



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia



Especialização em Estruturas

TRABALHO FINAL

**CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DE
PERFIS EM CHAPA FINA – FORMADOS A
FRIO**

Professor: Francisco Carlos Rodrigues

Aluno: Igor Justino Vidotti

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>FOLHA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVO	5
3	PROGRAMAS UTILIZADOS	5
4	DESENVOLVIMENTO	6
5	CONCLUSÃO	41
6	NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS	42
7	ANEXOS	43

1 INTRODUÇÃO

Perfis formados a frio, são aqueles obtidos através de dobramento de chapas ou bobinas contínuas de aço estrutural. Para serem considerados de chapa fina devem possuir espessura máxima de 8mm.

Na figura abaixo vemos um exemplo construção que utiliza perfil dobrado em chapa fina (steel framing):



Figura 1 – Estrutura de residência em Light Steel Framing, São Paulo. (Fonte: Manual de construção em Aço)

A utilização de estruturas com perfis em chapa fina no Brasil não é ainda muito comum, isto se deve à questões culturais de nosso país, visto que na Europa e Estados Unidos estes são largamente empregados.

Podemos destacar como uma grande vantagem na utilização destes perfis na construção, a economia de tempo, execução e custos, assim como à flexibilidade de utilização dos espaços construídos.

Entre as possíveis vantagens deste tipo de estrutura pode – se citar:

- Simplificação na execução da obra. Devido a grande diversidade de opções que podem ir prontas para o canteiro de obras, tais como módulos de banheiros, cozinhas, quartos e etc;
- Facilidade de montagem das estruturas em obra, limpeza e o mínimo desperdício de materiais, destacando-se ainda que a grande parte das sobras destes materiais é reciclável;
- Maior facilidade no transporte dos materiais dentro do canteiro de obras;
- Redução do peso total da estrutura, reduzindo-se assim os custos com fundações robustas;

Algumas desvantagens podem ser observadas no uso de perfis formados a frio, fazendo com que a sua utilização tenha que ser bem estudada e comparada com outros tipos de métodos estruturais, antes de sua adoção pura e simplesmente. Um grande fator determinante para utilização deste método e a comparação dos custos com outros métodos construtivos antes de se optar pelos perfis de chapa fina.

Com base nos resultados disponíveis na literatura, quando comparadas às estruturas usuais, as configurações geométricas dos perfis são de grande importância nas resistências finais e redução de custo total da obra. Torna-se necessário, então, um cálculo criterioso para se tornar a estrutura economicamente viável e competitiva frente as outras opções utilizadas em larga escala no mercado Brasileiro.

2 OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver o cálculo dos perfis solicitados aos esforços já calculados demonstrando como a geometria destes influencia na resistência final aos esforços calculados.

3 PROGRAMAS UTILIZADOS

Foram utilizados os dados de sistema estrutural e combinações de ações passadas pelo professor da disciplina, não sendo possível a determinação do software utilizado.

4 DESENVOLVIMENTO

Os cálculos dos esforços nas barras foram fornecidos pelo professor, já os demais cálculos das barras foram feitos manualmente seguindo-se as prescrições da NBR 14762 / 2001.

Os anexos contemplam o sistema estrutural, o esquema da estrutura e as tabelas de esforços e combinações fornecidos, quanto aos cálculos efetuados segundo a NBR, seguem abaixo.

4.1 - Dimensionamento da cobertura – Corda superior CS 14.

Verificação a compressão

$$Nd = 87,35 \text{ kn (compressão)}$$

$$L = 320 \text{ cm}$$

Pré-dimensionamento

$$\lambda = \frac{L}{r} \leq 200 \therefore r \geq \frac{320}{200} = 1,60 \text{ cm}$$

$$Nc, Rd = \frac{\rho \cdot Aef \cdot fy}{\gamma} \therefore A \geq \frac{Nd \cdot \gamma}{fy \cdot \rho} \quad A = \frac{87,35 \times 1,1}{25 \times 0,4} = 9,61 \text{ cm}^2$$

Adotaremos perfil: Ue 200x100x25x2,65

$$A=11,46 \quad I_x=750,68 \text{ cm}^4 \quad I_y=157,20 \text{ cm}^4 \quad I_t=0,263 \text{ cm}^4 \quad b_w=200 \text{ mm} \quad W_x=75,07 \text{ cm}^3$$

$$W_y=23,51 \text{ cm}^3 \quad C_w=13447,29 \text{ cm}^6 \quad b_f=100 \text{ mm} \quad r_x=8,09 \text{ cm} \quad r_y=3,70 \text{ cm} \quad r_0=11,89 \text{ cm}$$

$$x_0=7,89 \text{ cm} \quad D=25 \text{ mm} \quad t_n=2,65 \text{ mm}$$

$$\sigma = \rho \cdot fy$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 20500 \times 750,68}{(1 \times 320)^2} = 1483,23 \text{ KN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 157,20 \times 20500}{(1 \times 320)^2} = 310,60 \text{ KN}$$

$$N_{et} = 1/(11,89)^2 \left[7892,5 \times 0,268 + \frac{\pi^2 \times 20500 \times 13447,29}{(1 \times 320)^2} \right]$$

$$N_{et} = 202,90 \text{ KN}$$

$$N_{e_{xt}} = \frac{1483,23+310,60}{2 \times \left[1 - \left(\frac{7,89}{11,89}\right)^2\right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 1483,23 \times 310,60 \times \left[1 - \left(\frac{7,89}{11,89}\right)^2\right]}{(1483,23+310,60)^2}} \right]$$

$$N_{e_{xt}} = 281,55 \text{KN}$$

$$\text{Adotaremos } N_e = 202,90 \text{KN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{11,46 \times 25}{202,90}} = 1,18 \rightarrow \text{curva } b \rightarrow \rho = 0,489$$

$$\sigma = \rho \cdot f_y = 0,489 \times 25 = 12,23 \text{ KN/cm}^2$$

Determinação da área efetiva A_{ef}

Verificação da Alma

$$b = 20 - 4 \times (0,265) = 18,94 \text{cm}$$

$$k = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{18,94}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{12,23}\right)^{0,5}} = 0,918 > 0,673 \text{ (flamba local)}$$

$$b_{ef} = 18,94 \times \frac{1}{0,918} \times \left(1 - \frac{0,22}{0,918}\right) = 15,68 \text{cm} \quad b = b_{ef} = 15,68 \text{cm}$$

Verificação da mesa

$$b = 10 - 4 \times (0,265) = 8,94 \text{cm}$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{8,94}{0,265}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{12,23}\right)^{0,5}} = 1,32 > 0,673 \text{ (caso II)}$$

$$d = 2,5 - 2 \times (0,265) = 1,97 \text{cm}$$

$$I_s = 0,1688 \text{cm}^4$$

$$I_a = 400 \times (0,265)^4 \times (0,49 \times 1,32 - 0,33)^3 = 0,0627 \text{cm}^4$$

$$D = 2,5 \text{cm}$$

$$\frac{D}{b} = 0,28 < 0,8$$

$$K_a = 5,25 - 5 \times (0,28) \leq 4,0$$

$$K_a = 3,85$$

$$\text{Sendo } K_a = 6,04 < K_a \rightarrow K = K_a = 3,85$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{8,94}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{3,85 \times 20500}{12,23}\right)^{0,5}} = 0,442 > 0,673 \text{ (não flamba local)}$$

$$b_{ef} = b = 8,94 \text{ cm}$$

Verificação do enrijecedor

$$d = 1,97 \text{ cm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{1,97}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{12,23}\right)^{0,5}} = 0,291 > 0,673 \text{ (não flamba local)}$$

$$\text{Sendo } I_s > I_a$$

$$d_{ef} = d = 1,97 \text{ cm}$$

Área efetiva

$$A_{ef} = (15,86 + 2 \times 8,94 + 2,197 + 4 \times 1,57 \times 0,3975) \times 0,265$$

$$A_{ef} = 10,60 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,480 \times 10,60 \times 25}{1,1} = 117,80 \text{ KN} > 87,35 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Determinação de $N_{0,Rd}$

$$\sigma = 1,25 = 25 \text{ KN/cm}^2$$

Determinação de A_{ef}

Verificação da Alma

$$b = 20 - 4 \times (0,265) = 18,94; K = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{18,94}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 1,314 > 0,673 \text{ (não flamba local)}$$

$$b_{ef} = 18,94 \times \frac{1}{1,314} \times \left(1 - \frac{0,22}{1,314}\right) = 12 \text{ cm}$$

Verificação da mesa

$$b = 10 - 4 \times (0,265) = 8,94 \text{ cm}$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{8,94}{0,265}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{25}\right)^{0,5}} = 1,89$$

Caso II

$$d = 2,5 - 2 \times (0,265) = 1,97 \text{ cm}$$

$$I_a = 400 \times (0,265)^4 \times [0,49 \times 1,89 - 0,33]^3 = 0,4178 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 0,1688 \text{ cm}^4$$

$$\frac{D}{b} = 0,28 < 0,8$$

$$K_a = 5,25 - 5 \times (0,28) \leq 4,0$$

$$K_a = 3,85$$

$$K = \left(\frac{0,1688}{0,4178}\right)^{0,5} \times (3,85 - 0,43) + 0,43 = 2,60$$

$$K = 2,60 < K_a \rightarrow K = 2,60$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{8,94}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{2,60 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,769 > 0,673$$

$$b_{ef} = 8,94 \times \frac{1}{0,769} \times \left(1 - \frac{0,22}{0,769}\right) = 5,45 \text{ cm}$$

Verificação do enrijecedor

$$d = 1,97 \text{ cm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{1,97}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,4167 < 0,673 \text{ (não flamba local)}$$

$$I_s > I_a$$

$$d_{ef} = d = 1,97 \text{ cm}$$

Área efetiva

$$A_{ef} = (12 + 2 \times 5,45 + 2 \times 1,97 + 4 \times 1,57 \times 0,3975) \times 0,265 = 7,77 \text{ cm}^2$$

$$N_{0,Rd} = \frac{1 \times 7,77 \times 25}{1,1} = 176,68 \text{ KN} > 87,35 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação a flambagem por distorção

$$\frac{b_f}{b_w} = 0,5$$

$$\frac{b_w}{t} = 75,47$$

Tabela D1 – NBR 14762

$\frac{b_f}{b_w} = 0,5$	$\frac{b_w}{t}$	$\frac{D}{b_w}$	X=0,082
	50	0,115	
	75,47	X	
	100	0,05	

$$\text{Como } \frac{D}{b_{w \min}} = 0,082 \text{ e } \frac{D}{b_w} = 0,125 > 0,082$$

→ não é necessário a verificação da flambagem por distorção

Verificação a tração

$$N_d = 11,47 \text{ KN (tração)}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma} = \frac{11,46 \times 25}{1,1} = 260,45 \text{ KN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t \times A_n \times f_u}{\gamma} \rightarrow \text{Sendo ligação soldada } A_n = A \quad C_t = 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{1 \times 11,47 \times 40}{1,1} = 417,09 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação da solda

$$A_n = A = 11,46 \text{ cm}^2 \rightarrow C_t = 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{1 \times 11,47 \times 40}{1,35} = 339,85 \text{ KN}$$

$$\frac{2 \times L}{t} = \frac{2 \times 25}{2,65} = 18,87 < 25$$

$$F_{rd} = \frac{\left[1 - \frac{0,01 \times L}{t}\right] \times t \times L \times f_u}{\gamma} = \frac{\left[1 - \frac{0,01 \times 25}{2,65}\right] \times 2,65 \times 25 \times 40}{1,65} = 1454,55 \text{ KN} \rightarrow$$

$$339,85 < 1454,55 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

4.2 - Dimensionamento do pilar – Pilar P - 01

Esforços atuantes

$$V_{sd} = 89,17 \text{ KN}$$

$$N_{c,sd} = 498,92 \text{ KN}$$

$$M_{sd} = 308,93 \text{ KN} \times m$$

$$L = 3,2 \text{ m} = 320 \text{ cm}$$

Pré-dimensionamento

$$\delta_{\text{máx}} \leq \frac{H}{400} = \frac{320}{400} = 0,8 \text{ cm}$$

Determinação de $q = \text{cortante} = 89,17 \text{ KN}$

$$q = \frac{89,17}{320} = 0,3 \text{ KN/cm}$$

$$I_{\text{mín}} \geq \frac{5 \times 0,3 \times 320^4}{384 \times 20500 \times 0,8} = 2497,56$$

$$r_{\text{mín}} \geq \frac{l_{fl}}{200} = \frac{320}{200} = 1,6$$

$$N_{c,sd} = 498,92 \rightarrow \rho = 1,0$$

$$A_g \geq \frac{498,92}{10 \times 25 / 1,1} = 21,95 \text{ cm}^2$$

Escolha do perfil: adotaremos CX 300x170x25x3,75

$$A_g = 37,12 \quad I_x = 4780,20 \text{ cm}^4 \quad I_y = 1795,80 \text{ cm}^4 \quad I_t = 3935,30 \text{ cm}^4 \quad W_x = 318,70 \text{ cm}^3$$

$$W_y = 211,30 \text{ cm}^3 \quad C_w = 13849,50 \text{ cm}^6 \quad r_x = 11,35 \text{ cm} \quad r_y = 6,96 \text{ cm}$$

Compressão

$$N_{c,sd} = 498,92 \text{ KN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 20500 \times 1795,80}{(0,8 \times 320)^2} = 5544,11 \text{ KN}$$

$$r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 = \sqrt{11,35^2 + 6,96^2 + 0^2} = 13,31 \text{ cm} \rightarrow r_0 = 13,31$$

$$N_{et} = \frac{1}{13,31^2} \left[\frac{\pi^2 \times 20500 \times 13849,50}{(0,8 \times 320)^2} + 7892,5 \times 3935,30 \right] = 175563,32 \text{ KN}$$

$$N_{ex} = \left[\frac{\pi^2 \times 20500 \times 4780,20}{(0,8 \times 320)^2} \right] = 14757,74 \text{ KN}$$

$$N_e = 5544,11 \text{ KN}$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{37,12 \times 25}{5544,11} \right)^{0,5} = 0,409 \rightarrow \text{curva } b \rightarrow \rho = 0,889$$

$$\sigma = 0,889 \times 25 = 22,23 \text{ KN/cm}^2$$

Determinação de Af

Verificação da Alma

$$b = 300 - 4 \times 3,75 = 285 \text{ mm} \rightarrow K = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{285}{3,75}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{22,23} \right)^{0,5}} = 1,317 > 0,673$$

$$b_{ef} = \frac{b \times \left(\frac{1 - 0,22}{\lambda_p} \right)}{\lambda_p} \leq b$$

$$b_{ef} = \frac{285 \times \left(\frac{1 - 0,22}{1,317} \right)}{1,317} = 180,25 \text{ mm} < b \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação da mesa

$$b = 85 - 4 \times 3,75 = 70 \text{ mm}$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{70}{3,75}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{22,23} \right)^{0,5}} = 0,987 > 0,673$$

Caso II

$$I_a = 400 \times (0,375)^4 \times [0,49 \times 0,987 - 0,33]^3 = 2,868 \times 10^{-2} \text{ cm}^4$$

$$I_s = \frac{d^3 t}{12} = \frac{(1,75)^3 \times 0,375}{12} = 0,1675 \text{ cm}^4$$

$$\frac{D}{b} = \frac{2,5}{7,0} = 0,3571 < 0,8$$

$$K_a = 5,25 - 5 \times (0,3571) = 3,465 < 4,0$$

$$K = \left(\frac{0,1675}{2,868 \times 10^{-2}} \right)^{0,5} \times (3,465 - 0,43) + 0,43 = 7,76 > K_a \rightarrow K = K_a = 3,465$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{7,0}{3,75}}{0,95 \times \left(\frac{3,465 \times 20500}{22,23} \right)^{0,5}} = 0,348 > 0,673$$

$$b_{ef} = \frac{70 \times \left(\frac{1 - 0,22}{0,348} \right)}{0,348} = 73,98 \text{ mm} > b \rightarrow b_{ef} = b$$

Verificação do enrijecedor de borda

$$b = 25 - 2 \times 3,75 = 17,5 \text{ mm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{17,5}{3,75}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{22,23} \right)^{0,5}} = 0,247 < 0,673$$

$$d_{ef} = d = 17,5 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = (180,25 + 2 \times 70 + 2 \times 17,5 + 4 \times 1,57 \times 5,625) \times 3,75 = 1464,65 \text{ mm}^2 \\ = 14,6465 \text{ cm}^2$$

$$R = 2 \times 3,75 - \left(\frac{3,75}{2} \right) = 5,625$$

Como estamos usando perfil caixa:

$$A_{ef} = 14,65 \times 2 = 29,30 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,889 \times 29,30 \times 25}{1,1} = 591,99 \text{ KN} \rightarrow N_{c,Rd} > 498,92 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Determinação de $N_{0,Rd}$

$$\sigma = 1 \times 25 = 25 \text{ KN/cm}^2$$

Determinação de A_e

Verificação da Alma

$$b=285$$

$$K=4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{285}{3,75}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 1,397 < 0,673$$

$$b_{ef} = \frac{285 \times \left(\frac{1 - 0,22}{1,397}\right)}{1,397} = 171,88 \text{ mm} < b \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação da mesa

$$b = 70$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{70}{3,75}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{25}\right)^{0,5}} = 1,046 > 0,673$$

Caso II

$$I_a = 400 \times (0,375)^4 \times [0,49 \times 1,046 - 0,33]^3 = 0,04811 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 0,4883 \text{ cm}^4$$

$$\frac{D}{b} = 0,3571 < 0,8$$

$$K_a = 3,465 < 4,0$$

$$K = 12,95 > K_a \rightarrow K = K_a = 3,465$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{7,0}{3,75}}{0,95 \times \left(\frac{3,465 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,3686 < 0,673 \rightarrow \text{OK!}$$

$$b_{ef} = b = 70$$

Verificação do enrijecedor

$$b = 17,5 \text{ mm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{17,5}{3,75}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,262 < 0,673$$

$$d_{ef} = d = 17,5\text{mm}$$

$$A_{ef} = (171,88 + 2 \times 70 + 2 \times 17,5 + 4 \times 1,57 \times 5,625) \times 3,75 = 1433,27\text{mm}^2$$

$$= 14,33\text{cm}^2$$

$$A_{ef} = 14,33 \times 2 = 28,66\text{cm}^2$$

$$N_{0,Rd} = \frac{1 \times 28,66 \times 25}{1,1} = 651,36\text{KN} > 498,92\text{KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação a flambagem por distorção

$$\frac{b_f}{b_w} = \frac{170}{300} = 0,57$$

$$\frac{b_w}{t} = \frac{300}{3,75} = 80$$

Tabela D1 – NBR 14762

$\frac{b_w}{t} = 50$	$\frac{b_f}{b_w}$	$\frac{D}{b_w}$	X=0,1395
	0,4	0,08	
	0,57	X	
	0,60	0,15	

$\frac{b_w}{t} = 100$	$\frac{b_f}{b_w}$	$\frac{D}{b_w}$	X=0,057
	0,4	0,04	
	0,57	X	
	0,60	0,06	

$\frac{b_f}{b_w} = 0,57$	$\frac{b_w}{t}$		X=0,09
	50	0,1395	
	80	X	
	100	0,057	

$$\frac{D}{b_w} = \frac{25}{300} = 0,0833 < 0,09$$

→ é necessário a verificação da flambagem por distorção

Flambagem por distorção

$$Ad = (170 + 25) \times 3,75 = 731,25 \text{mm}^2$$

$$h_y = \frac{-0,5 \times 25^2}{170 + 25} = -7,35 \times 10^{-2}$$

$$h_x = \frac{-0,5 \times (170^2 + 2 \times 170 \times 25)}{170 + 25} = -4,4$$

$$I_t = \frac{3,75^3(170 + 25)}{3} = 3427,73 \text{mm}^4$$

$$I_x = \frac{170 \times 3,75^3}{12} + \frac{3,75 \times 25^3}{12} + (170 \times 3,75 \times -7,35 \times 10^{-2}) \\ + (25 \times 3,75 \times [0,5 \times 25 + (-7,35 \times 10^{-2})]^2)$$

$$I_x = 20059,71 \text{mm}^4$$

$$I_y = \frac{3,75 \times 170^3}{12} + \frac{25 \times 3,75^3}{12} + 25 \times 3,75 \times (170 + (-4,4))^2 + 170 \times 3,75 \\ \times (-4,4 + 0,5 \times 170)^2$$

$$I_x = 8247791,86 \text{mm}^4$$

$$I_{xy} = 170 \times 3,75 \times -7,35 \times 10^{-2} \times (0,5 \times 170 + (-4,4)) + 25 \times 3,75 \\ \times (0,5 \times 25 + (-7,35 \times 10^{-2})) \times (170 + (-4,4)) = 189144,80 \text{mm}^4$$

$$\beta_2 = 20059,71 \times 170^2 = 579725619,0$$

$$\beta_4 = \beta_2 = 579725619,0$$

$$\beta_3 = 189144,80 \times 170 = 32154616,0$$

$$\beta_1 = (-4,4)^2 + \frac{(20059,71 + 8247791,86)}{731,25} = 11325,82$$

$$L_d = 4,8 \times \left(\frac{579725619,0 \times 300}{3,75^3} \right)^{0,25} = 1150,28$$

$$\eta = \left(\frac{\pi}{1150,28} \right)^2 = 7,46 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_1 = \frac{7,46 \times 10^{-6}}{11325,82} \times (579725619,0 + 0,039 \times 3427,73 \times 1150,28^2) = 0,498$$

$$\alpha_2 = 7,46 \times 10^{-6} \times (82,47791,86 - 0) = 61,529$$

$$\alpha_3 = 7,46 \times 10^{-6} \times \left(0,498 \times 8247791,86 - \frac{7,46 \times 10^{-6} \times 32154616,0^2}{11325,82} \right) = 25,56$$

$$E = 20500 \text{ KN/cm}^2 = 2050000 \text{ KN/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{dist} &= \frac{0,5 \times 2050000}{731,25} \{ 0,498 + 61,529 - [(0,498 + 61,529)^2 - 4 \times 25,56]^{0,5} \} \\ &= 1163,00 \text{ KN/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_\phi &= \frac{2050000 \times 3,75^3}{5,46 \times (300 + 0,06 \times 1150,28)} \\ &\times \left[1 - \frac{1,11 \times 1163}{2050000 \times 3,75^2} \times \left(\frac{300^2 \times 1150,28}{300^2 + 1150,28} \right)^2 \right] = -3045700,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{-7,46 \times 10^{-6}}{11325,82} \times (579725619 + 0,039 \times 3427,73 \times 1150,28) \\ &\quad + (-3045700,16) \times (11325,82 \times 7,46 \times 10^{-6} \times 2050000) \\ &= -527532826965 \end{aligned}$$

Como α_1 foi um valor negativo, o perfil não flamba por distorção

Flexo compressão (momento)

Verificação da alma

$$\begin{aligned} y_{cg} &= ((18,025 \times 0,1875) + (29,25 \times 15) + (7,9 \times 29,813) + (2 \times 0,883 \times 30) \\ &\quad + (1,7628,37) + (1,76 \times 1,63)) = y_{cg} = \frac{783,43}{60,46} = 12,96 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma_1 = \frac{25 \times (12,96 - (2 \times 0,375))}{12,96} = 23,55 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{25 \times ((30 - 12,96) - (2 \times 0,375))}{12,96} = -31,42 \text{ KN/cm}^2$$

$$\rho = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -1,33$$

$$k = 4 + 2 \times (1 + 1,33)^3 + 2 \times (1 + 1,33) = 33,96$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{28,5}{0,375}}{0,95 \times \left(\frac{33,96 \times 20500}{23,55}\right)^{0,5}} = 2,71$$

$$b_{ef} = \frac{12,21 \times \left(1 - \frac{0,22}{2,71}\right)}{2,71} = 4,14 \text{ cm}$$

$$b_{ef1} = \frac{4,14}{3 + 1,33} = 0,96 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} = b_{ef} - b_{ef1} = 4,14 - 0,96 = 3,18 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} + b_{ef1} = 4,14 < 12,21 \rightarrow \text{a alma não é totalmente efetiva}$$

$$b_{neg} = 12,21 - 4,14 = 8,07$$

Nova iteração

$$y = 12,96 + \left(\frac{-8,07}{2}\right) + 4,14 = 13,065 \text{ cm}$$

$$y_{cg} = \left(\frac{783,43 - (8,07 \times 13,065)}{60,46 - 8,07}\right) = 12,94$$

Não é requerida uma nova iteração, pois a variação do y_{cg} foi quase “0”

$$L_y = 677,99$$

$$L_y^2 = (18,025 \times 0,1875^2) + (29,25 \times 15^2) + (7,9 \times 29,813^2) + (1,766 \times 30^2) \\ + (1,76 \times 28,37^2) + (1,76 \times 1,63^2) = 16614,15$$

$$I_x = (0,0265 \times 4) + (0,45 \times 2) - (43,79) + (20,85,43) = 2042,65$$

$$[x] = 9894,43 \rightarrow I_x = 3706,66 \text{ cm}^4$$

$$W_{ef} = \frac{I_x}{y_{cg}} = \frac{3706,66}{12,94} = 286,45 \text{ cm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{286,45 \times 25}{1,1} = 6510,22 \text{ KN} \times \text{cm}$$

$$M_{Rd} = 65,1 \times 2 = 130,20 \text{ KN} \times \text{m}$$

$M_{Rd} < M_{Sd} \rightarrow$ portanto o pilar não resiste a solicitação aplicada no mesmo.

Como o intuito deste trabalho é apenas o de demonstrar a seqüência de calculo conforme as prescrições da NBR 14762, e não o de encontrarmos a peça que resista a solicitação aplicada sobre a mesma. A solução para este caso é a de se refazer toda a seqüência de calculo novamente com um pilar de dimensões superiores a este calculado. Estes cálculos

também são válidos para o pilar 2, pois os esforços atuantes são os mesmos nos dois pilares.

4.3 - Dimensionamento da cobertura – Corda inferior CI - 09

Barra 09 – verificação a compressão

$$N_d = 58,29$$

$$l = 3,0m = 300cm$$

$$\lambda = \frac{l}{r} \leq 200 \rightarrow r \geq \frac{300}{200} = 1,5cm$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\rho \times A_{ef} \times f_y}{\gamma} \rightarrow A \geq \frac{N_d \times \gamma}{f_y \times \rho} \rightarrow \rho = 0,4$$

$$A \geq \frac{58,29 \times 1,1}{25 \times 0,4} = 6,42cm^2$$

Adotaremos perfil: Ue 200x75x25x2,65

$$A=9,87cm^2 \quad I_x=605,75cm^4 \quad I_y=71,79cm^4 \quad I_t=0,231cm^4 \quad bw=200mm \quad W_x=60,57cm^3$$

$$W_y=13,54cm^3 \quad C_w=5890,44cm^6 \quad bf=75mm \quad r_x=7,83cm \quad r_y=2,70cm \quad r_0=9,86cm$$

$$x_0=5,34cm \quad D=20mm \quad t_n=2,65mm$$

Determinação de $N_{c,Rd}$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 20500 \times 605,75}{(1 \times 300)^2} = 1361,77KN$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 71,79 \times 20500}{(1 \times 300)^2} = 161,39KN$$

$$N_{et} = 1/(9,86)^2 \left[7892,5 \times 0,231 + \frac{\pi^2 \times 20500 \times 5890,44}{(1 \times 300)^2} \right]$$

$$N_{et} = 154,96KN$$

$$N_{e_{xt}} = \frac{1361,77+154,96}{2 \times \left[1 - \left(\frac{5,34}{9,86} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 1361,77 \times 154,96 \times \left[1 - \left(\frac{5,34}{9,86} \right)^2 \right]}{(1361,77+154,96)^2}} \right]$$

$$N_{e_{xt}} = 149,55KN$$

Adotaremos $N_e = 149,55KN$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{9,87 \times 25}{149,55}} = 1,285 \rightarrow \text{curva } b \rightarrow \rho = 0,437$$

$$\sigma = \rho \cdot fy = 0,437 \times 25 = 10,93 \text{ KN/cm}^2$$

Determinação da área efetiva Aef

Verificação da Alma

$$b = 20 - 4 \times (0,265) = 18,94 \text{ cm}$$

$$k = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{18,94}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{10,93}\right)^{0,5}} = 0,869 > 0,673 \text{ (flamba local)}$$

$$b_{ef} = 18,94 \times \frac{1}{0,869} \times \left(1 - \frac{0,22}{0,869}\right) = 16,28 \text{ cm } b > b_{ef} \text{ ok!}$$

Verificação da mesa

$$b = 7,5 - 4 \times (0,265) = 6,97 \text{ cm}$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{6,97}{0,265}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{10,93}\right)^{0,5}} = 0,97 > 0,673 \text{ (caso II)}$$

$$d = 2,5 - 2 \times (0,265) = 1,97 \text{ cm}$$

$$I_s = 0,1688 \text{ cm}^4$$

$$I_a = 400 \times (0,265)^4 \times (0,49 \times 0,97 - 0,33)^3 = 6,05 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$$

$$D = 2,0 \text{ cm}$$

$$\frac{D}{b} = 0,28 < 0,8$$

$$K_a = 5,25 - 5 \times (0,28) \leq 4,0$$

$$K_a = 3,815$$

$$\text{Sendo } K_a = 6,04 < K_a \rightarrow K = K_a = 3,815$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{6,97}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{3,815 \times 20500}{10,93}\right)^{0,5}} = 0,327 > 0,673 \text{ (não flamba local)}$$

$$b_{ef} = b = 6,97\text{cm}$$

Verificação do enrijecedor

$$d = 1,97\text{cm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{1,97}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{10,93}\right)^{0,5}} = 0,136 < 0,673 \text{ (não flamba local)}$$

$$I_s > I_a$$

$$d_{ef} = d = 1,97\text{cm}$$

Área efetiva

$$A_{ef} = (16,28 + 2 \times 6,97 + 2 \times 1,97 + 4 \times 1,57 \times 0,070) \times 0,265 = 9,169\text{cm}^2$$

$$R = 2 \times 0,265 \times \frac{0,265}{2} = 0,070$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,437 \times 9,169 \times 25}{1,1} = 91,06\text{KN} > 58,29\text{KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Determinação de $N_{0,Rd}$

$$\sigma = 1 \times 25 = 25 \text{ KN/cm}^2$$

Determinação de A_{ef}

Verificação da Alma

$$b = 20 - 4 \times (0,265) = 18,94\text{cm} ; K = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{18,94}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 1,314 < 0,673$$

$$b_{ef} = \frac{18,94 \times \left(\frac{1 - 0,22}{1,314}\right)}{1,314} = 12 < b \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação da mesa

$$b = 7,5 - 4 \times (0,265) = 6,97$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{6,97}{0,265}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{25}\right)^{0,5}} = 1,47 > 0,673$$

Caso II

$$I_a = 400 \times (0,265)^4 \times [0,49 \times 1,47 - 0,33]^3 = 0,117 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 0,1688 \text{ cm}^4$$

$$\frac{D}{b} = 0,287 < 0,8$$

$$K_a = 3,185 < 4,0$$

$$K = \left(\frac{0,1688}{0,117}\right)^{0,5} \times (3,815 - 0,43) + 0,43 = 4,496$$

$$K > K_a \rightarrow K = K_a = 3,815$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{6,97}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{3,815 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,495 < 0,673 \rightarrow \text{n\~{a}o flamba local OK!}$$

$$b_{ef} = b = 6,97 \text{ cm}$$

Verificação do enrijecedor

$$d = 1,97 \text{ cm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{1,97}{0,265}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,417 < 0,673 \text{ (n\~{a}o flamba local)}$$

$$I_s > I_a$$

$$d_{ef} = d = 1,97 \text{ cm}$$

$$A_{ef} = (12 + 2 \times 6,97 + 2 \times 1,97 + 4 \times 1,57 \times 0,070) \times 0,265 = 8,03 \text{ cm}^2$$

$$N_{0,Rd} = \frac{1 \times 8,03 \times 25}{1,1} = 182,5 \text{ KN} > 58,29 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Verificação a flambagem por distorção

$$\frac{b_f}{b_w} = \frac{75}{200} = 0,4$$

$$\frac{b_w}{t} = 2,65 = 75,5$$

Tabela D1 – NBR 14762

$\frac{b_f}{b_w} = 0,4$	$\frac{b_w}{t}$		X=0,6
	50	0,08	
	75,5	X	
	100	0,04	

$$\frac{D}{b_w} = \frac{20}{200} = 0,1 > 0,06$$

→ não é necessário a verificação da flambagem por distorção

Verificação a tração

$$N_d = -58,05$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma} = \frac{9,87 \times 25}{1,1} = 224,32 \text{ KN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t \times A_n \times f_u}{\gamma}$$

Ligação soldada

$$A_n = A = 9,87 \text{ cm}^2$$

$$C_A = 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{1 \times 9,87 \times 40}{1,35} = 292,44 \text{ KN} \quad \rightarrow \quad 58,05 < 292,44 \text{ OK!}$$

Verificação da solda

$$\frac{2 \times L}{t} = \frac{2 \times 25}{2,65} = 18,87 < 25$$

$$F_{rd} = \frac{\left[1 - \frac{0,01 \times L}{t}\right] \times t \times L \times f_u}{\gamma}$$

$$F_{rd} = \frac{\left[1 - \frac{0,01 \times 25}{2,65}\right] \times 2,65 \times 25 \times 40}{1,65} = 1454,54 \text{KN} \rightarrow 292,44 < 1454,54 \text{KN}$$

→ OK!

4.4 - Dimensionamento da cobertura – Diagonal DI - 18

$$N_d = 33,83 \text{KN (tração)}$$

$$L = \sqrt{3^4 + 2,18^2} = 3,708 \rightarrow L = 3,71 \text{cm}$$

Pré-dimensionamento

$$\lambda = \frac{L}{r} \leq 200 \therefore r \geq \frac{371}{200} = 1,86 \text{cm}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{\rho \cdot A \cdot f_y}{\gamma} \therefore A \geq \frac{N_d \cdot \gamma}{f_y \cdot \rho} \quad A = \frac{33,83 \times 1,1}{25} \geq 1,488 \text{cm}^2$$

Adotaremos perfil: Ue 100x50x17x2,65

$$A=2,17 \text{cm}^2 \quad I_x=44,15 \text{cm}^4 \quad I_y=10,12 \text{cm}^4 \quad I_t=0,013 \text{cm}^4 \quad b_w=100 \text{mm} \quad W_x=8,83 \text{cm}^3$$

$$W_y=3,15 \text{cm}^3 \quad C_w=246,61 \text{cm}^6 \quad b_f=50 \text{mm} \quad r_x=4,03 \text{cm} \quad r_y=1,93 \text{cm} \quad r_0=6,19 \text{cm}$$

$$x_0=4,28 \text{cm} \quad D=17 \text{mm} \quad t_n=1,20 \text{mm} \quad X_g=1,79 \text{cm}$$

Verificação a tração

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma} = \frac{2,71 \times 25}{1,1} = 61,59 > 33,83 \text{KN OK!}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t \times A_n \times f_u}{\gamma} \rightarrow \text{Sendo ligação soldada } A_n = A \quad C_t = 1,0 \quad \text{Aço ASTM A36}$$

$$\rightarrow f_y = 25 \text{KN/cm}^2 \quad f_u = 40 \text{KN/cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{1 \times 2,71 \times 40}{1,35} = 80,30 \text{KN} > 33,83 \text{KN} \rightarrow \text{OK!} \rightarrow \text{temos então } N_{t,Rd}$$

$$= 61,59 \text{KN} > 33,83 \text{KN}$$

Verificação a compressão

$$N_{cd} = 7,03 \text{KN}$$

Determinação de $N_{c,Rd}$

$$\sigma = \rho \cdot f_y$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 20500 \times 44,15}{(1 \times 371)^2} = 64,90KN$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 10,12 \times 20500}{(1 \times 371)^2} = 14,876KN$$

$$N_{et} = 1/(6,19)^2 \left[7892,5 \times 0,013 + \frac{\pi^2 \times 20500 \times 246,61}{(1 \times 371)^2} \right]$$

$$N_{et} = 12,14KN$$

$$N_{e_{xt}} = \frac{64,90+12,14}{2 \times \left[1 - \left(\frac{4,28}{6,19} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 64,90 \times 12,14 \times \left[1 - \left(\frac{4,28}{6,19} \right)^2 \right]}{(64,90+12,14)^2}} \right]$$

$$N_{e_{xt}} = 11,06KN \text{ adotaremos este valor}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{2,71 \times 25}{11,06}} = 2,47 \rightarrow \text{curva } b \rightarrow \alpha = 0,34$$

$$\beta = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (2,47 - 0,2) + 2,47^2] = 3,94$$

$$\rho = \frac{1}{3,94 + (3,94^2 + 2,47^2)^{0,5}} = 0,14$$

$$\sigma = 0,14 \times 25 = 3,5 KN/cm^2$$

Determinação da área efetiva A_{ef}

Verificação da Alma

$$b = 10 - 4 \times (0,12) = 9,52cm$$

$$k = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{9,52}{0,12}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{3,5} \right)^{0,5}} = 0,546 < 0,673 \text{ (não flamba local)}$$

$$b = b_{ef} = 9,52cm$$

Verificação da mesa

$$b = 5 - 4 \times (0,12) = 4,52cm$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{4,52}{0,12}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{3,5} \right)^{0,5}} = 0,79 > 0,673 \text{ (caso II)}$$

$$d = 1,7 - 2 \times (0,12) = 1,46 \text{ cm}$$

$$I_s = 0,03112 \text{ cm}^4$$

$$I_a = 400 \times (0,12)^4 \times (0,49 \times 0,79 - 0,33)^3 = 0,0000154 \text{ cm}^4$$

$$D = 1,7 \text{ cm}$$

$$\frac{D}{b} = 0,376 < 0,8$$

$$K_a = 5,25 - 5 \times (0,376) \leq 4,0$$

$$K_a = 3,37$$

$$\text{Sendo } I_s > I_a \therefore K = K_a = 3,37$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{4,52}{0,12}}{0,95 \times \left(\frac{3,37 \times 20500}{3,5} \right)^{0,5}} = 0,282 < 0,673 \text{ (n\~{a}o flamba local)}$$

$$b_{ef} = b = 4,52 \text{ cm}$$

Verifica\~{c}o do enrijecedor

$$d = 1,46 \text{ cm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{1,46}{0,12}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{3,5} \right)^{0,5}} = 0,255 < 0,673 \text{ (n\~{a}o flamba local)}$$

$$\text{Sendo } I_s > I_a$$

$$d_{ef} = d = 1,46 \text{ cm}$$

Como nenhum elemento teve flambagem local, temos que:

$$A_{ef} = A_g = 2,71 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,14 \times 2,71 \times 25}{1,1} = 8,62 \text{ KN} > 7,03 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

Determina\~{c}o de $N_{0,Rd}$

$$\sigma = 1 \times 25 = 25 \text{ KN/cm}^2 \text{ A\~{c}o ASTM A36} \rightarrow f_y = 25 \text{ KN/cm}^2 \quad f_u = 40 \text{ KN/cm}^2$$

Determinação de A_{ef}

Verificação da Alma

$$b = 9,52cm \quad ; \quad K = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{9,52}{0,12}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 1,46 > 0,673 \text{ ocorre flambagem local}$$

$$b_{ef} = \frac{9,52 \times \left(1 - \frac{0,22}{1,46}\right)}{1,46} = 5,53cm^2$$

Verificação da mesa

$$b = 4,52cm$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{4,52}{0,12}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{25}\right)^{0,5}} = 2,11 > 0,673$$

Caso II

$$d = 1,46cm$$

$$I_a = [(56 \times 2,11) + 5] \times (0,12)^4 = 0,0255cm^4$$

$$I_s = 0,03112cm^4$$

$$K_a = 3,37$$

$$K = \left(\frac{0,03112}{0,0255}\right)^{0,33} \times (3,37 - 0,43) + 0,43 = 3,57 \leq K_a$$

$$K = K_a = 3,37$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{4,52}{0,12}}{0,95 \times \left(\frac{3,37 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,75 > 0,673 \rightarrow \text{flamba local}$$

$$b_{ef} = 4,52 \times \frac{1}{0,75} \times \left(1 - \frac{0,22}{0,75}\right) = 4,25cm$$

Verificação do enrijecedor

$$d = 1,46cm$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{1,46}{0,12}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,682 > 0,673 \text{ (flamba local)}$$

$$d_{ef} = 1,46 \times \frac{1}{0,682} \times \left(1 - \frac{0,22}{0,682}\right) = 1,45 \text{ cm}$$

$$d_s = d_{ef} \times \left(\frac{I_s}{I_a}\right) = 1,77 \leq 1,45 \rightarrow d_s = 1,45 \text{ cm}$$

Área efetiva

$$A_{ef} = (5,53 + 4,25 \times 2 + 2 \times 1,45 + 4 \times 1,57 \times 0,18) \times 0,12 = 2,167 \text{ cm}^2$$

$$N_{0,Rd} = \frac{1 \times 2,167 \times 25}{1,1} = 49,25 \text{ KN} > 7,03 \text{ KN} \rightarrow OK!$$

Verificação a flambagem por distorção

$$\frac{b_f}{b_w} = 0,5$$

$$\frac{b_w}{t} = 83,33$$

Tabela D1 – NBR 14762

$\frac{b_w}{b_t} = 50$	$\frac{b_f}{b_w}$	$\frac{D}{b_w}$	X=0,115
	0,4	0,08	
	0,5	X	
	0,6	0,15	

$\frac{b_w}{b_t} = 100$			X=0,05
	0,4	0,04	
	0,5	X	
	0,6	0,06	

$\frac{b_f}{b_w} = 0,5$	$\frac{b_w}{t}$	$\frac{D}{b_w}$	X=0,072
	50	0,115	
	83,33	X	
	100	0,05	

$$\frac{D}{b_w \text{ m\u00edn}} = 0,072 \rightarrow \text{sendo } \frac{D}{b_w} = 0,17$$

> 0,072 não \u00e9 necessario a verifica\u00e7\u00e3o da flambagem por distor\u00e7\u00e3o

Verifica\u00e7\u00e3o da solda

$$A_n = A = 2,17 \text{ cm}^2 \rightarrow C_t = 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{1 \times 33,83 \times 40}{1,35} = 1002,37 \text{ KN}$$

$$\frac{2 \times L}{t} = \frac{2 \times 100}{1,2} = 166,67 > 25$$

$$F_{rd} = \frac{0,75 \times 1,2 \times 100 \times 40}{1,8} = 2000 \text{ KN} \rightarrow 1002,37 < 2000 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

4.5 - Dimensionamento da cobertura - Montante MT - 17

$$N_d = -8,33 \text{ KN (tra\u00e7\u00e3o)}$$

$$L = 1,09 \text{ m}$$

Pr\u00e9-dimensionamento

$$\lambda = \frac{L}{r} \leq 200 \therefore r \geq \frac{109}{200} = 0,545 \text{ cm}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{\rho \cdot A \cdot e \cdot f_y}{\gamma} \therefore A \geq \frac{N_d \cdot \gamma}{f_y \cdot \rho} \quad A = \frac{33,83 \times 1,1}{25} \geq 1,488 \text{ cm}^2$$

Adotaremos perfil: Ue 50x25x10x1,20

$$A=1,35 \text{ cm}^2 \quad I_x=5,24 \text{ cm}^4 \quad I_y=1,23 \text{ cm}^4 \quad I_t=0,006 \text{ cm}^4 \quad b_w=50 \text{ mm} \quad W_x=2,09 \text{ cm}^3$$

$$W_y=0,78 \text{ cm}^3 \quad C_w=8,13 \text{ cm}^6 \quad b_f=25 \text{ mm} \quad r_x=1,97 \text{ cm} \quad r_y=0,95 \text{ cm} \quad r_0=3,08 \text{ cm}$$

$$x_0=2,17 \text{ cm} \quad D=10 \text{ mm} \quad t=1,20 \text{ mm} \quad X_g=0,93 \text{ cm}$$

Força normal de tração resistente de cálculo

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma} = \frac{1,35 \times 25}{1,1} = 30,68 > 8,33KN$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t \times A_n \times f_u}{\gamma} \rightarrow \gamma = 1,35 \text{ Sendo ligação soldada } A_n = A \quad C_t = 1,0 \quad f_u$$
$$= 40KN/cm^2 \text{ soldas longitudinais e transversais}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{1 \times 1,35 \times 40}{1,35} = 40 KN > 8,33 KN \rightarrow OK! \rightarrow \text{temos então } N_{t,Rd}$$
$$= 30,68KN \text{ menor dos valores}$$

Verificação da solda

$$\frac{L}{t} < 25 \rightarrow L = 25$$

$$\frac{2 \times 25}{1,2} < 25 \rightarrow 41,67 < 25$$

$$F_{rd} = \frac{0,75 \times t \times L \times f_u}{\gamma}$$

$$F_{rd} = \frac{0,75 \times 1,2 \times 50 \times 40}{1,8} = 1000KN \rightarrow 1000 > 8,33 KN \rightarrow OK!$$

Determinação de $N_{c,Rd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{\rho \times A_{ef} \times f_y}{\gamma} \rightarrow \gamma = 1,1KN$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A_{ef} \times f_y}{N_e} \right]^{0,5}$$

$$G = 0,385 \times E = 0,385 \times 2050 = 7892,50$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 20500 \times 5,24}{(1 \times 109)^2} = 89,23KN$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 1,23 \times 20500}{(1 \times 109)^2} = 20,95KN$$

$$N_{et} = 1/(3,08)^2 \left[7892,5 \times 0,006 + \frac{\pi^2 \times 20500 \times 8,13}{(1 \times 109)^2} \right]$$

$$N_{et} = 19,59KN$$

$$N_{e_{xt}} = \frac{89,23+19,59}{2 \times \left[1 - \left(\frac{2,17}{3,08}\right)^2\right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 89,23 \times 19,59 \times \left[1 - \left(\frac{2,17}{3,08}\right)^2\right]}{(89,23+19,59)^2}} \right]$$

$$N_{e_{xt}} = 17,48 \text{KN}$$

$$\text{Adotaremos } N_e = 17,48 \text{KN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1,35 \times 25}{17,48}} = 1,39 \rightarrow \text{curva } b \rightarrow \rho = 0,386$$

$$\sigma = \rho \times f_y = 0,386 \times 25 = 9,65 \text{KN/cm}^2$$

Determinação da área efetiva A_{ef}

Verificação da Alma

$$b = 50 - 4 \times (1,2) = 45,2 \text{mm}$$

$$k = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{4,52}{0,12}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{9,65}\right)^{0,5}} = 0,430 < 0,673$$

$$b_{ef} = b_{total} = 45,2 \text{mm}$$

Verificação da mesa

$$b = 25 - 4 \times (1,2) = 20,2 \text{mm}$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{2,02}{0,12}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{9,65}\right)^{0,5}} = 0,586 < 0,673$$

$$b_{ef} = b = 20,2 \text{mm} ; k = 4$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{20,2}{1,2}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{9,65}\right)^{0,5}} = 0,192$$

$$b_{ef} = b \times \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \times \frac{1}{\lambda_p} = 20,2 \times \left(1 - \frac{0,22}{0,192}\right) \times \frac{1}{0,192} = -19,44 < b$$

$$b_{ef} = b = 20,2 \text{mm}$$

Verificação do enrijecedor

$$d = 10 - 2t = 10 - 2 \times 1,2 = 7,6$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{7,6}{1,2}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{9,65}\right)^{0,5}} = 0,220 < 0,673$$

$$d_s = d_{ef} = d = 7,6$$

Área efetiva

$$A_{ef} = (45,2 + 2 \times 20,2 + 2 \times 7,6 + 4 \times 1,57 \times 1,8) \times 1,2 = 1,34 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,386 \times 1,34 \times 25}{1,1} = 11,76 \text{ KN} < 14,43 \text{ KN} \rightarrow \text{não OK!}$$

Adotaremos um novo perfil (como exemplo para os outros casos em que o perfil não passou e não foram feitos novos cálculos com outro perfil)

Adotaremos perfil: Ue 50x25x10x2,0

$$\begin{aligned} A &= 2,14 \text{ cm}^2 & I_x &= 7,93 \text{ cm}^4 & I_y &= 1,78 \text{ cm}^4 & I_t &= 0,028 \text{ cm}^4 & b_w &= 50 \text{ mm} & W_x &= 3,17 \text{ cm}^3 \\ W_y &= 1,13 \text{ cm}^3 & C_w &= 11,68 \text{ cm}^6 & b_f &= 25 \text{ mm} & r_x &= 1,93 \text{ cm} & r_y &= 0,91 \text{ cm} & r_0 &= 2,97 \text{ cm} \\ x_0 &= 2,07 \text{ cm} & D &= 10 \text{ mm} & t &= 2,0 \text{ mm} & X_g &= 0,93 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{2,14 \times 25}{1,1} = 48,64 \text{ KN} > 8,33 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

→ verificação a tração já foi realizada no perfil anterior, onde possui uma menor área, tração ok!

Verificação à compressão

$$N_{c,d} = 14,43 \text{ KN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 20500 \times 1,78}{(1,0 \times 109)^2} = 30,31 \text{ KN}$$

$$N_{et} = \frac{1}{2,97^2} \left[\frac{\pi^2 \times 20500 \times 11,68}{(1 \times 109)^2} + 7892,5 \times 0,028 \right] = 47,60 \text{ KN}$$

$$N_{ex} = \left[\frac{\pi^2 \times 20500 \times 7,93}{(1 \times 109)^2} \right] = 135,04 \text{KN}$$

$$N_{ext} = \frac{135,04 + 47,60}{2 \times \left[1 - \left(\frac{2,07}{2,97} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 135,04 \times 47,60 \times \left[1 - \left(\frac{2,07}{2,97} \right)^2 \right]}{(135,04 + 47,60)^2}} \right]$$

$$N_{ext} = 39,61 \text{KN}$$

$$N_e = 30,31 \text{KN}$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{2,14 \times 25}{30,31} \right)^{0,5} = 1,33 \rightarrow \text{curva } b \rightarrow \rho = 0,413$$

$$\sigma = 0,413 \times 25 = 10,33 \text{KN/cm}^2$$

Determinação de Aef

Verificação da Alma

$$b = 50 - 4 \times 2 = 42 \text{mm}$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{4,2}{0,2}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{10,33} \right)^{0,5}} = 0,248 < 0,673$$

$$b_{ef} = b = 42 \text{mm}$$

Verificação da mesa

$$b = 25 - 4 \times 2 = 17 \text{mm}$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{1,7}{0,2}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{10,33} \right)^{0,5}} = 0,306 < 0,673$$

$$b_{ef} = b = 17 \text{mm}$$

Verificação do enrijecedor de borda

$$b = 10 - 2 \times 2 = 6 \text{mm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{0,6}{0,2}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{10,33} \right)^{0,5}} = 0,108 < 0,673$$

$$d_s = d_{ef} = d = 6mm$$

$$A_{ef} = (42 + 2 \times 17 + 2 \times 6 + 4 \times 1,57 \times 3) \times 2 = 214mm^2 = 2,14cm^2$$

$$R = 2 \times 2 - \left(\frac{2}{2}\right) = 3$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,413 \times 2,14 \times 25}{1,1} = 20,09 > 14,43 KN \rightarrow OK!$$

Determinação de $N_{0,Rd}$

Determinação de A_e

Verificação da Alma

$$b = 42mm ; K = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{4,2}{0,2}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,386 < 0,673$$

$$b_{ef} = b = 42mm$$

Verificação da mesa

$$b = 25 - 4 \times 20 = 17mm$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{1,7}{0,2}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,476 < 0,673 \rightarrow k = 4,0$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{1,7}{0,2}}{0,95 \times \left(\frac{4 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,156 < 0,673$$

$$b_{ef} = b = 17mm$$

Não será necessário enrijecedor de borda, por isto não será necessária a verificação

$$d_{ef} = d = 6mm$$

$$A_{ef} = (42 + 2 \times 17 + 2 \times 6 + 4 \times 1,57 \times 3) \times 2 = 214mm^2 = 2,14cm^2 = A_g$$

$$N_{0,Rd} = \frac{1 \times 2,14 \times 25}{1,1} = 48,64KN > 14,43KN \rightarrow OK!$$

Verificação da flambagem por distorção à barras submetidas a compressão centrada

$$\frac{b_f}{b_w} = 0,5$$

$$\frac{b_w}{t} = 25$$

$$A_d = (25 + 10) \times 2 = 70 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{25 \times 2^3}{12} + \frac{2 \times 10^3}{12} + 25 \times 2 \times (-1,43)^2 + 10 \times 2 \times (0,5 \times 10 \times 1,43)^2 = 540,47$$

$$h_y = \frac{-0,5 \times 10^2}{12} = -1,43$$

$$h_x = \frac{-0,5 \times (25^2 + 2 \times 15 \times 10)}{25 + 10} = -16,07$$

$$I_t = \frac{2^3 \times (25 + 10)}{3} = 93,33$$

$$I_{xy} = 25 \times 2 \times (-1,43) \times (0,525 - 16,07) + 10 \times 2 \times (0,5 \times 10 - 1,43) \times (25 - 16,07) = 892,96$$

$$I_y = \frac{2 \times 25^3}{12} + \frac{10 \times 2^3}{12} + 10 \times 2 \times (25 - 16,07)^2 + 25 \times 2 \times (-16,07 \times 0,5 \times 25)^2 = 4842,98$$

$$B_2 = (540,47) \times 25^2 = 337797,71$$

$$B_4 = B_2 = 337797,71$$

$$B_3 = 892,96 \times 25 = 22324$$

$$B_1 = (-16,07)^2 + \frac{(540,47 + 4842,98)}{70} = 335,15$$

$$L_d = 4,8 \times \left(\frac{337797,71 \times 50}{2^3} \right)^{0,25} = 182,97$$

$$\eta = \left(\frac{\pi}{182,97} \right)^2 = 2,95 \times 10^{-5}$$

$$\alpha_1 = \frac{2,95 \times 10^{-5}}{335,15} \times (337797,71 + 0,039 \times 93,33 \times 182,97^2) = 0,04$$

$$\alpha_2 = 2,95 \times 10^{-5} \times (4842,98 - 0) = 0,14$$

$$\alpha_3 = 2,95 \times 10^{-3} \times \left(0,04 \times 4842,98 - \frac{2,95 \times 10^{-5} \times 22324^2}{335,15} \right) = 0,0044$$

$$E = 20500 \text{ KN/cm}^2 = 2050000 \text{ KN/mm}^2$$

$$\sigma_{dist} = \frac{0,5 \times 2050000}{70} \{ 0,04 + 0,14 - [(0,04 + 0,14)^2 - 4 \times 0,0044]^{0,5} \} = 854,34 \text{ KN/mm}^2 = 8,54 \text{ KN/cm}^2$$

$$k_{\phi} = \frac{2050000 \times 2^3}{5,46 \times (50 + 0,06 \times 182,97)} \times \left[1 - \frac{1,11 \times 854,34}{2050000 \times 2^2} \times \left(\frac{50^2 \times 182,97}{50^2 + 182,97} \right)^2 \right]$$

$$= 48337,15$$

$$\alpha_1 = \frac{2,95 \times 10^{-5}}{335,15} \times (33779,71 + 0,039 \times 93,33 \times 182,97^2)$$

$$+ \left(\frac{48337,15}{335,15 \times 2,95 \times 10^{-5} \times 2050000} \right) = 2,42$$

2ª iteração

$$\alpha_1 = 2,42$$

$$\alpha_3 = 2,15 \times 10^{-5} \times \left(2,42 \times 4842,98 - \frac{2,95 \times 10^{-5} \times 22324^2}{335,15} \right) = 0,34$$

$$\sigma_{dist} = \frac{0,5 \times 2050000}{70} \{ 2,42 + 0,14 - [(2,42 + 0,14)^2 - 4 \times 0,34]^{0,5} \}$$

$$= 4115,42 \text{ KN/mm}^2$$

$$k_{\phi} = \frac{2050000 \times 2^3}{5,46 \times (50 + 0,06 \times 182,97)} \times \left[1 - \frac{1,11 \times 4115,42}{2050000 \times 2^2} \times \left(\frac{50^2 \times 182,97}{50^2 + 182,97} \right)^2 \right]$$

$$= 44822,25$$

$$\alpha_1 = \frac{44822,25}{(335,15 \times 2,95 \times 10^{-5} \times 2050000)} + 0,04 = 2,25$$

3ª iteração

$$\alpha_3 = 2,15 \times 10^{-5} \times (2,25 \times 4842,98 - 43,87) = 0,32$$

$$\sigma_{dist} = \frac{0,5 \times 2050000}{70} \{ 2,25 + 0,14 - [(2,25 + 0,14)^2 - 4 \times 0,32]^{0,5} \}$$

$$= 4169,48 \text{ KN/mm}^2$$

$$k_{\phi} = 49257,98 \times \left[1 - \frac{1,11 \times 4169,48}{2050000 \times 2^2} \times (161,64)^2 \right] = 44764,15$$

$$\alpha_1 = \frac{44764,15}{(20268,2)} + 0,04 = 2,25 \quad \therefore \quad 2,25 = 2,25 \text{ ok!}$$

$$\therefore \sigma_{dist} = 4169,48 \text{ KN/mm}^2 = 41,69 \text{ KN/cm}^2$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{25}{41,69} \right)^2 = 0,36 < 1,414$$

$$\therefore N_{c,Rd} = \frac{2,14 \times 25 \times (1 - 0,25 \times 0,36^2)}{1,1} = 47,06 \text{ KN} > 14,43 \text{ ok!}$$

Verificação da solda

$$A_n = A = 1,35 \text{ cm}^2 \rightarrow C_t = 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{1 \times 8,33 \times 40}{1,35} = 245,93 \text{ KN}$$

$$\frac{2 \times L}{t} = \frac{2 \times 25}{1,2} = 41,67 > 25$$

$$F_{rd} = \frac{0,75 \times 1,20 \times 25 \times 40}{1,85} = 486,49 \text{ KN} \rightarrow 245,93 < 486,49 \text{ KN} \rightarrow \text{OK!}$$

4.6 - Dimensionamento da viga – Viga V - 01

Esforços atuantes

$$\text{Carga permanente} = 7,35 \text{ KN/m}$$

$$\text{Sobrecarga} = 4,35 \text{ KN/m}$$

$$L = 7,0 \text{ m} = 700 \text{ cm}$$

Pré-dimensionamento

$$\delta_{m\acute{a}x} \leq \frac{H}{400} = \frac{700}{400} = 1,75$$

$$\text{Determinação de } q = \text{cortante} = 7,35 + 4,35 = 11,7 \text{ KN}$$

$$I_{m\acute{i}n} \geq \frac{5 \times 0,117 \times 700^4}{384 \times 20500 \times 1,75} = 10195,88$$

Escolha do perfil: adotaremos CX 400x200x25x3,75

$$A_g = 47,17 \quad I_x = 10653,10 \text{ cm}^4 \quad I_y = 3384 \text{ cm}^4 \quad I_t = 7839,90 \text{ cm}^4 \quad W_x = 530 \text{ cm}^3$$

$$W_y = 335 \text{ cm}^3 \quad C_w = 65314,20 \text{ cm}^6 \quad r_x = 15,03 \text{ cm} \quad r_y = 8,47 \text{ cm}$$

Verificação ao momento $\Phi_b M_{nx}$

Verificação do flange comprimido

$$b = 10 - 4 \times 0,375 = 8,5 \text{ cm}$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{8,5}{0,375}}{0,623 \times \left(\frac{20500}{25}\right)^{0,5}} = 1,27 < 2,03$$

Caso II

$$I_a = 400 \times 0,375^4 [0,49 \times 1,27 - 0,33]^3 = 0,198 \text{ cm}^4$$

$$I_s = \frac{1,75^3 \times 0,375}{12} = 0,167 \text{ cm}^4$$

$$d = 25 - 4 \times 3,75 = 17,5 \text{ mm} = 1,75 \text{ cm}$$

$$\frac{D}{b} = \frac{2,0}{8,5} = 0,235$$

$$K_a = 5,25 - 5 \times (0,235) \leq 4,0$$

$$K_a = 4,075$$

$$K = \left(\frac{0,167}{0,198}\right)^{0,5} \times (40 - 0,43) + 0,43 = 3,71$$

$$K < K_a \rightarrow K = 3,71$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{8,5}{0,375}}{0,95 \times \left(\frac{3,71 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,43$$

$$b_{ef} = \frac{8,5 \times 1 - \frac{0,22}{0,43}}{0,43} = 9,65 > b \rightarrow \text{n\~{a}o flamba local}$$

$$b_{ef} = b = 8,5 \text{ cm}$$

Verificação do enrijecedor

$$d = 1,75 \text{ cm}$$

$$K = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{1,75}{0,375}}{0,95 \times \left(\frac{0,43 \times 20500}{25}\right)^{0,5}} = 0,261 < 0,673 \text{ (n\~{a}o flamba local)}$$

$$d_{ef} = d = 1,75 \text{ cm}$$

Verificação da alma

$y_{cg} = 20 \text{ cm}$ pois não tem redução de áreas

$$\sigma_1 = \frac{25 \times (20 - (0,75))}{20} = 24,06$$

$$\sigma_2 = \frac{25 \times (20 - (0,75))}{20} = 24,06$$

$$\rho = \frac{24,06}{24,06} = -1,00$$

$$k = 4 + 2 \times (1 + 1)^3 + 2 \times (1 + 1) = 24$$

$$\lambda_p = \frac{38,5}{0,375} \frac{1}{0,95 \times \left(\frac{24 \times 20500}{24,06}\right)^{0,5}} = 0,737$$

$$b_{ef} = \frac{19,25 \times \left(1 - \frac{0,22}{0,737}\right)}{0,737} = 18,32 \text{ cm}$$

$$b_{ef1} = \frac{18,32}{3 - 1} = 9,16 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} = 9,16 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} + b_{ef1} = 18,32 < 19,25 \rightarrow \text{a alma não é totalmente efetiva}$$

$$b_{neg} = 19,25 - 18,32 = -0,93$$

Elemento	L	Y	Ly
<i>Flange superior</i>	8,5	0,1875	1,9937
<i>Canto sup. Esquerdo</i>	0,883	0,392	0,346
<i>Canto sup. Direito</i>	0,883	0,392	0,346
<i>Enrijecedor superior</i>	1,75	1,63	2,85
<i>Elemento da alma negativo</i>	-0,93	11,31	10,51
<i>Alma</i>	38,5	20	770
<i>Flange inferior</i>	8,5	39,81	338,41
<i>Enrijecedor inferior</i>	1,75	38,37	67,19

<i>Canto inferior esquerdo</i>	<i>0,883</i>	<i>39,61</i>	<i>34,97</i>
<i>Canto inferior direito</i>	<i>0,883</i>	<i>39,61</i>	<i>34,97</i>
<i>soma</i>	<i>61,60</i>		<i>1261,58</i>

$$y_{cg} = \frac{1261,58}{61,60} = 20,48$$

Como o eixo neutro variou muito pouco, não é requerida uma nova iteração

$$\begin{aligned} \sum Ly^2 &= (0,299) + (0,136 \times 2) + (4,65) + (-118,96) + (15400) + (13471,11) \\ &\quad + (2576,45) + (1385,38 \times 2) = 32104,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum I_x &= (0,0265) \times 2 + (0,447) + (-0,067) + (4755,55) + (0,447) + (0,0265 \times 2) \\ &= 4756,45 \end{aligned}$$

$$y_{cg} = \frac{1261,58}{61,60} = 20,48$$

$$[x] = 32104,58 + 4756,45 - (20,48)^2 \times 61,60 = 11024,12$$

$$[x] \times t = 11024,12 \times 0,375 = 4134,04 \text{ cm}^4$$

$$W_{ef} = \frac{4134,04}{20,48} = 201,86 \text{ cm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{201,86 \times 25}{1,1} = 4587,67 \text{ KN} \times \text{cm}$$

$$M_{Rd} = 4587,67 \times 2 = 9175,35 \text{ KN} \times \text{m}$$

$$M_{Rd} = 91,75 \text{ KN} \times \text{m}$$

O perfil adotado não irá atender a solicitação da carga aplicada na viga. Deve ser verificado outro perfil de maiores dimensões para atender aos esforços solicitantes. Esta verificação não será feita aqui, mas os procedimentos de cálculo devem ser os mesmos anteriores, apenas com os dados do novo perfil a ser adotado.

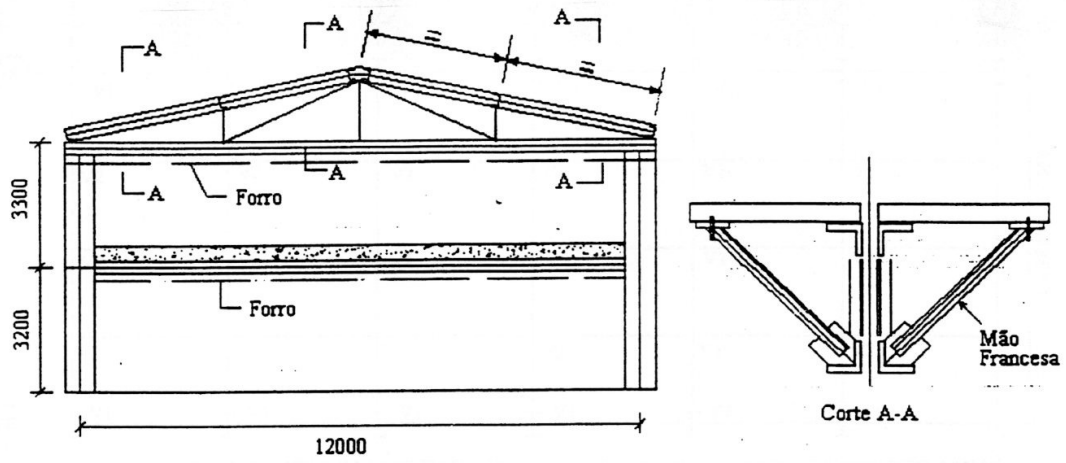
5 CONCLUSÃO

A conformação geométrica do perfil, associada à espessura da chapa adotada, são fatores determinantes para se fazer o cálculo do perfil mais economicamente viável para obra. Visto que a quantidade de aço consumida em Kg versus resistência da estrutura as cargas solicitantes, é o fator determinante para adoção deste método construtivo frente aos demais utilizados pelo mercado.

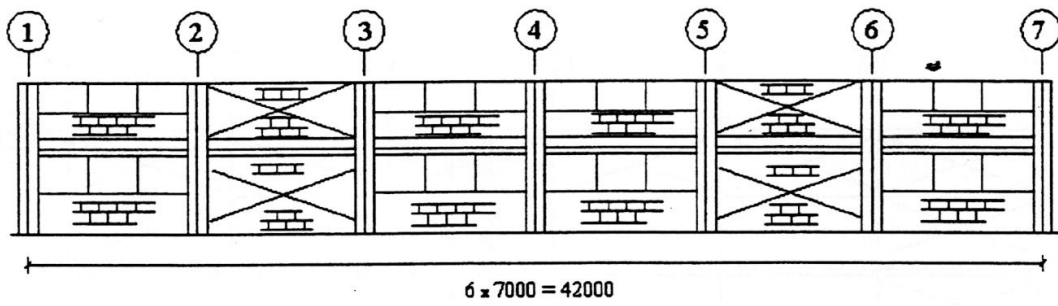
6 NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS

- NBR-6355 / 2003 – Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização.
- NBR-14762 / 2001 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento.
- Manual de construção em aço – Steel Framing: Arquitetura: Arlene Maria Sarmanho Freitas, Renata Cristina Moraes de Crato

ANEXOS

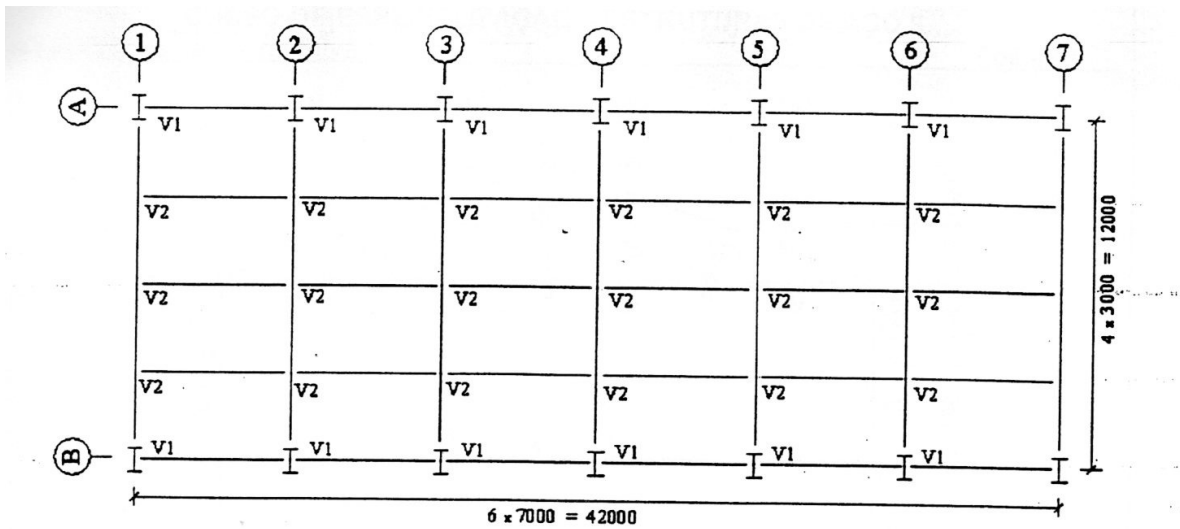


Seção Transversal

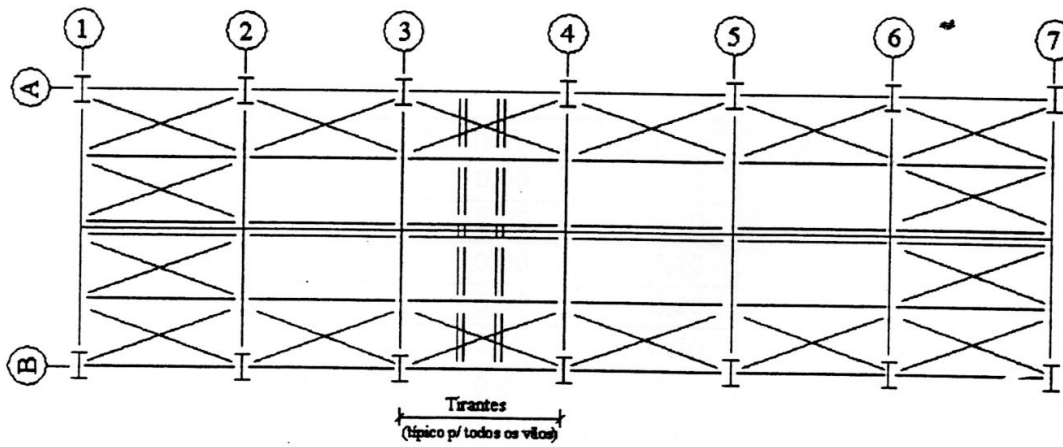


Fachadas Laterais

Anexo 01 - Esquema da estrutura parte 01



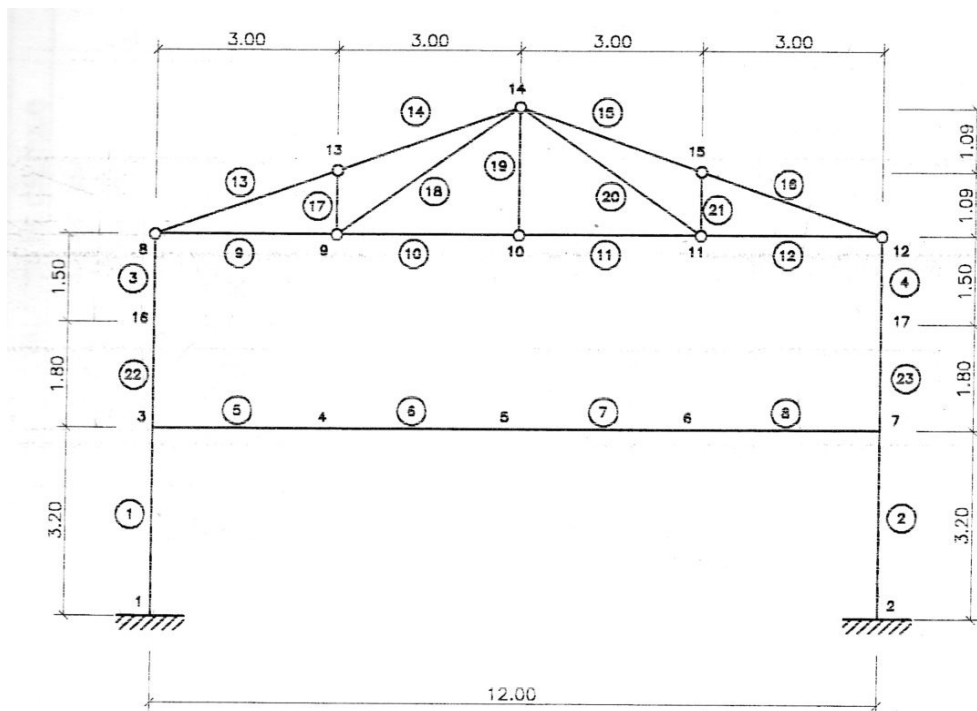
Piso do 2º Pavimento



Cobertura

Inicialmente, serão determinadas as forças atuantes nos pórticos transversais internos (eixos 2 a 6) e depois nos pórticos de extremidade (eixos 1 e 7). Para isto, será utilizada a figura seguinte, que mostra o sistema estático dos pórticos, as dimensões e as numerações de nós e barras.

Anexo 01 - Esquema da estrutura parte 02



Nó	x (m)	y (m)
1	0,00	0,00
2	12,00	0,00
3	0,00	3,20
4	3,00	3,20
5	6,00	3,20
6	9,00	3,20
7	12,00	3,20
8	0,00	6,50
9	3,00	6,50
10	6,00	6,50
11	9,00	6,50
12	12,00	6,50
13	3,00	7,59
14	6,00	8,68
15	9,00	7,59
16	0,00	5,00
17	12,00	5,00

Anexo 02 – Sistema estrutural adotado

Barra	ESFORÇOS NAS BARRAS - VALORES NOMINAIS										COMBINAÇÕES DE AÇÕES		
	Ação Permanente (kN)		Ações Variáveis (kN)				VALORES DE CÁLCULO				TRAÇÃO (kN)		
	Pequena Variabilidade	Grande Variabilidade	Sobrecarga		Vento transversal								
			Piso	Cobertura	Hipótese 1	Hipótese 2							
COLUMNS	1	22,280	189,425	126,000	10,505	-18,765	-11,195						
	2	22,280	189,425	126,000	10,505	-11,195	-18,765						
	3	22,280	0,000	0,000	10,505	-15,806	-14,154						
	4	22,280	0,000	0,000	10,505	-14,154	-15,806						
VIGAS	22	22,280	0,000	0,000	10,505	-15,806	-14,154						
	23	22,280	0,000	0,000	10,505	-14,154	-15,806						
	5	-1,913	28,773	24,179	-1,087	-0,043	-0,043						
	6	-1,913	28,773	24,179	-1,087	-0,043	-0,043						
	7	-1,913	28,773	24,179	-1,087	-0,043	-0,043						
	8	-1,913	28,773	24,179	-1,087	-0,043	-0,043						
	9	-37,113	24,258	20,385	-21,087	29,693	26,739						-58,05
	10	-24,397	24,258	20,385	-13,862	16,549	16,549						-30,68
CORDA INFERIOR	11	-24,397	24,258	20,385	-13,862	16,549	16,549						-30,68
	12	-37,113	24,258	20,385	-21,087	26,549	29,693						-58,05
CORDA SUPERIOR	13	40,587	0,000	0,000	23,061	-33,929	-31,871						-6,91
	14	40,587	0,000	0,000	23,061	-37,185	-34,403						-11,47
	15	40,587	0,000	0,000	23,061	-34,403	-37,185						-11,47
DIAGONAL	16	40,587	0,000	0,000	23,061	-31,871	-33,929						-6,91
	18	-15,718	0,000	0,000	-8,931	16,249	12,596						-33,83
MONTANTES	20	-15,718	0,000	0,000	-8,931	12,596	16,249						-33,83
	17	5,040	0,000	0,000	5,250	-9,552	-7,405						-8,33
	19	-4,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000						-5,46
21	5,040	0,000	0,000	5,250	-7,405	-9,552							-8,33

Anexo 03 – Esforços e combinações utilizados – parte 01

Barra	ESFORÇOS NAS BARRAS - VALORES NOMINAIS										COMBINAÇÕES DE AÇÕES	
	Ação Permanente (kN)		Ações Variáveis (kN)				VALORES DE CÁLCULO					
	Pequena Variabilidade	Grande Variabilidade	Sobrecarga		Vento transversal		COMPRESSÃO (kN)					
			Piso	Cobertura	Hipótese 1	Hipótese 2						
1	22,280	189,425	126,000	10,505	-18,765	-11,195	498,92					
2	22,280	189,425	126,000	10,505	-11,195	-18,765	498,92					
3	22,280	0,000	0,000	10,505	-15,806	-14,154	1,3PV+1,4GV+1,5(SCP+SCC)					
4	22,280	0,000	0,000	10,505	-14,154	-15,806	44,72					
22	22,280	0,000	0,000	10,505	-15,806	-14,154	44,72					
23	22,280	0,000	0,000	10,505	-14,154	-15,806	44,72					
5	-1,913	28,773	24,179	-1,087	-0,043	-0,043	72,43					
6	-1,913	28,773	24,179	-1,087	-0,043	-0,043	72,43					
7	-1,913	28,773	24,179	-1,087	-0,043	-0,043	72,43					
8	-1,913	28,773	24,179	-1,087	-0,043	-0,043	72,43					
9	-37,113	24,258	20,385	-21,087	29,693	26,739	1,0 PV+1,4 GV+1,4V1+1,5x0,65 SCP					
10	-24,397	24,258	20,385	-13,862	16,549	16,549	54,04					
11	-24,397	24,258	20,385	-13,862	16,549	16,549	54,04					
12	-37,113	24,258	20,385	-21,087	26,549	29,693	1,0 PV+1,4 GV+1,4V2+1,5x0,65 SCP					
13	40,587	0,000	0,000	23,061	-33,929	-31,871	87,35					
14	40,587	0,000	0,000	23,061	-37,185	-34,403	87,35					
15	40,587	0,000	0,000	23,061	-34,403	-37,185	87,35					
16	40,587	0,000	0,000	23,061	-31,871	-33,929	87,35					
18	-15,718	0,000	0,000	-8,931	16,249	12,596	1,3 PV + 1,4 V1					
20	-15,718	0,000	0,000	-8,931	12,596	16,249	1,0 PV + 1,4 V3					
17	5,040	0,000	0,000	5,250	-9,552	-7,405	1,3 PV + 1,5 SCC					
19	-4,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00					
21	5,040	0,000	0,000	5,250	-7,405	-9,552	1,3 PV + 1,5 SCC					

Anexo 03 – Esforços e combinações utilizados – parte 02

Barra		ESFORÇOS NAS BARRAS DA VIGA DO PÓRTICO - VALORES NOMINAIS										COMBINAÇÕES DE AÇÕES	
		Ação Permanente (kN.m)					Ações Variáveis (kN.m)					VALORES DE CÁLCULO	
		Pequena Variabilidade		Grande Variabilidade		Sobrecarga	Vento transversal		MOMENTO FLETOR (KN.m)				
		Nó	Variabilidade	Variabilidade	Hipótese 1		Hipótese 2						
5	3	1,510	193,560	162,656	0,858	-18,770	16,737	1,3 PV+1,4 GV+1,5(SCP+SCC)+1,4,0,6.V2	532,28				
	4	-1,510	143,805	120,844	-0,858	9,893	-7,860	1,0 PV+1,4 GV+1,5 SCP+1,4,0,6.V1	389,39				
6	4												
	5	-1,510	256,260	215,344	-0,858	1,017	1,017	1,0 PV+1,4 GV+1,5 SCP+1,4,0,6.V1	681,12				
7	5												
	6	-1,510	143,805	120,844	-0,858	-7,860	9,893	1,0 PV+1,4 GV+1,5 SCP+1,4,0,6.V2	389,39				
8	6												
	7	-1,510	-193,560	-162,656	-0,858	-16,737	18,770	1,3 PV+1,4 GV+1,5(SCP+SCC)+1,4,0,6.V1	-532,28				

Barra		ESFORÇOS NAS BARRAS DA VIGA DO PÓRTICO - VALORES NOMINAIS										COMBINAÇÕES DE AÇÕES	
		Ação Permanente (kN)					Ações Variáveis (kN)					VALORES DE CÁLCULO	
		Pequena Variabilidade		Grande Variabilidade		Sobrecarga	Vento transversal		FORÇA CORTANTE (KN)				
		Nó	Variabilidade	Variabilidade	Hipótese 1		Hipótese 2						
5	3	0,000	112,455	94,500	0,000	-2,959	2,959	1,3 PV+1,4 GV+1,5(SCP+SCC)+1,4,0,6.V2	301,67				
	4												
6	4	0,000	37,485	31,500	0,000	-2,959	2,959	1,3 PV+1,4 GV+1,5(SCP+SCC)+1,4,0,6.V2	102,21				
	5												
7	5	0,000	-37,485	-31,500	0,000	-2,959	2,959	1,3 PV+1,4 GV+1,5(SCP+SCC)+1,4,0,6.V1	-102,21				
	6												
8	6	0,000	-112,455	-94,500	0,000	-2,959	2,959	1,3 PV+1,4 GV+1,5(SCP+SCC)+1,4,0,6.V1	-301,67				
	7												

Anexo 03 – Esforços e combinações utilizados – parte 03

ESFORÇOS NAS BARRAS DA COLUNA DO PÓRTICO - VALORES NOMINAIS										COMBINAÇÕES DE AÇÕES	
Barra	Ação Permanente (KN)		Ações Variáveis (KN)				VALORES DE CÁLCULO				
	Pequena Variabilidade	Grande Variabilidade	Sobrecarga		Vento transversal		FORÇA NORMAL (KN)				
			Piso	Cobertura	Hipótese 1	Hipótese 2					
1	22,280	189,425	126,000	10,505	-18,765	-11,195	498,92				
2	22,280	189,425	126,000	10,505	-11,195	-18,765	498,92				
3	22,280	0,000	0,000	10,505	-15,806	-14,154	44,72				
4	22,280	0,000	0,000	10,505	-14,154	-15,806	44,72				
22	22,280	0,000	0,000	10,505	-15,806	-14,154	44,72				
23	22,280	0,000	0,000	10,505	-14,154	-15,806	44,72				
COLUNAS										1,3PV+1,4GV+1,5(SCP+SCC)	

ESFORÇOS NAS BARRAS DA COLUNA DO PÓRTICO - VALORES NOMINAIS										COMBINAÇÕES DE AÇÕES	
Barra	Ação Permanente (KN)		Ações Variáveis (KN)				VALORES DE CÁLCULO				
	Pequena Variabilidade	Grande Variabilidade	Sobrecarga		Vento transversal		FORÇA CORTANTE (KN)				
			Piso	Cobertura	Hipótese 1	Hipótese 2					
1	0,880	53,031	-44,564	0,500	9,499	-11,981	89,17				
2	-0,880	-53,031	44,564	-0,500	11,981	-9,499	-89,17				
3	-1,034	-24,258	-20,385	-0,587	3,006	-1,724	-68,21				
4	1,034	24,258	20,385	0,587	1,724	-3,006	68,21				
22	-1,034	-24,258	-20,385	-0,587	5,328	-5,432	-71,33				
23	1,034	24,258	20,385	0,587	5,432	-5,328	71,33				
COLUNAS										1,3PV+1,4GV+1,5(SCP+SCC)+1,4*0,6*V1	

ESFORÇOS NAS BARRAS DA COLUNA DO PÓRTICO - VALORES NOMINAIS										COMBINAÇÕES DE AÇÕES	
Barra	Ação Permanente (KN.m)		Ações Variáveis (KN.m)				VALORES DE CÁLCULO				
	Pequena Variabilidade	Grande Variabilidade	Sobrecarga		Vento transversal		MOMENTO FLETOR (KN.m)				
			Piso	Cobertura	Hipótese 1	Hipótese 2					
1	0,913	-56,190	-47,218	0,519	15,277	-17,268	-163,09				
3	1,901	-113,509	-95,385	1,080	8,515	-10,523	-308,93				
2	-0,913	56,190	47,218	-0,519	17,268	-15,277	163,09				
7	-1,901	113,509	95,385	-1,080	10,523	-8,515	308,93				
16	-1,551	-36,387	-30,577	-0,881	2,754	0,227	-100,15				
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00				
17	1,551	36,387	30,577	0,881	-0,227	-2,754	100,15				
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00				
3	-3,411	-80,052	-67,270	-1,938	10,255	-6,214	-225,54				
16	1,551	36,387	30,577	0,881	-2,754	-0,227	100,15				
7	3,411	80,052	67,270	1,938	6,214	-10,255	225,54				
17	-1,551	-36,387	-30,577	-0,881	0,227	2,754	-100,15				
COLUNAS										1,3PV+1,4GV+1,5(SCP+SCC)	

Anexo 03 – Esforços e combinações utilizados – parte 04