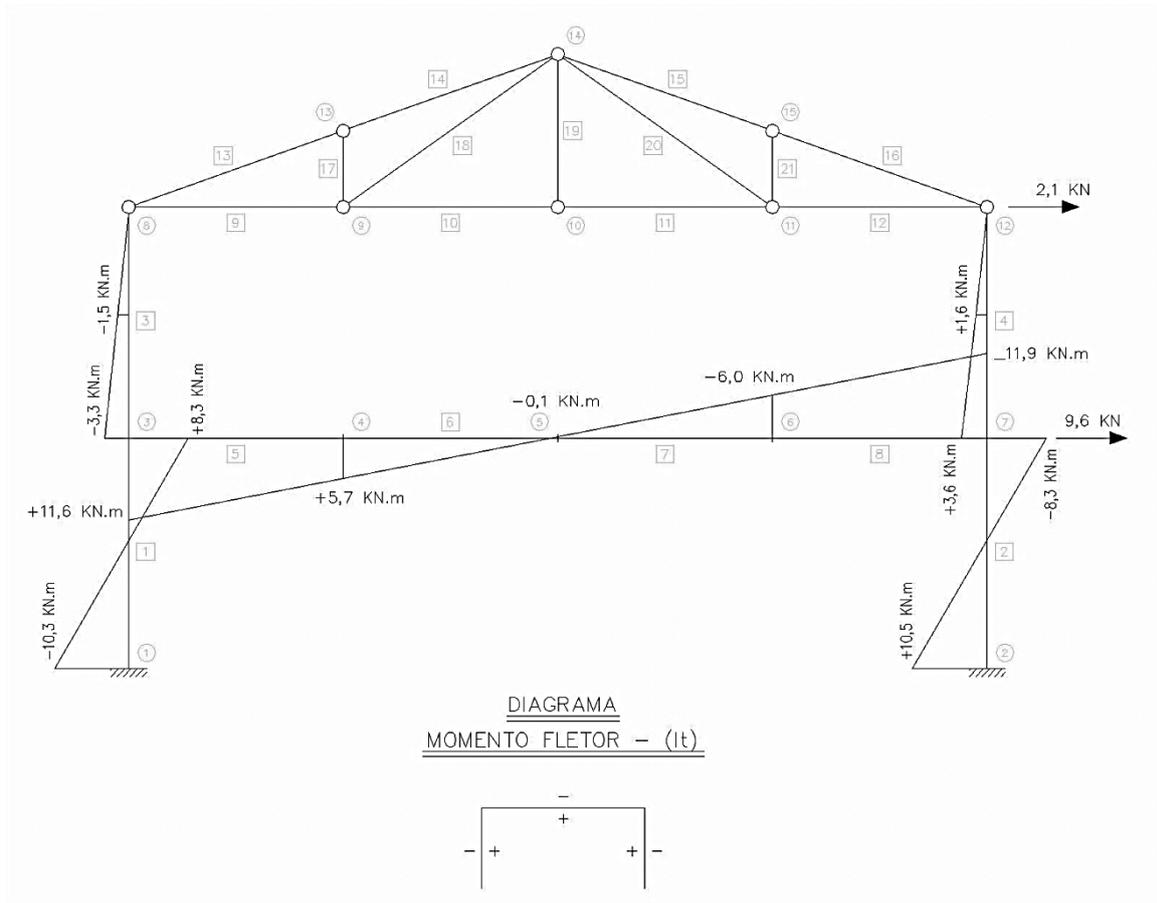


FIGURA – 7.10

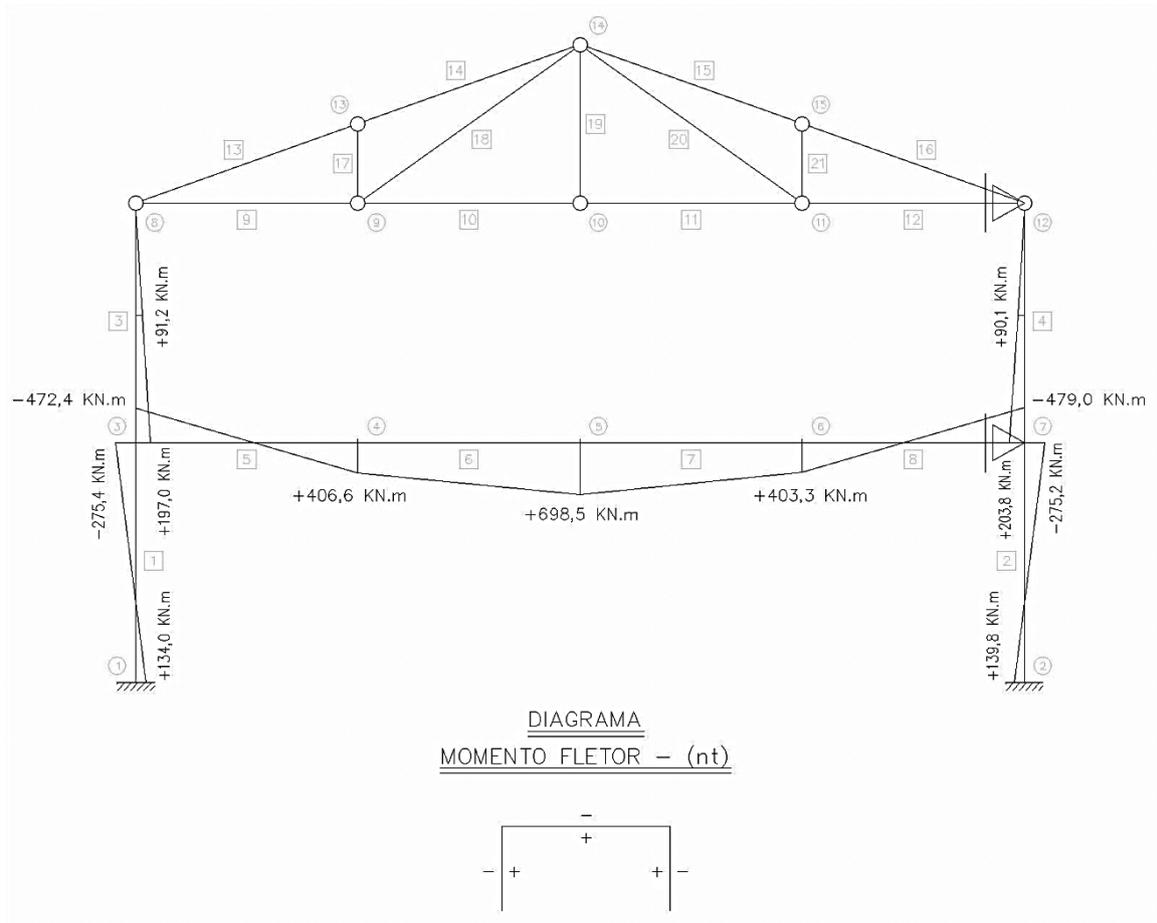
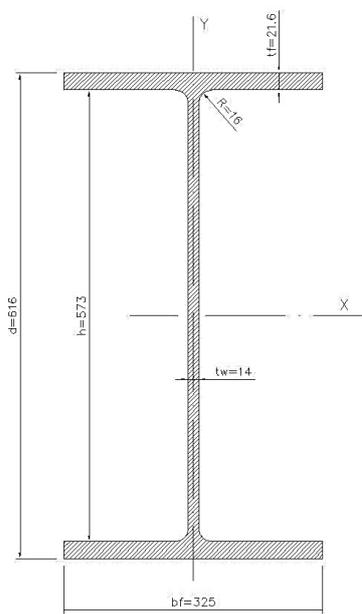


FIGURA - 7.11

## 7.3 – PROPRIEDADES DOS PERFIS

PILARES (barras 1 a 4)

PERFIL H – GERDAU AÇOMINAS – ASTM A572 (GRAU 50) – W 610x174



medidas em milímetros

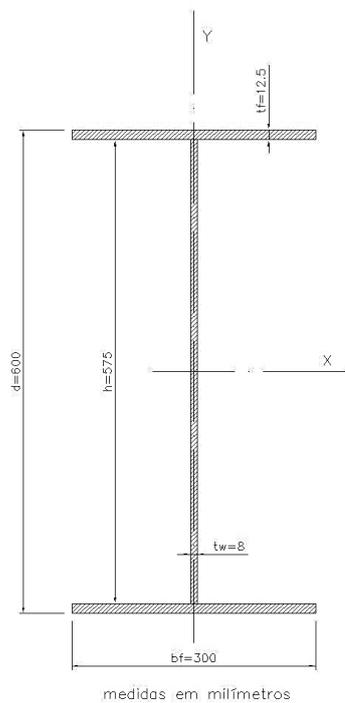
LEGENDA	
Ag	= área bruta
J	= constante de torção
Cw	= constante de empenamento
Ix	= momento de inércia em relação ao eixo X
Wx	= módulo de resistência elástico em relação ao eixo X
rx	= raio de giração em relação ao eixo X
Zx	= módulo de resistência plástico em relação ao eixo X
Iy	= momento de inércia em relação ao eixo Y
Wy	= módulo de resistência elástico em relação ao eixo Y
ry	= raio de giração em relação ao eixo Y
Zy	= módulo de resistência plástico em relação ao eixo Y
d	= altura total
R	= raio de concordância entre a mesa e a alma
h	= altura interna da alma
bf	= largura da mesa
tf	= espessura da mesa
tw	= espessura da alma

PROPRIEDADES											
Ag (cm <sup>2</sup> )	J (cm <sup>4</sup> )	Cw (cm <sup>6</sup> )	Eixo X				Eixo Y				Massa (Kg/m)
			Ix (cm <sup>4</sup> )	Wx (cm <sup>3</sup> )	rx (cm)	Zx (cm <sup>3</sup> )	Iy (cm <sup>4</sup> )	Wy (cm <sup>3</sup> )	ry (cm)	Zy (cm <sup>3</sup> )	
222,8	286,88	10.915,665	147.754	4.797,2	25,75	5.383,3	12.374	761,5	7,45	1.171,1	174,0

FIGURA – 7.12

VIGAS DOS PÓRTICOS (barras 5 a 8)

PERFIL SOLDADO SÉRIE VS – USIMINAS – USI CIVIL 300 – VS 600x95



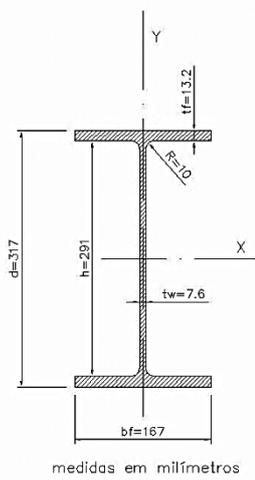
LEGENDA	
$A_g$	= área bruta
$J$	= constante de torção
$C_w$	= constante de empenamento
$I_x$	= momento de inércia em relação ao eixo X
$W_x$	= módulo de resistência elástico em relação ao eixo X
$r_x$	= raio de giração em relação ao eixo X
$Z_x$	= módulo de resistência plástica em relação ao eixo X
$I_y$	= momento de inércia em relação ao eixo Y
$W_y$	= módulo de resistência elástico em relação ao eixo Y
$r_y$	= raio de giração em relação ao eixo Y
$Z_y$	= módulo de resistência plástica em relação ao eixo Y
$d$	= altura total
$h$	= altura interna da alma
$b_f$	= largura da mesa
$t_f$	= espessura da mesa
$t_w$	= espessura da alma

PROPRIEDADES											
$A_g$ ( $cm^2$ )	$J$ ( $cm^4$ )	$C_w$ ( $cm^6$ )	Eixo X				Eixo Y				Massa (Kg/m)
			$I_x$ ( $cm^4$ )	$W_x$ ( $cm^3$ )	$r_x$ (cm)	$Z_x$ ( $cm^3$ )	$I_y$ ( $cm^4$ )	$W_y$ ( $cm^3$ )	$r_y$ (cm)	$Z_y$ ( $cm^3$ )	
121,0	49,1	4.853.760	77.401	2.580	25,29	2.864	5.627	375,0	6,82	572,0	95,0

FIGURA – 7.13

VIGAS V1 e V2

PERFIL I – GERDAU AÇOMINAS – ASTM A572 (GRAU 50) – W 310x52

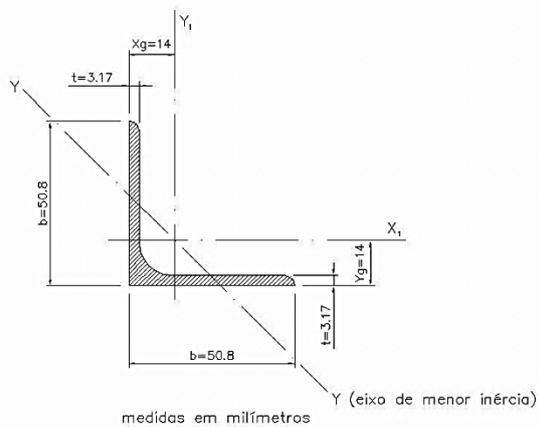


LEGENDA	
$A_g$	= área bruta
$J$	= constante de torção
$C_w$	= constante de empenamento
$I_x$	= momento de inércia em relação ao eixo X
$W_x$	= módulo de resistência elástico em relação ao eixo X
$r_x$	= raio de giração em relação ao eixo X
$Z_x$	= módulo de resistência plástica em relação ao eixo X
$I_y$	= momento de inércia em relação ao eixo Y
$W_y$	= módulo de resistência elástico em relação ao eixo Y
$r_y$	= raio de giração em relação ao eixo Y
$Z_y$	= módulo de resistência plástica em relação ao eixo Y
$d$	= altura total
$R$	= raio de concordância entre a mesa e a alma
$h$	= altura interna da alma
$b_f$	= largura da mesa
$t_f$	= espessura da mesa
$t_w$	= espessura da alma

PROPRIEDADES											
$A_g$ ( $cm^2$ )	$J$ ( $cm^4$ )	$C_w$ ( $cm^6$ )	Eixo X				Eixo Y				Massa (Kg/m)
			$I_x$ ( $cm^4$ )	$W_x$ ( $cm^3$ )	$r_x$ (cm)	$Z_x$ ( $cm^3$ )	$I_y$ ( $cm^4$ )	$W_y$ ( $cm^3$ )	$r_y$ (cm)	$Z_y$ ( $cm^3$ )	
67,0	31,81	236,422	11.909	751,4	13,33	842,5	1.026	122,9	3,91	188,8	52,0

FIGURA – 7.14

CORDAS INFERIORES E SUPERIORES (barras 9 a 12 / 13 a 16)  
PERFIL CANTONEIRA DUPLA (SÉRIE EM POLEGADAS)  
GERDAU ou BELGO – ASTM A36 – L 50,80x3,17



LEGENDA	
$A_g$	= área bruta
$I_{x_1}$	= momento de inércia em relação ao eixo $X_1$
$W_{x_1}$	= módulo de resistência elástico em relação ao eixo $X_1$
$r_{x_1}$	= raio de giração em relação ao eixo $X_1$
$I_{y_1}$	= momento de inércia em relação ao eixo $Y_1$
$W_{y_1}$	= módulo de resistência elástico em relação ao eixo $Y_1$
$r_{y_1}$	= raio de giração em relação ao eixo $Y_1$
$r_y$	= raio de giração mínimo
$b$	= largura das abas
$t$	= espessura das abas
$x_g$	= posição $X_1$ do centro geométrico
$y_g$	= posição $Y_1$ do centro geométrico

PROPRIEDADES					
$A_g$ ( $cm^2$ )	$I_{x_1} = I_{y_1}$ ( $cm^4$ )	$W_{x_1} = W_{y_1}$ ( $cm^3$ )	$r_{x_1} = r_{y_1}$ (cm)	$r_y$ (cm)	Massa (Kg/m)
3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	2,46

FIGURA – 7.15

MONTANTES E DIAGONAIS (barras 17, 19 e 21 / 18 e 20)  
PERFIL CANTONEIRA DUPLA (SÉRIE EM POLEGADAS)  
GERDAU ou BELGO – ASTM A36 – L 44,45x3,17

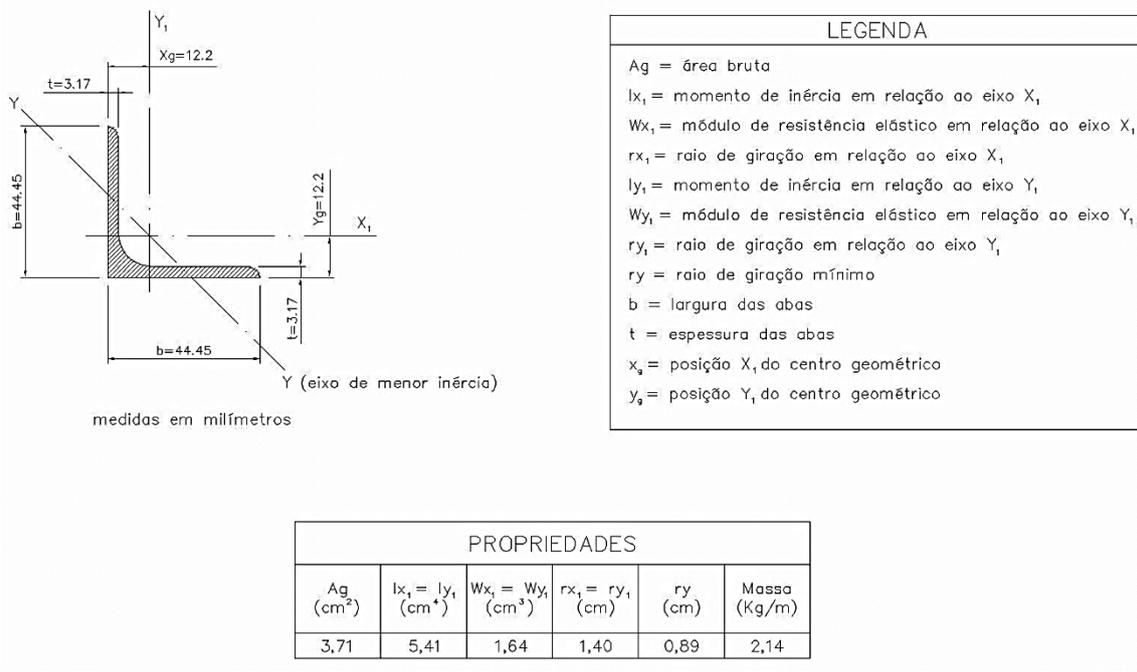


FIGURA – 7.16

## 7.4 – MEMÓRIA DE CÁLCULO E DETALHES DAS LIGAÇÕES

## 1 – LIGAÇÃO DA VIGA “V1” COM O PILAR - DETALHE

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Parafusadas

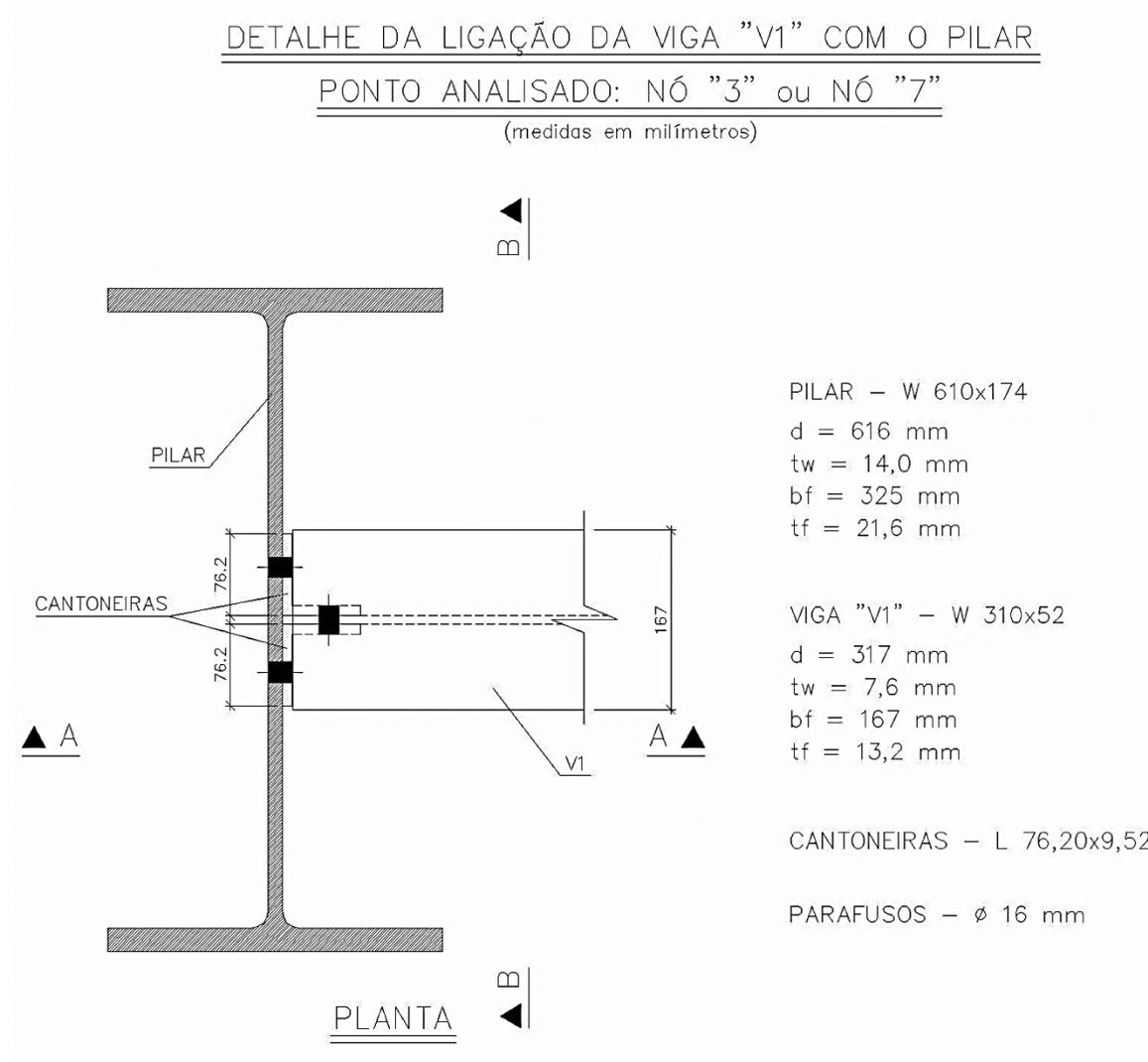
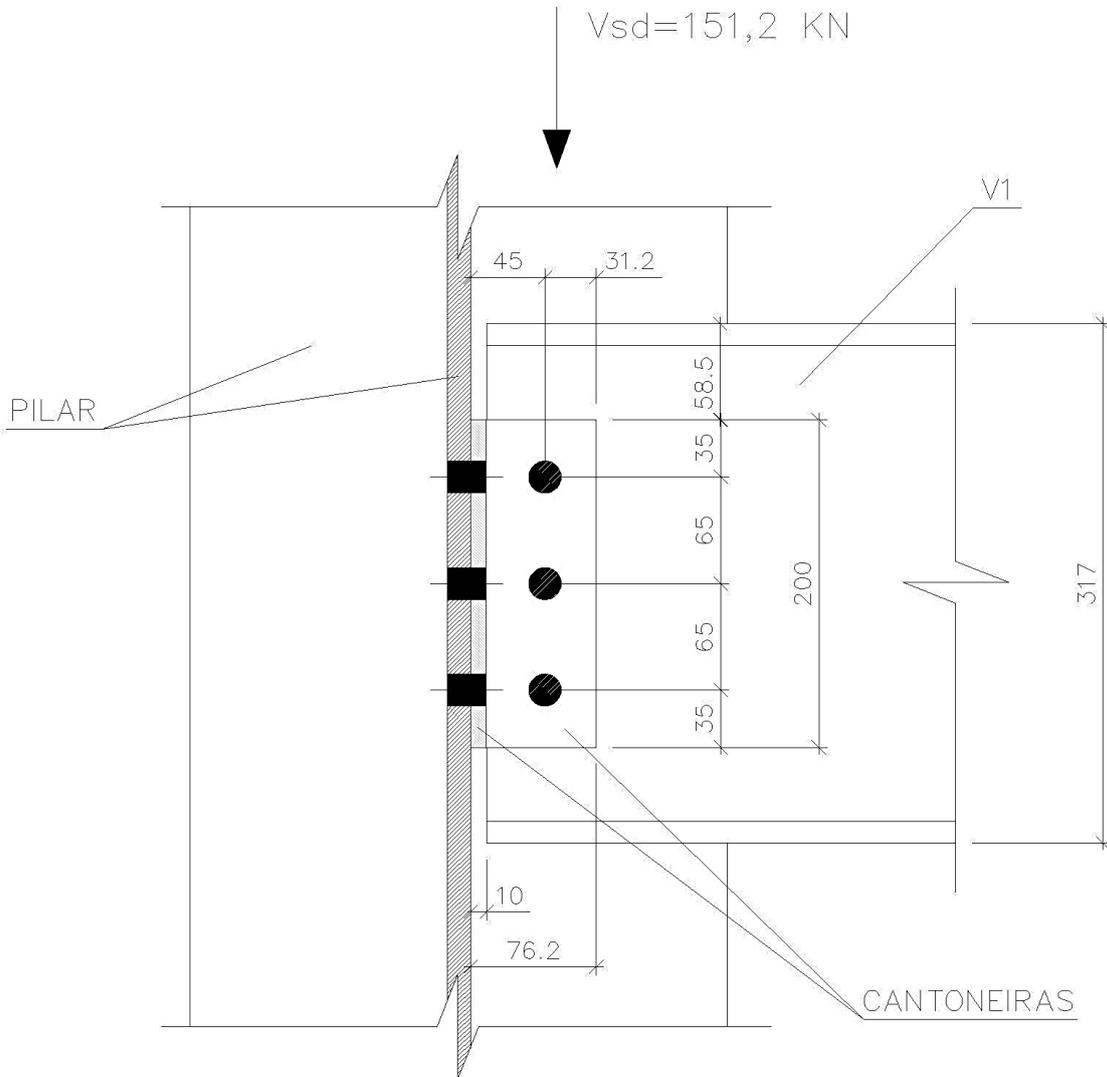


FIGURA – 7.17



CORTE A-A

FIGURA - 7.18

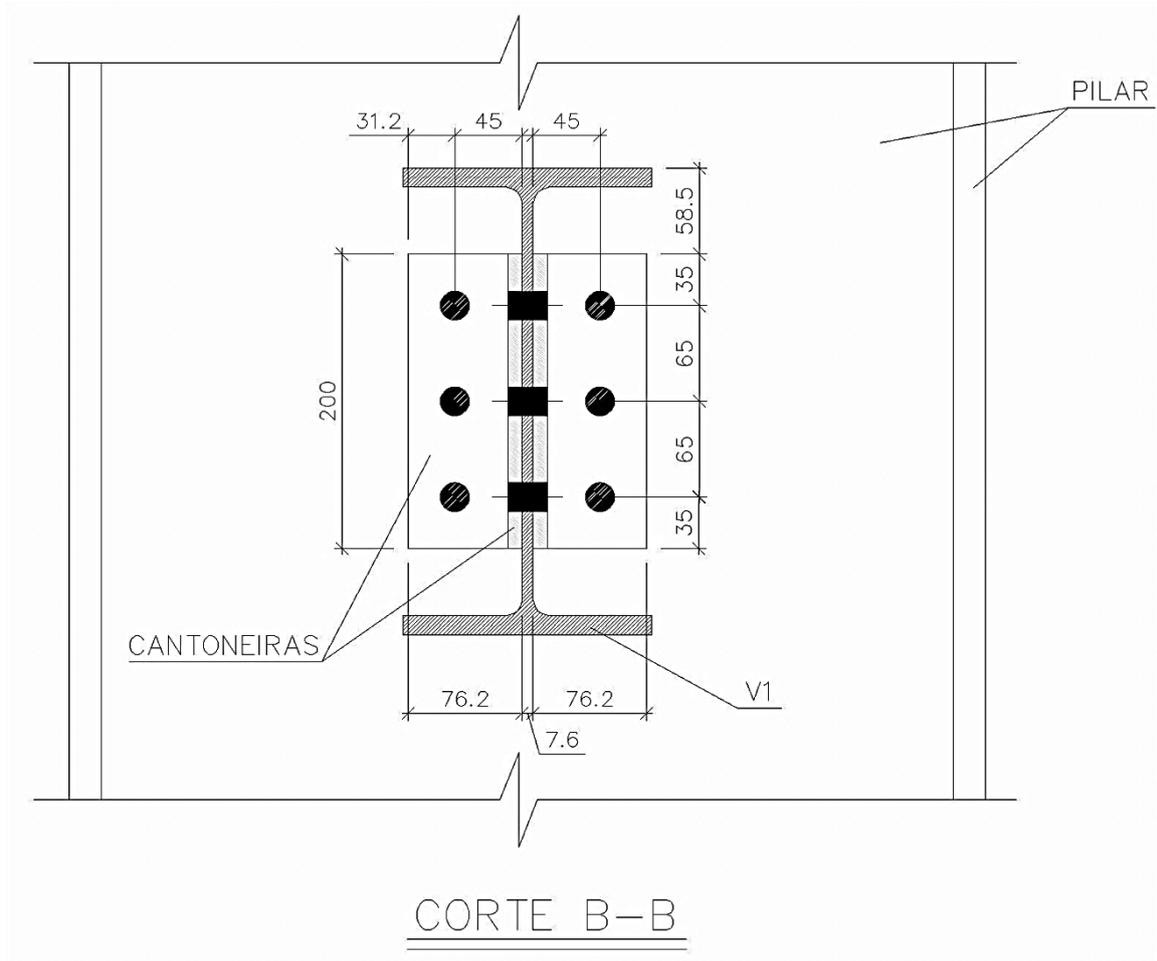


FIGURA – 7.19

## 1 – LIGAÇÃO DA VIGA “V1” COM O PILAR – MEMÓRIA DE CÁLCULO

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Parafusadas

### a) MATERIAIS

- AÇO ASTM A572 (Grau 50):  $f_y = 34,5 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 45 \text{ Kn/cm}^2$   
(Viga e Pilar)
- AÇO ASTM A36:  $f_y = 25 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 40 \text{ Kn/cm}^2$   
(Cantoneiras)
- AÇO ASTM A325:  $f_{yb} = 63,5 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_{ub} = 82,5 \text{ Kn/cm}^2$   
(Parafusos)

### b) DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

- DIÂMETRO DO FURO:  
 $d_h = d_b + 1,5 + 2,0$
- DISTÂNCIA ENTRE FUROS:  
 $3 \cdot d_b \leq e_{ff} \leq 24 \cdot (\text{menor espessura das partes ligadas})$   
 $\leq 300 \text{ mm}$
- DISTÂNCIA ENTRE FUROS E ABA:  
 $e_{fc} \geq 1,35 \cdot d_b$
- DISTÂNCIA DOS FUROS ÀS BORDAS:  
 $1,25 \cdot d_b \leq e_{fb} \leq 12 \cdot (\text{menor espessura das partes ligadas})$   
 $\leq 150 \text{ mm}$
- ALTURA DA LIGAÇÃO:  
 $L \geq 0,5 \cdot d$
- ESPESSURA DA CANTONEIRA:  
 $t \leq 16 \text{ mm}$

ONDE:

- $d_h$  = diâmetro do furo
- $d_b$  = diâmetro do parafuso
- $e_{ff}$  = distância entre furos
- $e_{fc}$  = distância entre furo e aba/chapa
- $e_{fb}$  = distância entre furo e borda

### c) VERIFICAÇÕES DAS DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

- DIÂMETRO DO FURO:  
 $d_h = d_b + 1,5 + 2,0$   
 $d_h = 16 + 1,5 + 2,0 = 19,5 \text{ mm}$

- DISTÂNCIA ENTRE FUROS:

$$3.d_b \leq e_{ff} \leq 24.(\text{menor espessura das partes ligadas})$$

$$\leq 300 \text{ mm}$$

$$3 \times 16 \leq 65 \leq 24 \times 7,6$$

$$\leq 300 \text{ mm}$$

$$48 \text{ mm} \leq 65 \text{ mm} \leq 182,40 \text{ mm}$$

$$\leq 300 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- DISTÂNCIA ENTRE FURO E A ABA DA CANTONEIRA:

$$e_{fc} \geq 1,35.d_b$$

$$45 - 9,5 \geq 1,35 \times 16$$

$$35,5 \text{ mm} \geq 21,6 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- DISTÂNCIA DO FURO À BORDA:

$$1,25.d_b \leq e_{fb} \leq 12.(\text{menor espessura das partes ligadas})$$

$$\leq 150 \text{ mm}$$

$$1,25 \times 16 \leq 35 \leq 12 \times 7,6$$

$$\leq 150 \text{ mm}$$

$$20 \text{ mm} \leq 35 \text{ mm} \leq 91,20 \text{ mm}$$

$$\leq 150 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- ALTURA DA LIGAÇÃO:

$$L \geq 0,5.d$$

$$200 \geq 0,5 \times 317$$

$$200 \text{ mm} \geq 158,5 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- ESPESSURA DA CANTONEIRA:

$$t \leq 16 \text{ mm}$$

$$9,5 \text{ mm} \leq 16 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

d) VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS AO CISALHAMENTO

A força cortante solicitante de cálculo é igual a 151,2 Kn (ver ações atuantes nos pórticos internos – carga aplicada no nó 3).

$$F_{V,Sd} = 151,2 / 6$$

$$F_{V,Sd} = 25,20 \text{ Kn}$$

$$F_{V,Rd} = 0,4.A_b.f_{ub} / \gamma_{a2} \therefore A_b = \pi.d_b^2/4 \rightarrow A_b = \pi.1,6^2 / 4 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$F_{V,Rd} = 0,4 \times 2,01 \times 82,5 / 1,35$$

$$F_{V,Rd} = 49,15 \text{ Kn}$$

$$F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$$

$$25,20 \text{ Kn} < 49,15 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

e) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA ALMA DA VIGA

A pressão de contato nos furos da alma da viga é o pior caso em relação à mesa do pilar, pois possui mesmo aço, mesmas disposições dos furos, mas possui menor espessura e maior esforço solicitante.

$$F_{c,Sd} = 151,2 / 3$$

$$F_{c,Sd} = 50,40 \text{ Kn}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$\leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

ONDE:

-  $l_f$  = distância entre as bordas dos furos ou a borda do furo e a borda da parte ligada, a que for menor.

$$l_f \text{ (entre furos)} \rightarrow 65 - 19,5 = 45,5 \text{ mm}$$

$$l_f \text{ (entre furo e borda da parte analisada)} \rightarrow 93,5 - (19,5 / 2) = 83,75 \text{ mm}$$

(93,5 é a distância do centro do furo até o topo da viga).

$l_f$  adotado será o menor, ou seja, 45,5 mm = 4,55 cm.

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \times 4,55 \times 0,76 \times 45 / 1,35$$

$$\leq 2,4 \times 1,6 \times 0,76 \times 45 / 1,35$$

$$F_{c,Rd} \leq 138,32 \text{ Kn}$$

$$\leq 97,28 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$$

$$50,40 \text{ Kn} < 97,28 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

f) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA CANTONEIRA

$$F_{c,Sd} = 151,2 / 2 \times 3$$

$$F_{c,Sd} = 25,20 \text{ Kn}$$

$$l_f \text{ (entre furos)} \rightarrow 65 - 19,5 = 45,5 \text{ mm}$$

$$l_f \text{ (entre furo e borda da parte analisada)} \rightarrow 35 - (19,5 / 2) = 25,25 \text{ mm.}$$

$l_f$  adotado será o menor, ou seja, 25,25 mm = 2,52 cm.

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$\leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \times 2,52 \times 0,95 \times 40 / 1,35$$

$$\leq 2,4 \times 1,6 \times 0,95 \times 40 / 1,35$$

$$F_{c,Rd} \leq 85,12 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$\leq 108,09 \text{ Kn}$$

$$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$$

$$25,20 \text{ Kn} < 85,12 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

g) VERIFICAÇÃO DO COLAPSO POR RASGAMENTO NA CANTONEIRA

$$F_{Sd} = 151,2 / 2$$

$$F_{Sd} = 75,60 \text{ Kn}$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u + C_{ts} \cdot A_{nt} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$\leq 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y + C_{ts} \cdot A_{nt} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

ONDE:

- $A_{gv}$  = área bruta sujeita ao cisalhamento
- $A_{nv}$  = área líquida sujeita ao cisalhamento
- $A_{nt}$  = área líquida sujeita à tração
- $C_{ts} = 1,0$  – para tração na área líquida uniforme  
 $= 0,5$  – para tração não uniforme

$$A_{gv} = 0,95 \times (20 - 3,5) = 15,68 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 15,68 - 2,5 \times (1,95 \times 0,95) = 11,04 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 0,95 \times (3,12 - 0,5 \times 1,95) = 2,04 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \times 11,04 \times 40 + 1,0 \times 2,04 \times 40 / 1,35$$

$$\leq 0,6 \times 15,68 \times 25 + 1,0 \times 2,04 \times 40 / 1,35$$

$$F_{Rd} \leq 256,71 \text{ Kn}$$

$$\leq 234,67 \text{ Kn} \rightarrow \text{ adotado}$$

$$F_{Sd} \leq F_{Rd}$$

$$75,60 \text{ Kn} < 234,67 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

#### h) VERIFICAÇÃO DO CISALHAMENTO NA CANTONEIRA

$$F_{Sd} = 151,2 / 2$$

$$F_{Sd} = 75,60 \text{ Kn}$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$\leq 0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$A_{gv} = 0,95 \times 20,0 = 19,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 19,0 - (3 \times 1,95 \times 0,95) = 13,44 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \times 19 \times 25 / 1,10$$

$$\leq 0,6 \times 13,44 \times 40 / 1,35$$

$$F_{Rd} \leq 259,09 \text{ Kn}$$

$$\leq 238,93 \text{ Kn} \rightarrow \text{ adotado}$$

$$F_{Sd} \leq F_{Rd}$$

$$75,60 \text{ Kn} < 238,93 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

#### i) VERIFICAÇÃO DO CISALHAMENTO NA VIGA

$$F_{Sd} = 151,2 \text{ Kn}$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y / \gamma_{a1}$$
$$\leq 0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$A_{gv} = 0,76 \times 31,7 = 24,09 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 24,09 - (3 \times 0,76 \times 1,95) = 19,65 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \times 24,09 \times 34,5 / 1,10$$

$$\leq 0,6 \times 19,65 \times 45 / 1,35$$

$$F_{Rd} \leq 453,33 \text{ Kn}$$

$$\leq 393,00 \text{ Kn} \rightarrow \text{ adotado}$$

$$F_{Sd} \leq F_{Rd}$$

$$151,2 \text{ Kn} < 393,0 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

- j) NÃO É NECESSÁRIA A VERIFICAÇÃO DO COLAPSO POR RASGAMENTO NA ALMA DA VIGA SUPOSTADA, POIS NÃO HÁ RECORTES NA MESMA E DESSA FORMA AS MESAS DO PERFIL IMPEDEM ESTE ESTADO LIMITE DE OCORRER.

## 2 – LIGAÇÃO DA VIGA “V2” COM A VIGA DO PÓRTICO - DETALHE

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Parafusadas

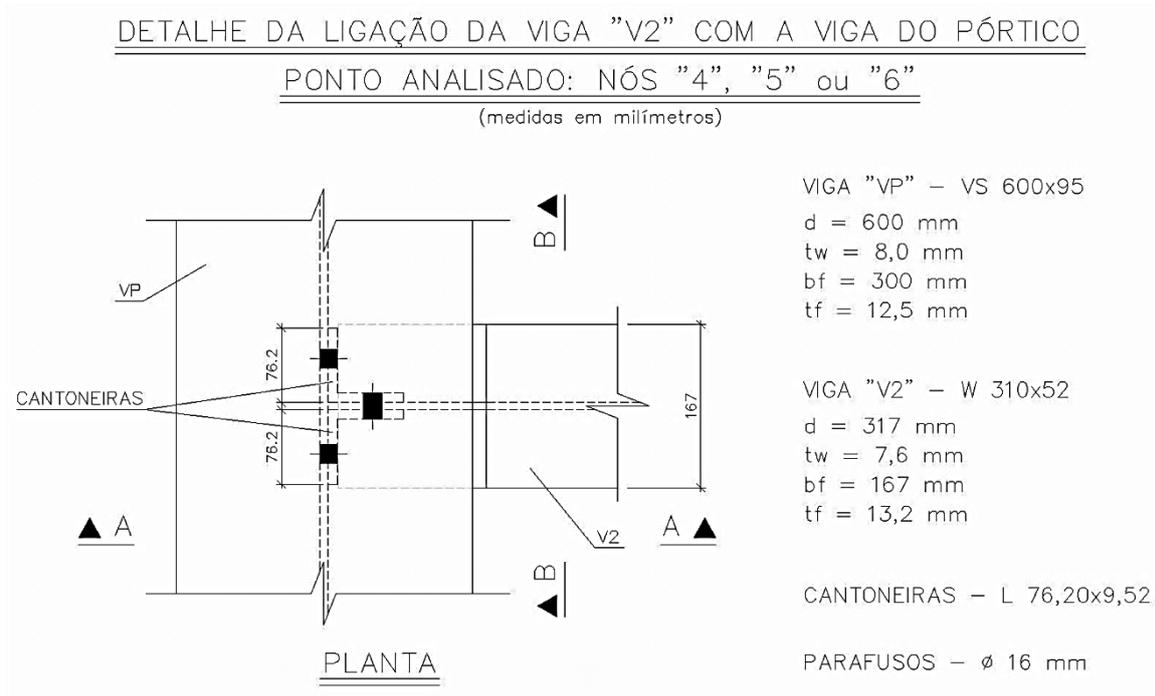


FIGURA – 7.20



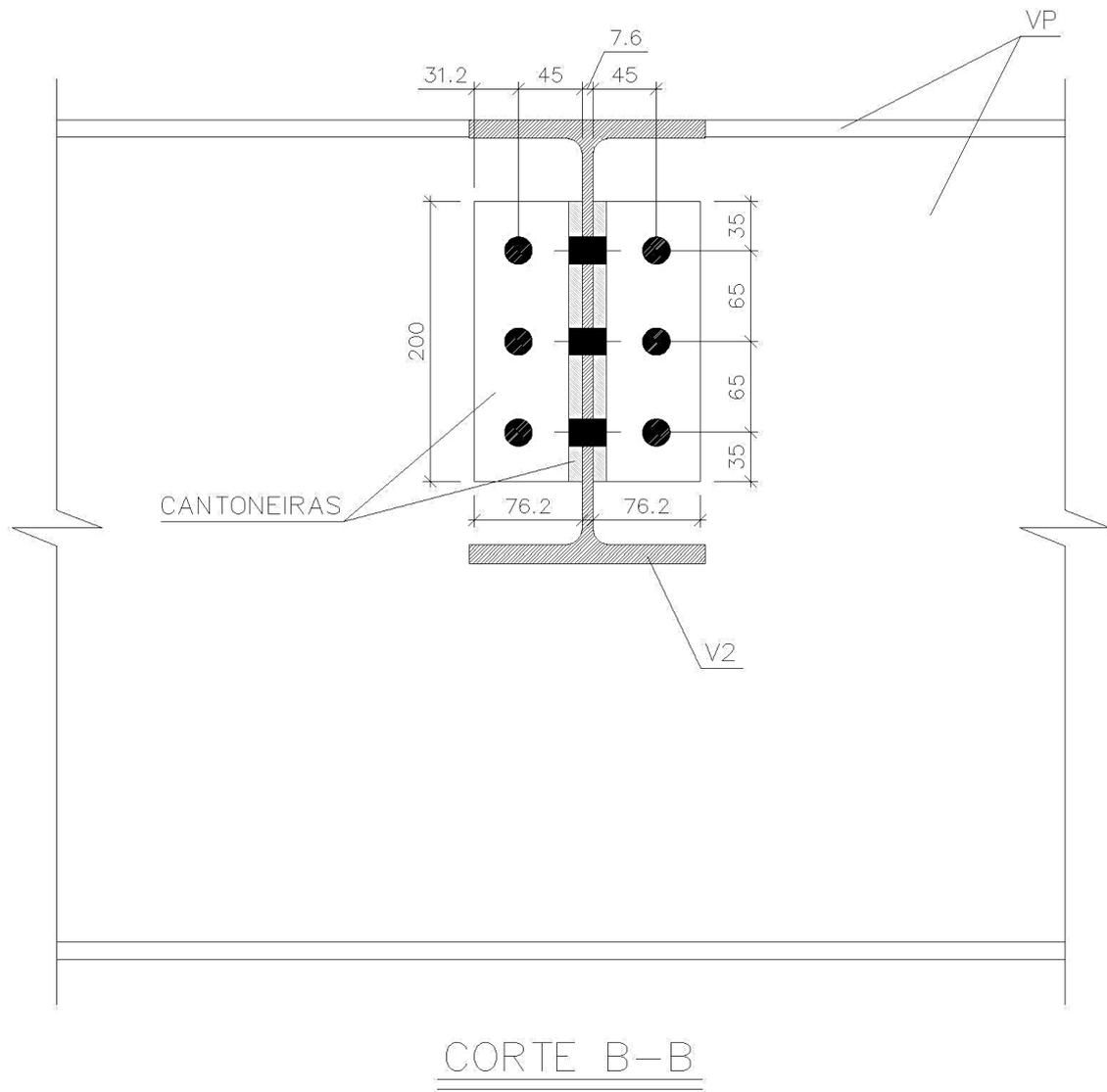


FIGURA – 7.22

## 2 – LIGAÇÃO DA VIGA “V2” COM A VIGA DO PÓRTICO – MEMÓRIA DE CÁLCULO

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Parafusadas

### a) MATERIAIS

- AÇO ASTM A572 (Grau 50):  $f_y = 34,5 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 45 \text{ Kn/cm}^2$   
(Viga e Pilar)
- AÇO ASTM A36:  $f_y = 25 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 40 \text{ Kn/cm}^2$   
(Cantoneiras)
- AÇO ASTM A325:  $f_{yb} = 63,5 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_{ub} = 82,5 \text{ Kn/cm}^2$   
(Parafusos)

### b) DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS E SUAS VERIFICAÇÕES

- IDEM AS DISPOSIÇÕES DO ITEM “1” - LIGAÇÃO DA VIGA “V1” COM O PILAR.
- COMPRIMENTO DO RECORTE:
  - Comprimento  $\leq 2.d$
  - $150 \leq 2 \times 317$
  - $150 \text{ mm} \leq 634 \text{ mm}$  ----- **ATENDE**
- ALTURA DO RECORTE:
  - $h \leq 0,2.d$
  - $25 \leq 0,2 \times 317$
  - $25 \text{ mm} \leq 63,4 \text{ mm}$  ----- **ATENDE**

### c) VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS AO CISALHAMENTO

A força cortante solicitante de cálculo é igual a 195,7 Kn (ver ações atuantes nos pórticos internos – carga aplicada no nó 4).

$$F_{V,Sd} = 195,7 / 6$$

$$F_{V,Sd} = 32,62 \text{ Kn}$$

$$F_{V,Rd} = 0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub} / \gamma_{a2} \therefore A_b = \pi \cdot d_b^2 / 4 \rightarrow A_b = \pi \cdot 1,6^2 / 4 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$F_{V,Rd} = 0,4 \times 2,01 \times 82,5 / 1,35$$

$$F_{V,Rd} = 49,15 \text{ Kn}$$

$$F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$$

$$32,62 \text{ Kn} < 49,15 \text{ Kn}$$
 ----- **ATENDE**

### d) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA ALMA DA VIGA

$$F_{c,Sd} = 195,7 / 3$$

$$F_{c,Sd} = 65,23 \text{ Kn}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2} \rightarrow l_f \text{ adotado igual } 4,55 \text{ cm (item 1)}$$

$$\leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \times 4,55 \times 0,76 \times 45 / 1,35$$

$$\leq 2,4 \times 1,6 \times 0,76 \times 45 / 1,35$$

$$F_{c,Rd} \leq 138,32 \text{ Kn}$$

$$\leq 97,28 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$$

$$65,23 \text{ Kn} < 97,28 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

e) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA CANTONEIRA

$$F_{c,Sd} = 195,7 / 2 \times 3$$

$$F_{c,Sd} = 32,62 \text{ Kn}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2} \rightarrow l_f \text{ adotado igual } 2,52 \text{ cm (item 1)}$$

$$\leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \times 2,52 \times 0,95 \times 40 / 1,35$$

$$\leq 2,4 \times 1,6 \times 0,95 \times 40 / 1,35$$

$$F_{c,Rd} \leq 85,12 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$\leq 108,09 \text{ Kn}$$

$$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$$

$$32,62 \text{ Kn} < 85,12 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

f) VERIFICAÇÃO DO COLAPSO POR RASGAMENTO NA CANTONEIRA

$$F_{Sd} = 195,7 / 2$$

$$F_{Sd} = 97,85 \text{ Kn}$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u + C_{ts} \cdot A_{nt} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$\leq 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y + C_{ts} \cdot A_{nt} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

ONDE:

- $A_{gv}$  = área bruta sujeita ao cisalhamento
- $A_{nv}$  = área líquida sujeita ao cisalhamento
- $A_{nt}$  = área líquida sujeita à tração
- $C_{ts}$  = 1,0 – para tração na área líquida uniforme  
= 0,5 – para tração não uniforme

$$A_{gv} = 0,95 \times (20 - 3,5) = 15,68 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 15,68 - 2,5 \times (1,95 \times 0,95) = 11,04 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 0,95 \times (3,12 - 0,5 \times 1,95) = 2,04 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \times 11,04 \times 40 + 1,0 \times 2,04 \times 40 / 1,35$$

$$\leq 0,6 \times 15,68 \times 25 + 1,0 \times 2,04 \times 40 / 1,35$$

$$F_{Rd} \leq 256,71 \text{ Kn}$$

$$\leq 234,67 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$F_{Sd} \leq F_{Rd}$$

$$97,85 \text{ Kn} < 234,67 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

g) VERIFICAÇÃO DO CISALHAMENTO NA CANTONEIRA

$$F_{Sd} = 195,7 / 2$$

$$F_{Sd} = 97,85 \text{ Kn}$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$\leq 0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$A_{gv} = 0,95 \times 20,0 = 19,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 19,0 - (3 \times 1,95 \times 0,95) = 13,44 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \times 19 \times 25 / 1,10$$

$$\leq 0,6 \times 13,44 \times 40 / 1,35$$

$$F_{Rd} \leq 259,09 \text{ Kn}$$

$$\leq 238,93 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$F_{Sd} \leq F_{Rd}$$

$$97,85 \text{ Kn} < 238,93 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

h) VERIFICAÇÃO DO CISALHAMENTO NA VIGA

$$F_{Sd} = 195,7 \text{ Kn}$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y / \gamma_{a1}$$

$$\leq 0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$A_{gv} = 0,76 \times 29,2 = 22,19 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 22,19 - (3 \times 0,76 \times 1,95) = 17,75 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \times 22,19 \times 34,5 / 1,10$$

$$\leq 0,6 \times 17,75 \times 45 / 1,35$$

$$F_{Rd} \leq 417,58 \text{ Kn}$$

$$\leq 355,00 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$F_{Sd} \leq F_{Rd}$$

$$195,7 \text{ Kn} < 355,0 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

i) VERIFICAÇÃO DO COLAPSO POR RASGAMENTO DA ALMA DA VIGA  
SUPPORTADA

$$F_{Sd} = 195,7 \text{ Kn}$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u + C_{ts} \cdot A_{nt} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$\leq 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y + C_{ts} \cdot A_{nt} \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

ONDE:

- $A_{gv}$  = área bruta sujeita ao cisalhamento
- $A_{nv}$  = área líquida sujeita ao cisalhamento
- $A_{nt}$  = área líquida sujeita à tração
- $C_{ts} = 1,0$  – para tração na área líquida uniforme  
 $= 0,5$  – para tração não uniforme

$$A_{gv} = 0,76 \times (6,5 \times 2 + 3,35 + 3,5) = 15,09 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 15,09 - (2,5 \times 1,95 \times 0,76) = 11,38 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 0,76 \times (3,5 - 0,5 \times 1,95) = 1,92 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd} \leq 0,6 \times 11,38 \times 45 + 1,0 \times 1,92 \times 45 / 1,35$$

$$\leq 0,6 \times 15,09 \times 34,5 + 1,0 \times 1,92 \times 45 / 1,35$$

$$F_{Rd} \leq 291,60 \text{ Kn} \rightarrow \text{ adotado}$$

$$\leq 295,38 \text{ Kn}$$

$$F_{Sd} \leq F_{Rd}$$

$$195,7 \text{ Kn} < 291,6 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

#### j) VERIFICAÇÃO DA FLEXÃO DA ALMA DA VIGA SUPOSTADA

$$M_{Sd} = 16 \times 195,7$$

$$M_{Sd} = 3131,2 \text{ Kn.cm}$$

$$\lambda = L_b / r_y \quad \therefore L_b = 15 \text{ cm}$$

$$\therefore r_y = \frac{\sqrt{I_y}}{A} \rightarrow r_y = \frac{\sqrt{1,07}}{22,19} \rightarrow r_y = 0,22 \text{ cm}$$

$$\therefore I_y = 29,2 \times 0,76^3 / 12 \rightarrow I_y = 1,07 \text{ cm}^4$$

$$\therefore A = 29,2 \times 0,76 = 22,19 \text{ cm}^2$$

$$\lambda = 15 / 0,22$$

$$\lambda = 68,31$$

$$\lambda_p = \frac{0,13 \cdot E}{M_{pl}} \cdot \sqrt{J \cdot A}$$

$$\therefore J = h \cdot t^3 / 3 \rightarrow J = 29,2 \times 0,76^3 / 3 \rightarrow J = 4,27 \text{ cm}^4$$

$$\therefore M_{pl} = f_y \cdot Z_x \rightarrow M_{pl} = 34,5 \times 162 \rightarrow M_{pl} = 5589,06 \text{ Kn.cm}$$

$$\therefore Z_x = t \cdot h^2 / 4 \rightarrow Z_x = 0,76 \times 29,2^2 / 4 \rightarrow Z_x = 162,0 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_p = \frac{0,13 \times 20.000}{5.589,06} \times \sqrt{4,27 \times 22,19}$$

$$\lambda_p = 4,53$$

$$\lambda_r = \frac{2 \cdot E}{M_r} \cdot \sqrt{J \cdot A}$$

$$\therefore M_r = f_y \cdot W_x \rightarrow M_r = 34,5 \times 108 \rightarrow M_r = 3726,04 \text{ Kn.cm}$$

$$\therefore W_x = t \cdot h^2 / 6 \rightarrow W_x = 0,76 \times 29,2^2 / 6 \rightarrow Z_x = 108,0 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_r = \frac{2 \times 20.000}{3.726,04} \times \sqrt{4,27 \times 22,19}$$

$$\lambda_r = 104,5$$

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$$

$$4,53 \leq 68,31 \leq 104,5$$

$$M_{rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\lambda_{a1}}$$

$$M_{rd} = \frac{1,0}{1,10} \cdot \left[ 5.589 - (5.589 - 3.726) \cdot \frac{68,31 - 4,53}{104,5 - 4,53} \right]$$

$$M_{rd} = 4000 \text{ Kn.cm}$$

$$\frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{5.589}{1,10} = 5081 \text{ Kn.cm}$$

$$M_{rd} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$4000 \text{ Kn.cm} < 5081 \text{ Kn.cm}$$

Portanto,  $M_{rd} = 4000 \text{ Kn.cm}$

$$M_{sd} \leq M_{rd}$$

$$3131 \text{ Kn.cm} < 4000 \text{ Kn.cm} \text{ ----- ATENDE}$$

k) VERIFICAÇÃO DA FLEXÃO DA ALMA DA VIGA SUPOSTADA

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\therefore \sigma_x = M_{sd} / Z \rightarrow \sigma_x = 3131 / 162 \rightarrow \sigma_x = 19,33 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_y = 0 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\therefore \tau = F_{sd} / A \rightarrow \tau = 195,7 / 22,19 \rightarrow \tau = 8,82 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\sqrt{19,33^2 + 19,33 \times 0 + 0^2 + 3 \times 8,82^2} \leq \frac{34,5}{1,10}$$

$$24,64 < 31,36 \text{ ----- ATENDE}$$

### 3 – LIGAÇÃO DO NÓ “13” - DETALHE

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Soldadas com Chapa de Gusset

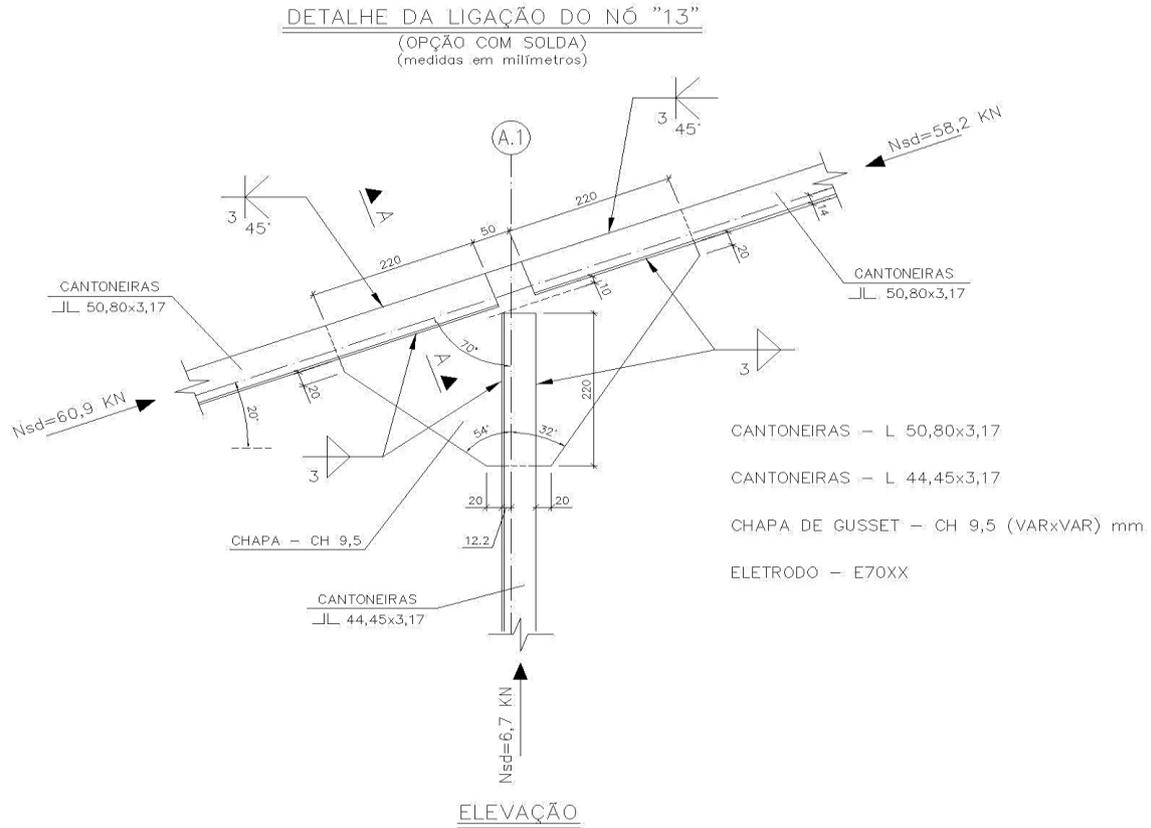


FIGURA – 7.23

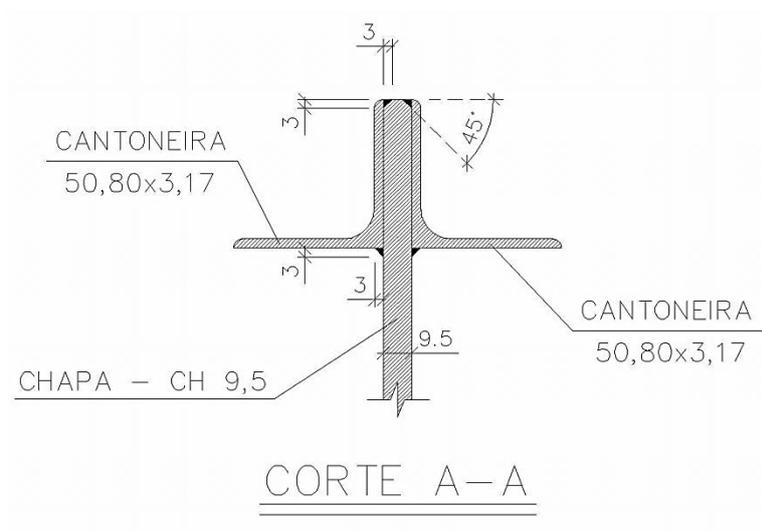


FIGURA – 7.24

### 3 – LIGAÇÃO DO NÓ “13” – MEMÓRIA DE CÁLCULO

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Soldadas com Chapa de Gusset

a) MATERIAIS

- AÇO USICIVIL 350:  $f_y = 35 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 50 \text{ Kn/cm}^2$   
(Chapa)
- AÇO ASTM A36:  $f_y = 25 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 40 \text{ Kn/cm}^2$   
(Cantoneiras)
- ELETRODO E70xx:  $f_w = 48,5 \text{ Kn/cm}^2$ , compatível com aço ASTM A36 e USICIVIL 350.

b) DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

- DIMENSÃO MÍNIMA DA PERNA DO FILETE:

$$t = 3,17 \text{ mm} < 6,35 \text{ mm} \text{ ----- } d_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$d_w = 3 \text{ mm} = d_{\min} = 3 \text{ mm} \text{ ----- } \mathbf{ATENDE}$$

- DIMENSÃO MÁXIMA DA PERNA DO FILETE:

$$d_w = 3 \text{ mm} < t = 3,17 \text{ mm} \text{ ----- } \mathbf{ATENDE}$$

ONDE:

- t = espessura da chapa mais fina
- $d_w$  = perna do filete (VER FIGURA - 7.25)

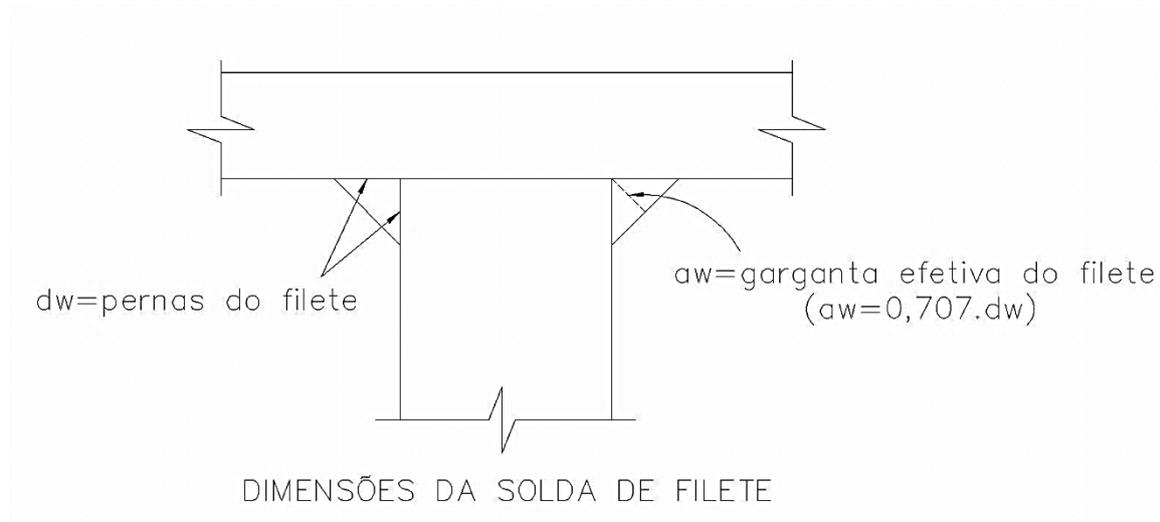


FIGURA – 7.25

c) VERIFICAÇÃO DA SOLDA

A solda será verificada na barra com maior esforço.

c.1) ESFORÇO SOLICITANTE NA SOLDA

$$\tau_{w,Sd} = \sqrt{\tau_{w,x,Sd}^2 + \tau_{w,y,Sd}^2}$$

$$\tau_{w,x,Sd} = 0 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\tau_{w,y,Sd} = \frac{F_{y,Sd}}{A_w} + \left( \frac{M_{z,Sd}}{I_z} \cdot X \right)$$

$$\therefore a_w = 0,707 \cdot d_w \rightarrow a_w = 0,707 \times 0,3 = 0,212 \text{ cm}$$

$$\therefore A_w = \Sigma l_w \cdot a_w \rightarrow A_w = 2 \times 22 \times 0,212 = 9,328 \text{ cm}^2$$

$$\therefore F_{x,Sd} = 0 \text{ Kn}$$

$$\therefore F_{y,Sd} = 60,9 \text{ Kn}$$

$$\therefore M_{z,Sd} = 0 \text{ Kn.cm}$$

$$\tau_{w,y,Sd} = \frac{60,9}{9,328} + 0$$

$$\tau_{w,y,Sd} = 6,529 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\tau_{w,Sd} = \sqrt{0^2 + 6,529^2}$$

$$\tau_{w,Sd} = 6,529 \text{ Kn/cm}^2$$

c.2) VERIFICAÇÃO DO METAL DA SOLDA

$$\tau_{w,Sd} = 6,529 \text{ Kn/cm}^2 \leq \tau_{w,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_w}{\gamma_z}$$

$$\leq \tau_{w,Rd} = \frac{0,6 \times 48,5}{1,35}$$

$$\leq \tau_{w,Rd} = 21,556 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\tau_{w,Sd} = 6,529 \text{ Kn/cm}^2 \leq \tau_{w,Rd} = 21,556 \text{ Kn/cm}^2 \text{ ----- ATENDE}$$

c.2) RUPTURA NA REGIÃO DA SOLDA

$$t \geq 2,25 \cdot n \cdot a_w \cdot f_{w,res,Sd} / m \cdot f_u$$

ONDE:

- n = número de soldas na região

- m = número de linhas de ruptura que podem ocorrer na chapa verificada

$$f_{w,res,Sd} = \sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$$

$$f_{w,res,Sd} = 6,529 \text{ Kn/cm}^2$$

$$0,95 \geq \frac{2,25 \times 2 \times 0,212 \times 6,529}{1 \times 50}$$

$$0,95 \geq 0,125 \text{ cm ----- ATENDE}$$

## 4 – LIGAÇÃO DO NÓ “8” – DETALHE

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Soldadas com Chapa de Gusset

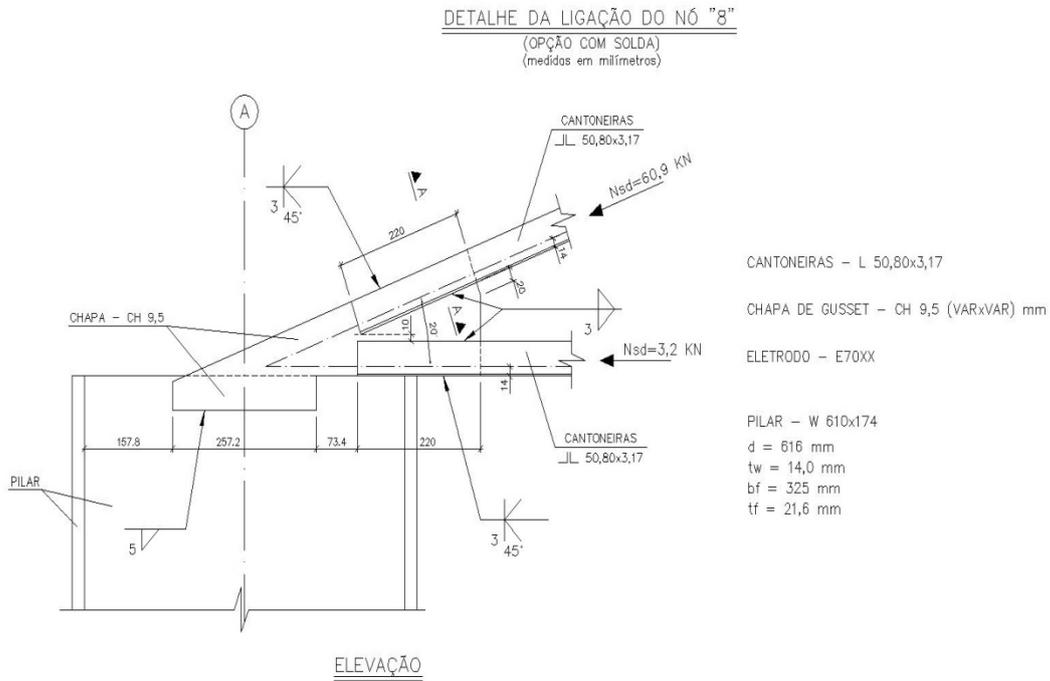


FIGURA – 7.26

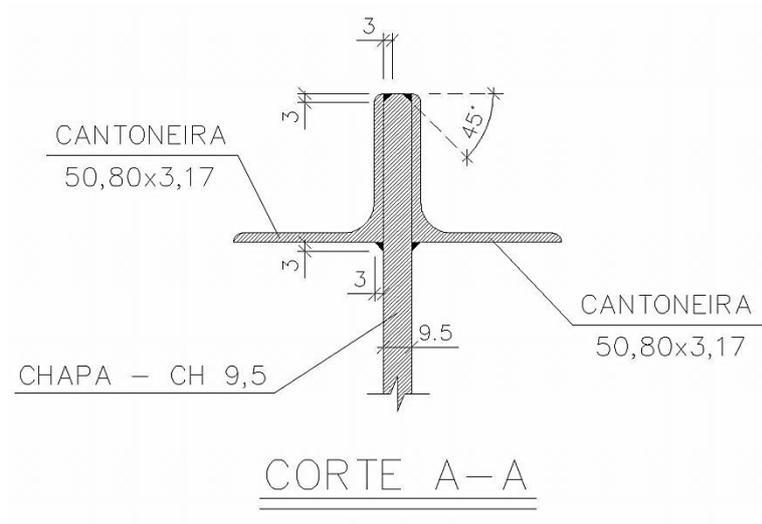


FIGURA – 7.27

## 4 – LIGAÇÃO DO NÓ “8” – MEMÓRIA DE CÁLCULO

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Soldadas com Chapa de Gusset

A verificação deste item não será necessária, uma vez que o esforço máximo aplicado neste nó é equivalente ao esforço do nó “13”.

## 5 – LIGAÇÃO DO NÓ “13” - DETALHE

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Parafusadas com Chapa de Gusset

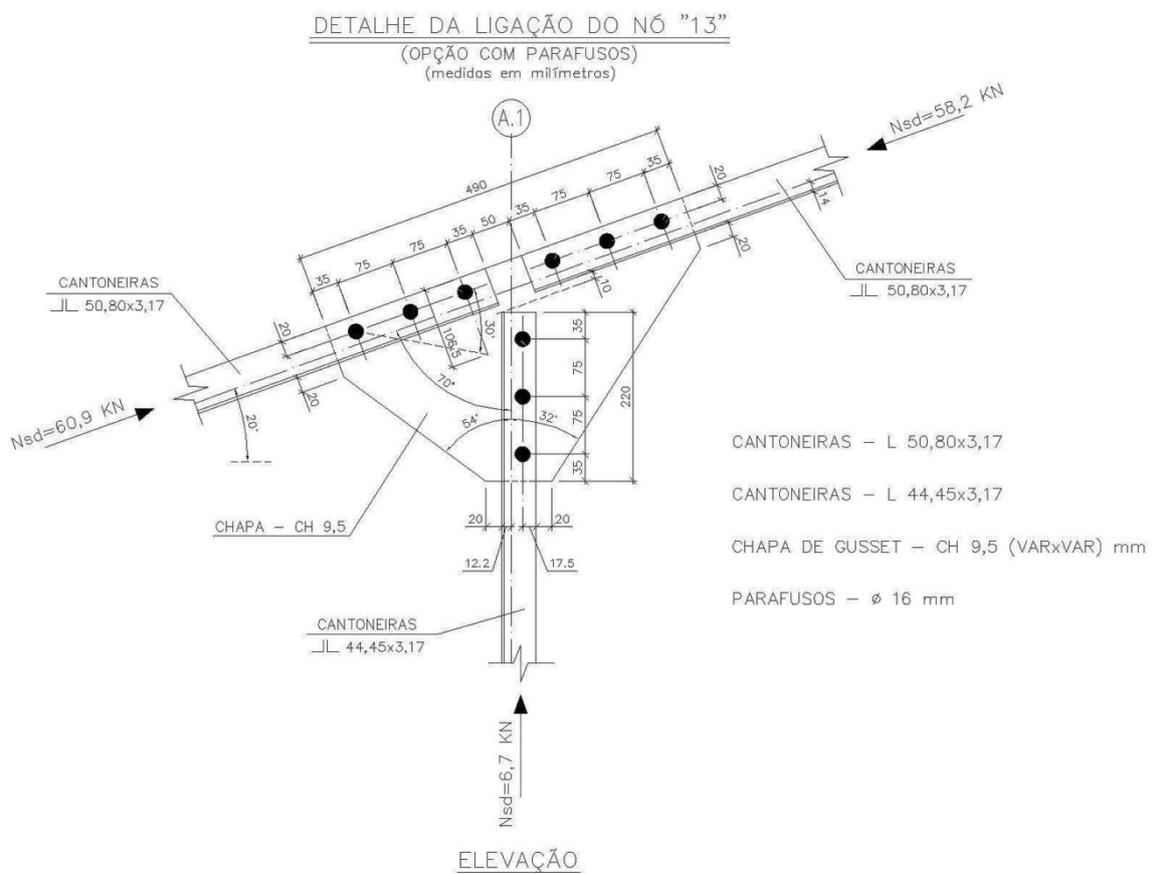


FIGURA – 7.28

## 5 – LIGAÇÃO DO NÓ “13” – MEMÓRIA DE CÁLCULO

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Parafusadas com Chapa de Gusset

### a) MATERIAIS

- AÇO USICIVIL 350:  $f_y = 35 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 50 \text{ Kn/cm}^2$   
(Chapa)
- AÇO ASTM A36:  $f_y = 25 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 40 \text{ Kn/cm}^2$   
(Cantoneiras)
- AÇO ASTM A325:  $f_{yb} = 63,5 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_{ub} = 82,5 \text{ Kn/cm}^2$   
(Parafusos)

### b) DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS E SUAS VERIFICAÇÕES

- DIÂMETRO DO FURO:  

$$d_h = d_b + 1,5 + 2,0$$

$$d_h = 16 + 1,5 + 2,0 = 19,5 \text{ mm}$$
- DISTÂNCIA ENTRE FUIROS:  

$$3 \cdot d_b \leq e_{ff} \leq \begin{cases} 24 \cdot (\text{menor espessura das partes ligadas}) \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$$

$$3 \times 16 \leq 75 \leq \begin{cases} 24 \times 3,17 \\ 300 \end{cases}$$

$$48 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} \leq \begin{cases} 76,08 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} \end{cases} \text{ ----- ATENDE}$$
- DISTÂNCIA ENTRE FURO E A ABA DA CANTONEIRA:  
 Para cantoneira de 50,8 mm  

$$e_{fc} \geq 1,35 \cdot d_b$$

$$50,8 - 3,17 - 20 \geq 1,35 \times 16$$

$$27,63 \text{ mm} \geq 21,6 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$
  
 Para cantoneira de 44,45 mm  

$$e_{fc} \geq 1,35 \cdot d_b$$

$$44,45 - 3,17 - 17,5 \geq 1,35 \times 16$$

$$23,78 \text{ mm} \geq 21,6 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$
- DISTÂNCIA DO FURO À BORDA:  

$$1,25 \cdot d_b \leq e_{fb} \leq \begin{cases} 12 \cdot (\text{menor espessura das partes ligadas}) \\ 150 \text{ mm} \end{cases}$$

$$1,25 \times 16 \leq 35 \leq \begin{cases} 12 \times 3,17 \\ 150 \end{cases}$$

$$20 \text{ mm} \leq 35 \text{ mm} \leq \begin{cases} 38,04 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} \end{cases} \text{ ----- ATENDE}$$

- COMPRIMENTO DA LIGAÇÃO:

$$\Sigma e_{ff} = 150 \text{ mm} \leq 1270 \text{ mm}$$

Não é necessário multiplicar a força de cisalhamento solicitante de cálculo por 1,25.

c) VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS AO CISALHAMENTO

Os parafusos que serão verificados são os com maior solicitação, ou seja, os que se encontram na cantoneira submetida a força de compressão de 60,9 Kn.

$$F_{V,Sd} = 60,9 / 6$$

$$F_{V,Sd} = 10,15 \text{ Kn}$$

$$F_{V,Rd} = 0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub} / \gamma_{a2} \therefore A_b = \pi \cdot d_b^2 / 4 \rightarrow A_b = \pi \cdot 1,6^2 / 4 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$F_{V,Rd} = 0,4 \times 2,01 \times 82,5 / 1,35$$

$$F_{V,Rd} = 49,15 \text{ Kn}$$

$$F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$$

$$10,15 \text{ Kn} < 49,15 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

d) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA CHAPA DE GUSSET

Os furos que serão verificados são os da cantoneira com maior solicitação.

$$F_{c,Sd} = 60,9 / 3$$

$$F_{c,Sd} = 20,30 \text{ Kn}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$\leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

ONDE:

-  $l_f$  = distância entre as bordas dos furos ou a borda do furo e a borda da parte ligada, a que for menor.

$$l_f \text{ (entre furos)} \rightarrow 75 - 19,5 = 55,5 \text{ mm}$$

$$l_f \text{ (entre furo e borda da parte analisada)} \rightarrow 35 - (19,5 / 2) = 25,25 \text{ mm}$$

$$l_f \text{ adotado será o menor, ou seja, } 25,25 \text{ mm} = 2,525 \text{ cm.}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \times 2,525 \times 0,95 \times 50 / 1,35$$

$$\leq 2,4 \times 1,6 \times 0,95 \times 50 / 1,35$$

$$F_{c,Rd} \leq 106,61 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$\leq 135,11 \text{ Kn}$$

$$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$$

$$20,30 \text{ Kn} < 106,61 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

e) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA CANTONEIRA

$$F_{c,Sd} = 60,9 / 2 \times 3$$

$$F_{c,Sd} = 10,15 \text{ Kn}$$

$l_f$  adotado será o mesmo da chapa de Gusset , ou seja, 25,25 mm = 2,525 cm.

$$\begin{aligned}
 F_{c,Rd} &\leq 1,2 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2} \\
 &\leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2} \\
 F_{c,Rd} &\leq 1,2 \times 2,525 \times 0,317 \times 40 / 1,35 \\
 &\leq 2,4 \times 1,6 \times 0,317 \times 40 / 1,35 \\
 F_{c,Rd} &\leq 28,46 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado} \\
 &\leq 36,07 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{c,Sd} &\leq F_{c,Rd} \\
 10,15 \text{ Kn} &< 28,46 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}
 \end{aligned}$$

f) VERIFICAÇÃO DA COMPRESSÃO NA CHAPA DE GUSSET

$N_{c,Sd} = 60,9 \text{ Kn}$  (barra com maior compressão)

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$\therefore A_g = 0,95 \times 10,65 = 10,118 \text{ cm}^2$  (área definida pela seção de Whitmore)

$\therefore N_e = \pi^2 \cdot E \cdot I / (K \cdot L)^2$  (comprimento L é a distância entre a seção de Whitmore e o próximo parafuso da barra seguinte)

$\therefore L = 12 \text{ cm}$

$\therefore I = 10,65 \times 0,95^3 / 12 = 0,76 \text{ cm}^4$

$\therefore N_e = \pi^2 \times 20.000 \times 0,76 / (0,65 \times 12)^2 = 2465,8 \text{ Kn}$

$\therefore Q = 1,0$  (não há instabilidade local)

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1,0 \times 10,118 \times 35}{2.465,8}}$$

$$\lambda_0 = 0,38 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,97$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,97 \times 1,0 \times 10,118 \times 35}{1,10}$$

$$N_{c,Rd} = 312,28 \text{ Kn}$$

$$N_{c,Sd} = 60,9 \text{ Kn} \leq N_{c,Rd} = 312,28 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

## 6 – LIGAÇÃO DO NÓ “8” - DETALHE

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Parafusadas com Chapa de Gusset

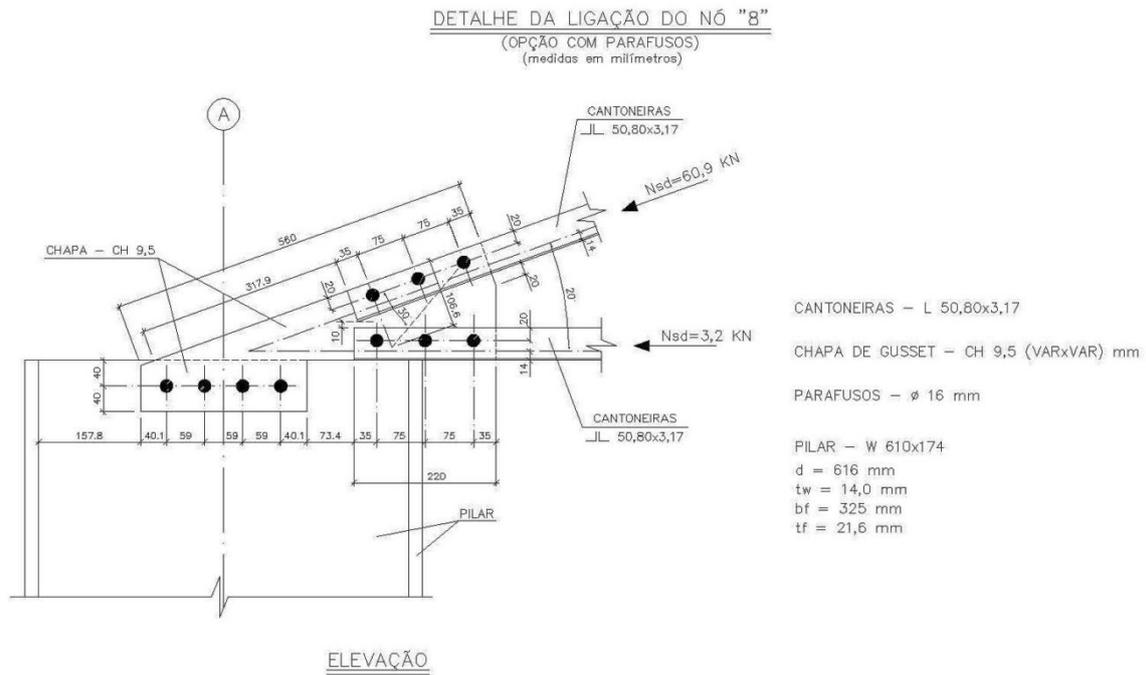


FIGURA – 7.29

## 6 – LIGAÇÃO DO NÓ “8” – MEMÓRIA DE CÁLCULO

Tipo de ligação: Ligação com Cantoneiras Duplas Parafusadas com Chapa de Gusset

- a) MATERIAIS
  - IDEM ITEM “5”
  
- b) DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS
  - IDEM ITEM “5”

- c) VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS AO CISALHAMENTO  
 - IDEM ITEM “5”
- d) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA CHAPA DE GUSSET  
 - IDEM ITEM “5”
- e) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA CANTONEIRA  
 - IDEM ITEM “5”
- f) VERIFICAÇÃO DA COMPRESSÃO NA CHAPA DE GUSSET

$$N_{c,Sd} = 60,9 \text{ Kn (barra mais comprimida)}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

∴  $A_g = 0,95 \times 10,66 = 10,127 \text{ cm}^2$  (área definida pela seção de Whitmore)

∴  $N_e = \pi^2 \cdot E \cdot I / (K \cdot L)^2$  (comprimento L é a distância entre a seção de Whitmore e o ponto mais distante do encontro da chapa com perfil do pilar)

∴  $L = 31,79 \text{ cm}$

∴  $I = 10,66 \times 0,95^3 / 12 = 0,76 \text{ cm}^4$

∴  $N_e = \pi^2 \times 20.000 \times 0,76 / (0,65 \times 31,79)^2 = 351,4 \text{ Kn}$

∴  $Q = 1,0$  (não há instabilidade local)

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1,0 \times 10,127 \times 35}{351,4}}$$

$$\lambda_0 = 1,00 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658$$

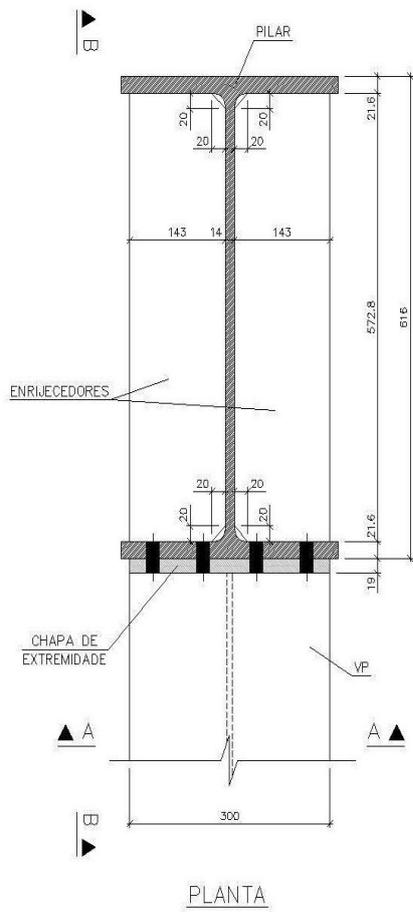
$$N_{c,Rd} = \frac{0,658 \times 1,0 \times 10,127 \times 35}{1,10}$$

$$N_{c,Rd} = 212,0 \text{ Kn}$$

$$N_{c,Sd} = 60,9 \text{ Kn} \leq N_{c,Rd} = 212,0 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

## 7 – LIGAÇÃO DA VIGA DO PÓRTICO “VP” COM O PILAR - DETALHE

Tipo de ligação: Ligação Rígida com Chapa de Extremidade



### DETALHE DA LIGAÇÃO DA VIGA DO PÓRTICO "VP" COM O PILAR

PONTO ANALISADO: NÓ "3"

(medidas em milímetros)

PILAR – W 610x174

d = 616 mm  
 tw = 14,0 mm  
 bf = 325 mm  
 tf = 21,6 mm

VIGA "VP" – VS 600x95

d = 600 mm  
 tw = 8,0 mm  
 bf = 300 mm  
 tf = 12,5 mm

CHAPA DE EXTREMIDADE – CH 19 (300x740) mm

PARAFUSOS –  $\phi$  22 mm

ELETRODO – E70XX

FIGURA – 7.30

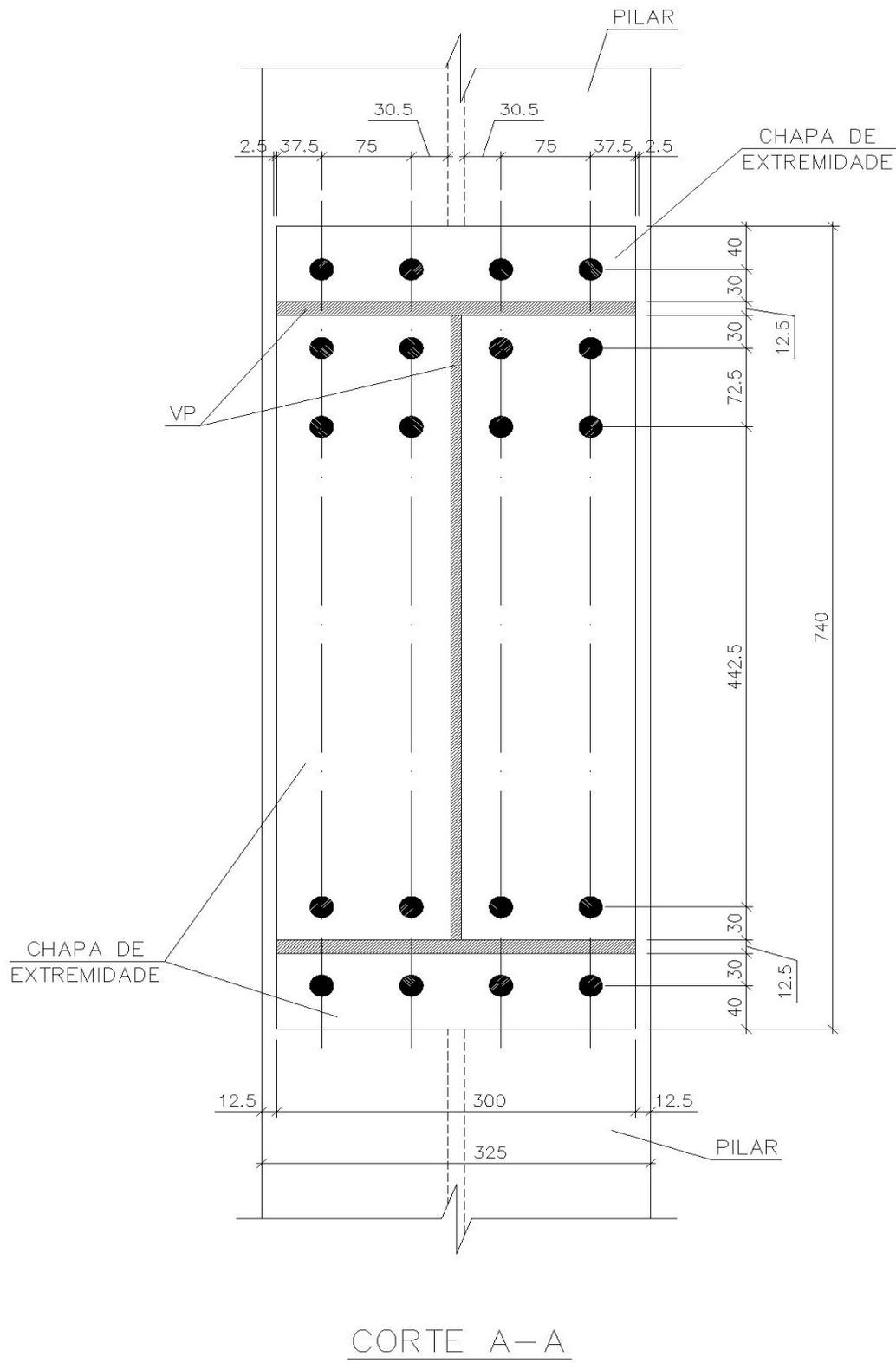


FIGURA – 7.31

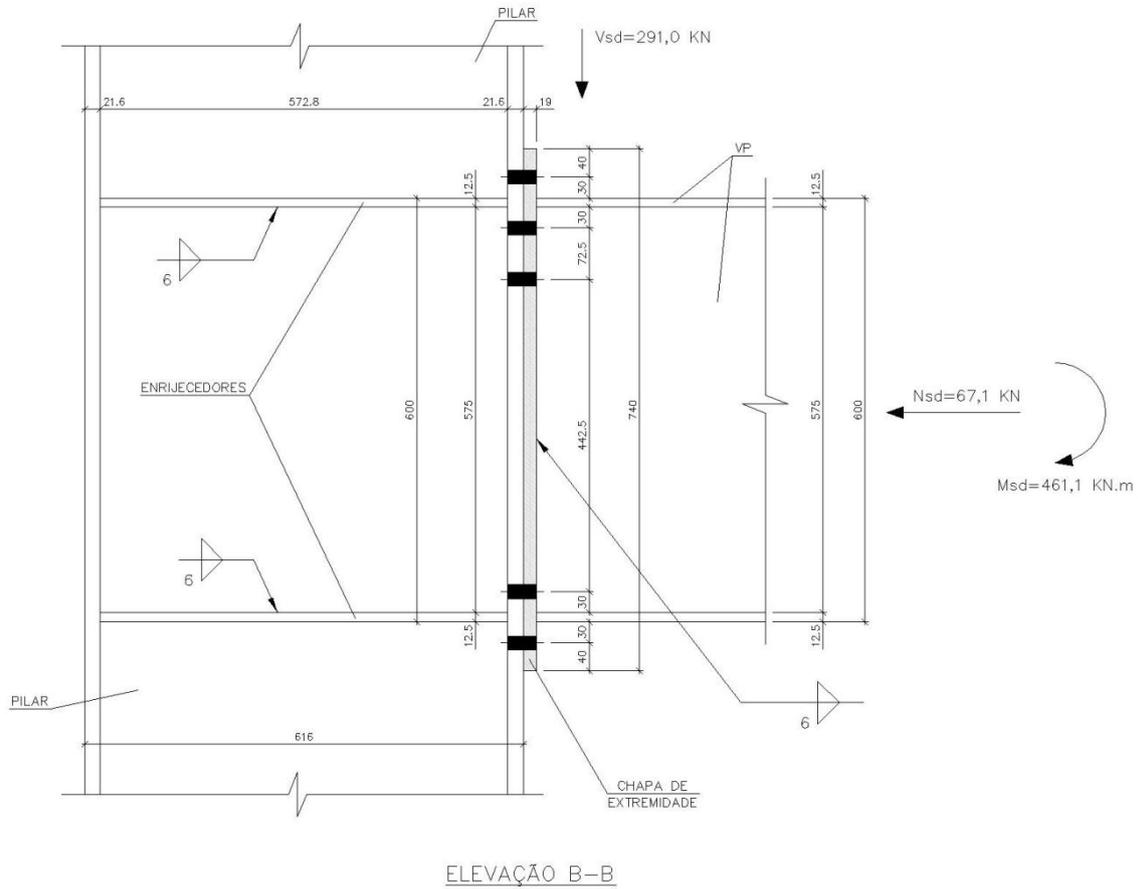


FIGURA – 7.32

## **7 – LIGAÇÃO DA VIGA DO PÓRTICO “VP” COM O PILAR – MEMÓRIA DE CÁLCULO**

Tipo de ligação: Ligação Rígida com Chapa de Extremidade

### a) MATERIAIS

- AÇO USICIVIL 350:  $f_y = 35 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 50 \text{ Kn/cm}^2$   
(Viga e Chapa)

- AÇO ASTM A325:  $f_{yb} = 63,5 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_{ub} = 82,5 \text{ Kn/cm}^2$   
(Parafusos)
- AÇO ASTM A572 (Grau 50):  $f_y = 34,5 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 45 \text{ Kn/cm}^2$   
(Pilar)
- ELETRODO E70xx:  $f_w = 48,5 \text{ Kn/cm}^2$ , compatível com o material acima descrito.

b) DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

- LARGURA TOTAL DOS ENRIJECEDORES:  
300 mm (igual largura mesa da viga) ----- **ATENDE**
- ESPESSURA DOS ENRIJECEDORES:  
12,5 mm (igual espessura mesa da viga) ----- **ATENDE**
- DIMENSÃO MÍNIMA DA PERNA DO FILETE DA SOLDA DA CHAPA DE EXTREMIDADE COM A ALMA DA VIGA:  
 $6,35 \text{ mm} < t = 8,0 \text{ mm} \leq 12,5 \text{ mm}$  -----  $d_{\min} = 5 \text{ mm}$   
 $d_w = 6 \text{ mm} > d_{\min} = 5 \text{ mm}$  ----- **ATENDE**

ONDE:

- $t =$  espessura da chapa mais fina na ligação
- DIMENSÃO MÍNIMA DA PERNA DO FILETE DA SOLDA DO ENRIJECEDOR COM A ALMA DO PILAR:  
 $6,35 \text{ mm} < t = 12,5 \text{ mm} \leq 12,5 \text{ mm}$  -----  $d_{\min} = 5 \text{ mm}$   
 $d_w = 6 \text{ mm} > d_{\min} = 5 \text{ mm}$  ----- **ATENDE**
- DIÂMETRO DO FURO:  
 $d_h = d_b + 1,5 + 2,0$   
 $d_h = 22 + 1,5 + 2,0 = 25,5 \text{ mm}$
- DISTÂNCIA ENTRE FUROS:  
 $3 \cdot d_b \leq e_{ff} \leq \begin{cases} 24 \cdot (\text{menor espessura das partes ligadas}) \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$   
 $3 \times 22 \leq 72,5 \leq \begin{cases} 24 \times 19 \\ 300 \end{cases}$   
 $66 \text{ mm} \leq 72,5 \text{ mm} \leq \begin{cases} 456 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$  ----- **ATENDE**
- DISTÂNCIA ENTRE FUROS E A MESA DA VIGA:  
 $e_{fc} \geq 1,35 \cdot d_b$   
 $30 \geq 1,35 \times 22$   
 $30 \text{ mm} \geq 29,7 \text{ mm}$  ----- **ATENDE**

- DISTÂNCIA ENTRE FUROS E A ALMA DO PILAR (PIOR CASO EM RELAÇÃO À ALMA DA VIGA):

$$e_{fc} \geq 1,35.d_b$$

$$75 - 14 / 2 \geq 1,35 \times 22$$

$$30,5 \text{ mm} \geq 29,7 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- DISTÂNCIA DOS FUROS ÀS BORDAS:

$$1,25.d_b \leq e_{fb} \leq \begin{cases} 12. (\text{menor espessura das partes ligadas}) \\ 150 \text{ mm} \end{cases}$$

$$1,25 \times 22 \leq 37,5 \leq \begin{cases} 12 \times 19 \\ 150 \end{cases}$$

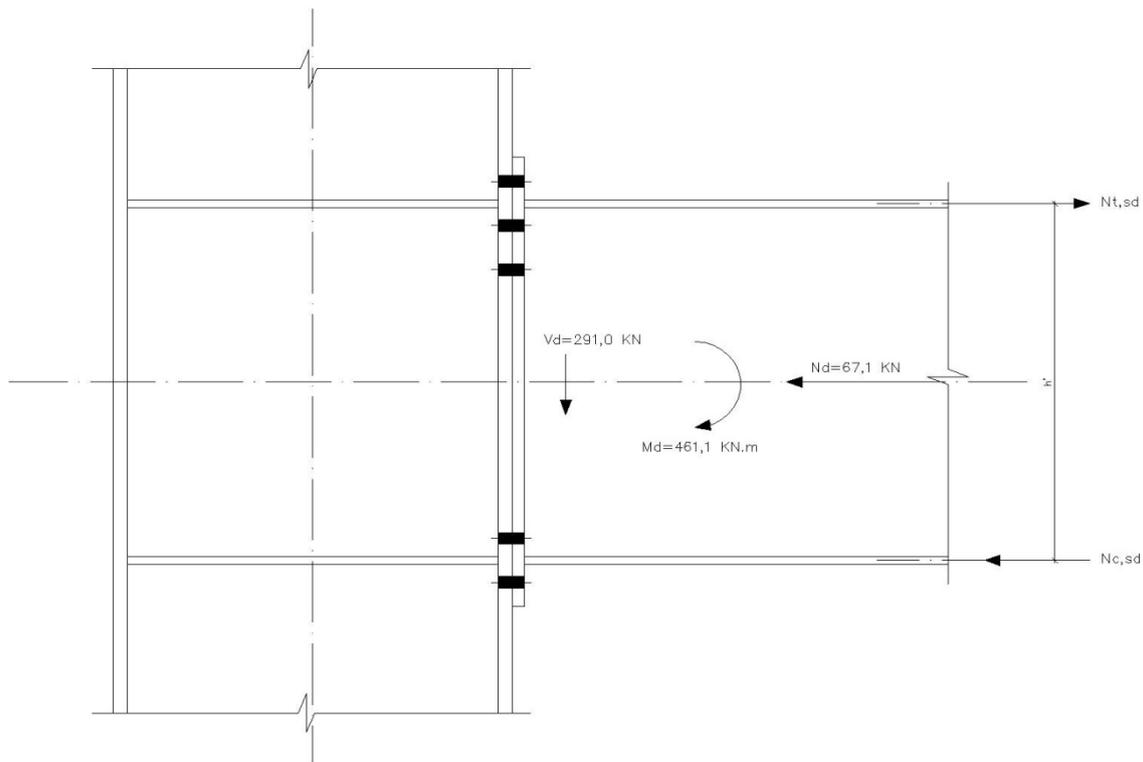
$$27,5 \text{ mm} \leq 37,5 \text{ mm} \leq \begin{cases} 228 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} \end{cases} \text{ ----- ATENDE}$$

- LARGURA DA CHAPA DE EXTREMIDADE:

A largura da chapa de extremidade deve ser adotada com valor entre a largura da viga e a largura da viga + 20 mm.

Largura da chapa de extremidade = 300 mm = largura da viga.

- c) VERIFICAÇÃO DAS MESAS E ALMA DA VIGA E DOS ENRIJECEDORES AOS ESFORÇOS LOCALIZADOS (VER FIGURA – 7.33)



DETALHE PARA VERIFICAÇÃO DAS MESAS E DA ALMA DA VIGA AOS ESFORÇOS LOCALIZADOS – ITEM "c"

FIGURA – 7.33

## c.1) MESA E ENRIJECEDORES SUPERIORES

$$N_{t,Sd} = \frac{M_d}{h'} + \frac{N_d}{2}$$

$$N_{t,Sd} = \frac{46.110}{58,75} + \frac{67,1}{2}$$

$$N_{t,Sd} = 818,4 \text{ Kn}$$

$$N_{t,Rd} = \begin{cases} \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \\ \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \end{cases}$$

$$N_{t,Rd} = \begin{cases} \frac{(30 \times 1,25) \times 35}{1,10} \\ \frac{(30 - 2 - 2) \times 50}{1,35} \end{cases}$$

$$N_{t,Rd} = \begin{cases} 1193,2 \text{ Kn} \\ 963,0 \text{ Kn} \end{cases}$$

$$N_{t,Sd} = 818,4 \text{ Kn} \leq N_{t,Rd} = 963,0 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

## c.2) MESA E ENRIJECEDORES INFERIORES

$$N_{c,Sd} = \frac{M_d}{h'} - \frac{N_d}{2}$$

$$N_{c,Sd} = \frac{46.110}{58,75} - \frac{67,1}{2}$$

$$N_{c,Sd} = 751,3 \text{ Kn}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\therefore Q = Q_s$$

$$\therefore \frac{b}{t} = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{300/2}{12,5} = 12$$

$$\therefore \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,64 \cdot \sqrt{\frac{E_a \cdot K_c}{f_y}} = 0,64 \cdot \sqrt{\frac{20.000 \times 0,47}{35}} = 10,51$$

$$\therefore K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{575/8}} = 0,47$$

$$\therefore \frac{b}{t} = 12 > \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 10,51$$

$$\therefore \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{sup}} = 1,17 \cdot \sqrt{\frac{E_a \cdot K_c}{f_y}} = 1,17 \cdot \sqrt{\frac{20.000 \times 0,47}{35}} = 19,17$$

$$\therefore \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 10,51 < \frac{b}{t} = 12 < \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{sup}} = 19,17$$

$$\therefore Q = Q_s = 1,415 - 0,65 \cdot \frac{b}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E_a \cdot K_c}} = 0,94$$

$\therefore \chi = 1,0$  (a alma restringe a flambagem local da mesa)

$$N_{c,Rd} = \frac{1,0 \times 0,94 \times (1,25 \times 30) \times 35}{1,10} = 1122,0 \text{ Kn}$$

$$N_{c,Sd} = 751,3 \text{ Kn} < N_{c,Rd} = 1122,0 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

d) VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS AO CISALHAMENTO

$$F_{V,Sd} = 291 / 20$$

$$F_{V,Sd} = 14,55 \text{ Kn}$$

$$F_{V,Rd} = 0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub} / \gamma_{a2} \therefore A_b = \pi \cdot d_b^2 / 4 \rightarrow A_b = \pi \cdot 2,2^2 / 4 = 3,80 \text{ cm}^2$$

$$F_{V,Rd} = 0,4 \times 3,80 \times 82,5 / 1,35$$

$$F_{V,Rd} = 92,92 \text{ Kn}$$

$$F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$$

$$14,55 \text{ Kn} < 92,92 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

e) VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS À TRAÇÃO

$$F_{t,Sd} = \frac{F_{Sd}}{n_t} = \frac{818,4}{12} = 68,20 \text{ Kn}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{\phi_a \cdot A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$$\therefore A_{be} = 0,75 \cdot A_b = 0,75 \times 3,80 = 2,85 \text{ cm}^2$$

ONDE:

-  $A_{be}$  = área efetiva de tração

-  $\phi_a$  = fator de redução da força resistente

$$F_{t,Rd} = \frac{0,67 \times 2,85 \times 82,5}{1,35}$$

$$F_{t,Rd} = 116,73 \text{ Kn}$$

$$F_{t,Sd} = 68,20 \text{ Kn} < F_{t,Rd} = 116,73 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

f) VERIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NA CHAPA DE EXTREMIDADE

$$F_{c,Sd} = 14,55 \text{ Kn (ver item "d")}$$

$$l_f \text{ (entre furos)} \rightarrow 72,5 - 19,5 = 53,0 \text{ mm}$$

$l_f$  (entre furo e borda da parte analisada)  $\rightarrow 40 - (19,5 / 2) = 30,25$  mm.

$l_f$  adotado será o menor, ou seja,  $30,25$  mm =  $3,03$  cm.

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$\leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u / \gamma_{a2}$$

$$F_{c,Rd} \leq 1,2 \times 3,03 \times 1,9 \times 50 / 1,35$$

$$\leq 2,4 \times 1,6 \times 1,9 \times 50 / 1,35$$

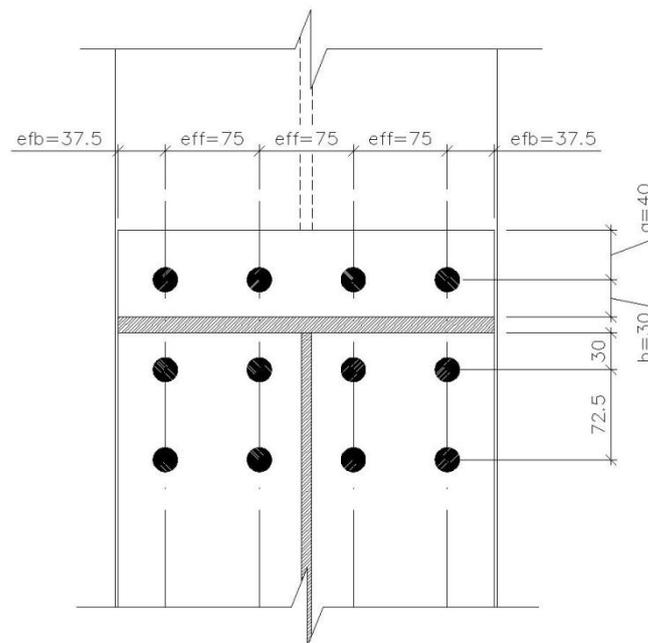
$$F_{c,Rd} \leq 255,87 \text{ Kn} \rightarrow \text{adotado}$$

$$\leq 270,22 \text{ Kn}$$

$$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$$

$$14,55 \text{ Kn} < 255,87 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

g) VERIFICAÇÃO DA FLEXÃO DA CHAPA DE EXTREMIDADE DEVIDO AO EFEITO ALAVANCA (VER FIGURA - 7.34)



DETALHE PARA VERIFICAÇÃO DA FLEXÃO DA CHAPA DE EXTREMIDADE DEVIDO AO EFEITO ALAVANCA – ITEM "g"

FIGURA – 7.34

$$a = 4 \text{ cm} > b = 3 \text{ cm} \text{ ----- ATENDE}$$

$$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot b$$

$$M_{Sd} = 68,20 \times 3$$

$$M_{Sd} = 204,60 \text{ Kn}$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{p \cdot t^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{a1}}$$

$$\therefore p \leq \left\{ b + 0,5 \cdot d_b \right\} + \leq \left\{ b + 0,5 \cdot d_b \right\}^{e_{ff}/2}$$

$$\therefore p \leq \left\{ 3 + 0,5 \times 2,2 \right\} + \leq \left\{ 3 + 0,5 \times 2,2 \right\}^{7,5/2}$$

$$\therefore p \leq \left\{ 3,75 \right\} + \leq \left\{ 4,10 \right\}$$

$$\therefore p = 3,75 + 3,75 = 7,50 \text{ cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{7,5 \times 1,9^2 \times 34,5}{4 \times 1,10} = 212,29 \text{ Kn.cm}$$

$$M_{Sd} = 204,60 \text{ Kn.cm} < M_{Rd} = 212,29 \text{ Kn.cm} \text{ ----- ATENDE}$$

#### h) VERIFICAÇÃO DO CORTANTE NA ALMA DO PILAR

A alma do pilar deve ser verificada à força cortante introduzida pelo momento solicitante.

$$V_{Sd} = 818,4 \text{ Kn}$$

$$\lambda = h / t_w$$

$$\lambda = 57,28 / 1,4$$

$$\lambda = 40,91$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{E_a \cdot K_v}{f_y}}$$

$$\therefore a / h = 58,75 / 57,28 = 1,03 \leq \left\{ \left[ \frac{260}{(h/t_w)} \right]^2 \right\}^3$$

$$\therefore a / h = 1,03 \leq \left\{ \left[ \frac{260}{(57,28/1,4)} \right]^2 \right\}^3$$

$$\therefore a/h = 1,03 \leq \begin{cases} 3 \\ 40,39 \end{cases}$$

$$\therefore K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{1,03^2} = 9,71$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{20.000 \times 9,71}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 82,54$$

$$\lambda = 40,91 < \lambda_p = 82,54$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$\therefore A_w = d \cdot t_w = 61,6 \times 1,4 = 86,24 \text{ cm}^2$$

$$\therefore V_{pl} = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y = 0,6 \times 86,24 \times 34,5 = 1785,17 \text{ Kn}$$

$$V_{Rd} = \frac{1.785,17}{1,10}$$

$$V_{Rd} = 1622,88 \text{ Kn}$$

$$V_{Sd} = 818,4 \text{ Kn} < V_{Rd} = 1622,88 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

## i) VERIFICAÇÃO DOS ENRIJECEDORES

### i.1) TRAÇÃO E COMPRESSÃO

A tração e compressão nos enrijecedores já foram verificadas, uma vez que os mesmos têm espessura e largura total iguais às mesas da viga.

### i.2) CISALHAMENTO

É necessário verificar a capacidade de transferir as forças de cisalhamento para a alma do pilar.

$$F_{Sd} = 818,4 / 2$$

$$F_{Sd} = 409,20 \text{ Kn}$$

$$F_{Rd} \leq \begin{cases} \frac{0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \\ \frac{0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_y}{\gamma_{a2}} \end{cases}$$

ONDE:

- $A_{gv}$  = área bruta sujeita ao cisalhamento
- $A_{nv}$  = área líquida sujeita ao cisalhamento

$$F_{Rd} \leq \begin{cases} \frac{0,6 \times (1,25 \times 57,28) \times 34,5}{1,10} \\ \frac{0,6 \times [(1,25 \times 57,28) - (1,25 \times 2 \times 2)] \times 45}{1,35} \end{cases}$$

$$F_{Rd} \leq \begin{cases} 1347,38 \\ 1332,00 \end{cases}$$

$$F_{Rd} = 1332,00 \text{ Kn}$$

$$F_{Sd} = 409,20 \text{ Kn} < F_{Rd} = 1332,00 \text{ Kn} \text{ ----- ATENDE}$$

j) VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS

j.1) VERIFICAÇÃO DA SOLDA ENTRE A CHAPA DE EXTREMIDADE E A ALMA DA VIGA.

j.1.1) ESFORÇOS SOLICITANTES NA SOLDA

A força  $F_{y,Sd}$  age no plano do grupo de solda gerando apenas tensões cisalhantes.

$$\tau_{w,Sd} = \sqrt{\tau_{w,x,Sd}^2 + \tau_{w,y,Sd}^2}$$

$$\tau_{w,x,Sd} = 0 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\tau_{w,y,Sd} = \frac{F_{y,Sd}}{A_w} + \left( \frac{M_{z,Sd}}{I_z} \cdot y \right)$$

$$\therefore a_w = 0,707 \cdot d_w \rightarrow a_w = 0,707 \times 0,6 = 0,42 \text{ cm}$$

$$\therefore A_w = \Sigma l_w \cdot a_w \rightarrow A_w = 2 \times 57,5 \times 0,42 = 48,3 \text{ cm}^2$$

$$\therefore F_{x,Sd} = 0 \text{ Kn}$$

$$\therefore F_{y,Sd} = 291 \text{ Kn}$$

$$\therefore M_{z,Sd} = 0 \text{ Kn.cm}$$

$$\tau_{w,y,Sd} = \frac{291}{48,3} + 0$$

$$\tau_{w,y,Sd} = 6,02 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\tau_{w,Sd} = \sqrt{0^2 + 6,02^2}$$

$$\tau_{w,Sd} = 6,02 \text{ Kn/cm}^2$$

Também atuam tensões normais na solda da alma devido ao momento e a carga axial aplicados. Fazendo-se uma proporção com a tensão na mesa, tem-se, aproximadamente, a tensão normal na alma.

$$\sigma_{w,Sd} = \frac{818,4}{1,25 \times 30} + \frac{57,5}{58,75} + \frac{0,8}{2 \times 0,42}$$

$$\sigma_{w,Sd} = 20,34 \text{ Kn/cm}^2$$

j.1.2) VERIFICAÇÃO DO METAL DA SOLDA

$$\tau_{w,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_w}{\gamma_{w2}}$$

$$\tau_{w,Rd} = \frac{0,6 \times 48,5}{1,35}$$

$$\tau_{w,Rd} = 21,56 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\tau_{w,Sd} = 6,02 \text{ Kn/cm}^2 < \tau_{w,Rd} = 21,56 \text{ Kn/cm}^2 \text{ ----- ATENDE}$$

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_w}{\gamma_{w2}}$$

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{0,6 \times 48,5}{1,35}$$

$$\sigma_{w,Rd} = 21,56 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Sd} = 20,34 \text{ Kn/cm}^2 < \sigma_{w,Rd} = 21,56 \text{ Kn/cm}^2 \text{ ----- ATENDE}$$

$$\sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2} = \sqrt{20,34^2 + 6,02^2} = 21,21 \text{ Kn/cm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2} = 21,21 \text{ Kn/cm}^2 < 21,56 \text{ Kn/cm}^2 \text{ -ATENDE}$$

j.1.3) VERIFICAÇÃO DA RUPTURA NA REGIÃO DA SOLDA

- NA ALMA DA VIGA

$$t \geq 2,25 \cdot n \cdot a_w \cdot f_{w,res,Sd} / m \cdot f_u$$

ONDE:

- n = número de soldas na região

- m = número de linhas de ruptura que podem ocorrer na chapa verificada

$$f_{w,res,Sd} = \sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$$

$$f_{w,res,Sd} = 21,21 \text{ Kn/cm}^2$$

$$0,8 \geq \frac{2,25 \times 2 \times 0,42 \times 21,21}{1 \times 50}$$

$$0,8 \geq 0,8 \text{ cm ----- ATENDE}$$

- NA CHAPA DE EXTREMIDADE

$$1,9 \geq \frac{2,25 \times 2 \times 0,42 \times 21,21}{2 \times 50}$$

$$1,9 \geq 0,4 \text{ cm ----- ATENDE}$$

## 8 – LIGAÇÃO DA BASE DO PILAR - DETALHE

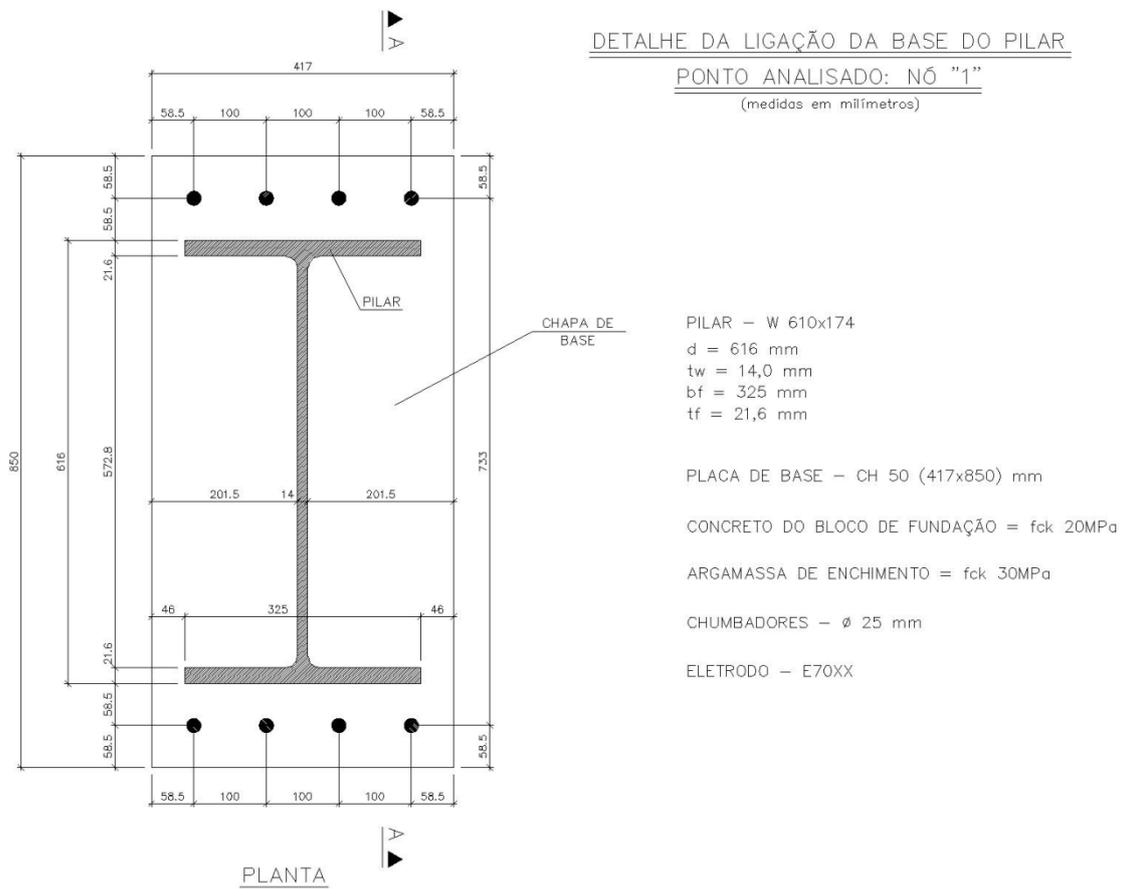


FIGURA – 7.35

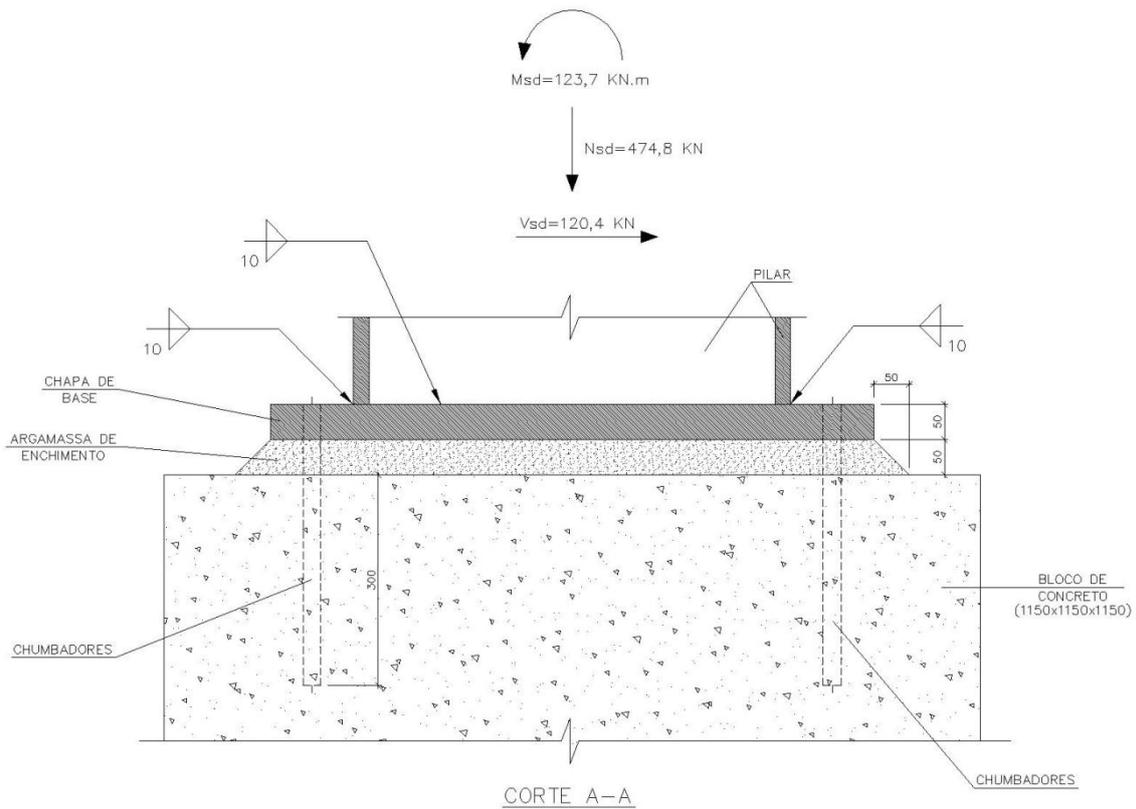


FIGURA – 7.36

## **8 – LIGAÇÃO DA BASE DO PILAR – MEMÓRIA DE CÁLCULO**

### a) MATERIAIS

- AÇO ASTM A572 (Grau 50):  $f_y = 34,5 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_u = 45 \text{ Kn/cm}^2$   
(Pilar e Chapa de Base)
- AÇO ASTM A36:  $f_{y_b} = 25 \text{ Kn/cm}^2$  e  $f_{u_b} = 40 \text{ Kn/cm}^2$   
(Chumbadores)
- ELETRODO E70xx:  $f_w = 48,5 \text{ Kn/cm}^2$
- CONCRETO DO BLOCO DE FUNDAÇÃO:  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$
- ARGAMASSA DE ENCHIMENTO:  $f_{ck} = 45 \text{ Mpa}$

b) DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

b.1) CHUMBADORES

- DIÂMETRO:

$$19 \text{ mm} \leq d_{ch} = 25 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- TABELA 11.1:

$$h_2 = 200 \text{ mm}$$

$$r_1 = 225 \text{ mm}$$

$$r_2 = 50 \text{ mm}$$

$$df = 200 \text{ mm}$$

arruela especial com furo padrão, com espessura de 12,5 mm e dimensões 75 x 75 mm, além de arruela normal de 4 mm.

-  $n_t = 4 \geq 2$  chumbadores de cada lado da placa ----- **ATENDE**

- COMPRIMENTO DE ANCORAGEM:

$$h_a \geq 12 \cdot d_{ch}$$

$$h_a \geq 12 \times 25$$

$$h_a \geq 300 \text{ mm}$$

$$h_a = 300 \text{ mm}$$

b.2) PLACA DE BASE

- DISTÂNCIA ENTRE CENTRO DO FURO E BORDA E ENTRE CENTRO DE FURO E MESA DO PILAR:

$$a_1 = 58,5 \text{ mm} \geq 2 \cdot d_{ch}$$

$$a_1 = 58,5 \text{ mm} \geq 2 \times 25$$

$$a_1 = 58,5 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- DISTÂNCIA ENTRE CENTROS DOS FUROS:

$$a_2 \text{ (paralela à mesa)} = 100 \text{ mm} \geq 4 \cdot d_{ch}$$

$$a_2 \text{ (paralela à mesa)} = 100 \text{ mm} \geq 4 \times 25$$

$$a_2 \text{ (paralela à mesa)} = 100 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

$$a_3 \text{ (paralela à alma)} = 733 \text{ mm} \geq 4 \cdot d_{ch}$$

$$a_3 \text{ (paralela à alma)} = 733 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- DIMENSÕES:

$$d = 616 \text{ mm} \leq H = 850 \text{ mm} \leq d + 4 \cdot a_1$$

$$d = 616 \text{ mm} \leq H = 850 \text{ mm} \leq 616 + 4 \times 58,5$$

$$d = 616 \text{ mm} \leq H = 850 \text{ mm} \leq 850 \text{ mm}$$

$$bf = 325 \text{ mm} \leq B = 417 \text{ mm} \leq bf + 2 \cdot a_1$$

$$bf = 325 \text{ mm} \leq B = 417 \text{ mm} \leq 325 + 2 \times 58,5$$

$$bf = 325 \text{ mm} \leq B = 417 \text{ mm} \leq 442 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

$$t_{pb} = 50 \text{ mm} \geq t_{pb \text{ min}} = 19 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

b.3) BLOCO DE CONCRETO

- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BLOCO DE FUNDAÇÃO:

$$f_{ck_{bloco}} = 20 \text{ Mpa} \geq 20 \text{ Mpa} \text{ ----- ATENDE}$$

b.4) ENCHIMENTO

- ALTURA:

$$a_g = 50 \text{ mm para } d_{ch} \leq 25 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO ENCHIMENTO:

$$f_{ck_{enc}} = 30 \text{ Mpa} (1,5 f_{ck_{bloco}}) \text{ ----- ATENDE}$$

b.5) BARRA DE CISALHAMENTO

Se toda a força cortante for absorvida pelo atrito, o que ocorre se  $V_{at}$  for pelo menos igual a  $V_{sd}$ , a barra de cisalhamento pode ser dispensada (VER ITEM c.2).

b.6) SOLDA

- DIMENSÃO MÍNIMA DA PERNA DO FILETE:

$$12,5 \text{ mm} < t = 14,0 \text{ mm} \leq 19,0 \text{ mm} \text{ ----- } d_{min} = 6 \text{ mm}$$

$$d_w = 10 \text{ mm} > d_{min} = 6 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

$$5/7.t = 5 / 7 \times 14 = 7,07 \text{ mm} \leq d_w = 10 \text{ mm} \text{ ----- ATENDE}$$

c) SOLICITAÇÕES NA BASE

c.1) FORÇA DE COMPRESSÃO MÁXIMA

$$e = |M_{sd} / N_{c,sd}|$$

$$e = |12370 / 474,8|$$

$$e = 26,05 \text{ cm}$$

$$e_{crit} = \frac{1}{2} \cdot (H - N_{c,sd} / B \cdot \sigma_{c,Rd})$$

$$\sigma_{c,Rd} = f_{ck} / \gamma_c \cdot \gamma_n = 2,0 / 1,4 \times 1,4 = 1,02 \text{ Kn/cm}^2$$

$$e_{crit} = \frac{1}{2} \cdot (85 - 474,8 / 41,7 \times 1,02)$$

$$e_{crit} = 36,92 \text{ cm}$$

$$e = 26,05 \text{ cm} < e_{crit} = 36,92 \text{ cm}$$

$$Y = H - 2 \cdot e$$

$$Y = 85 - 2 \times 26,05$$

$$Y = 32,90 \text{ cm}$$

$$F_{t,Sd} = 0 \text{ Kn}$$

$$\sigma_{c,Sd} = N_{c,Sd} / Y \cdot B$$

$$\sigma_{c,Sd} = 474,8 / 32,9 \times 41,7$$

$$\sigma_{c,Sd} = 0,35 \text{ Kn/cm}^2$$

c.2) ESFORÇOS HORIZONTAIS

$$V_{at} \leq 0,7 \cdot \mu \cdot N_{c,Sd} \rightarrow 0,7 \times 0,55 \times 474,8 = 182,80 \text{ Kn}$$

$$\leq 0,2 \cdot f_{ck} \cdot Y \cdot B \rightarrow 0,2 \times 2,0 \times 32,9 \times 41,7 = 548,77 \text{ Kn}$$

$$V_{at} = 182,80 \text{ Kn}$$

$$V_{Sd} - V_{at} = 120,40 - 182,80 = -62,40 \text{ Kn} < 0$$

O atrito absorve todo o esforço.

d) VERIFICAÇÃO DO CONCRETO DO BLOCO DE FUNDAÇÃO

$$\sigma_{c,Sd} = 0,35 \text{ Kn/cm}^2 < \sigma_{c,Rd} = 1,02 \text{ Kn/cm}^2$$

- DIMENSÕES:

$$H_b = 115 \geq H + 11 \cdot d_{ch} \rightarrow 85 + 11 \times 2,5 = 112,5 \text{ cm} \text{ ATENDE}$$

$$B_b = 115 \geq B + 11 \cdot d_{ch} \rightarrow 41,7 + 11 \times 2,5 = 69,2 \text{ cm} \text{ ATENDE}$$

$$A_b = 115 \geq h_a + 20 \text{ cm} \rightarrow 30 + 20 = 50 \text{ cm} \text{ ATENDE}$$

$$\geq H_b \rightarrow = 115 \text{ cm}$$

e) VERIFICAÇÃO DOS CHUMBADORES À TRAÇÃO

Não há força de tração.

f) VERIFICAÇÃO DA PLACA DE BASE

$$M_{pb,Rd} = t^2 \cdot f_y / 4 \cdot \gamma_{a1}$$

$$M_{pb,Rd} = 5^2 \times 34,5 / 4 \times 1,10$$

$$M_{pb,Rd} = 196,02 \text{ Kn.cm/cm}$$

f.1) ESFORÇOS APLICADOS POR MEIO DA COMPRESSÃO NO CONCRETO

$$m \geq \begin{cases} m1 = \frac{H - 0,95 \cdot d}{2} \\ m2 = \frac{B - 0,8 \cdot bf}{2} \\ m3 = \frac{\sqrt{d \cdot bf}}{4} \end{cases}$$

$$m_1 = 85 - 0,95 \times 61,6 / 2 = 13,24 \text{ cm}$$

$$m_2 = 41,7 - 0,8 \times 32,5 / 2 = 7,85 \text{ cm}$$

$$m_3 = \sqrt{61,6 \times 32,5} / 4 = 11,19 \text{ cm}$$

$$\text{logo, } m = 13,24 \text{ cm}$$

$$Y = 32,90 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,Sd} = 0,35 \text{ Kn/cm}^2$$

$$Y = 32,90 > m = 13,24 \rightarrow m = 13,24 \text{ cm}$$

$$M_{pb,sd} = \sigma_{c,sd} \cdot m^2 / 2$$

$$M_{pb,sd} = 0,35 \times 13,24^2 / 2$$

$$M_{pb,sd} = 30,68 \text{ Kn.cm/cm}$$

$$M_{pb,sd} = 30,68 \text{ Kn.cm/cm} < M_{pb,Rd} = 196,02 \text{ Kn.cm/cm} \text{ ATENDE}$$

f.2) ESFORÇOS APLICADOS PELO ARRANCAMENTO DOS  
CHUMBADORES

Não há força de tração.

g) VERIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS HORIZONTAIS

Não será necessário verificar, uma vez que o atrito absorve todo o esforço horizontal (VER ITEM c.2).

h) VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS

Não será necessário verificar, pois foi usada solda de filete com perna de solda maior que  $5/7.t$  (VER ITEM b.6).