



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia



Especialização em Estruturas

TRABALHO FINAL

DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO EM AÇO COM PILARES E VIGAS DE ALMA CHEIA E TESOURA TRELIÇADA NA COBERTURA

Professor: Ricardo Hallal Fakury

Aluno: Rosenildo Ribeiro Silva

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>FOLHA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVO	3
3	PROGRAMAS UTILIZADOS	3
4	DESENVOLVIMENTO	4
5	CONCLUSÃO	68
6	NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS	69

1 INTRODUÇÃO

As estruturas aqui dimensionadas tiveram com embasamento os esforços solicitantes e deslocamentos, além de um conjunto de ações por meio de relações de equilíbrio. Portanto dentro do trabalho desenvolvido foram determinadas as ações na estrutura, visando a verificação de ocorrência dos estados limites últimos e de serviço.

As análises das estruturas foram feitas considerando as estruturas como elástica de 1ª ordem, onde as relações de equilíbrio foram estabelecidas com base na geometria indeformada (Original), e os materiais dos elementos estruturais foram considerados com comportamento sempre elástico.

As análises com base na geometria deformada da estrutura, foram realizadas com os materiais sendo considerados com comportamento elásticos e a análise sendo considerada como elástica de 2ª ordem, sendo que para esta análise foi adotado um método simplificado para sua execução, mas preconizado pela ABNT NBR 8800:2008.

2 OBJETIVO

Esse trabalho tem com objetivo dimensionar um edifício de dois pavimentos para escritório, com pilares e vigas em perfis de alma cheia e tesoura treliçada na cobertura.

3 PROGRAMAS UTILIZADOS

FTOOL

4 DESENVOLVIMENTO

Os cálculos foram efetuados com as seguintes considerações:

- Existe alvenaria com peso total (incluindo acabamento) de 2KN/m^2 , em toda a altura das fachadas laterais entre os eixos 2 e 3 e eixos 5 e 6, e apenas na semi-altura inferior entre os demais eixos, onde existem janelas a semi-altura superior que pesam $0,2\text{KN/m}^2$;
- Nas fachadas transversais (eixos 1 e 7), existem vidros estanques ao vento que pesam $0,4\text{KN/m}^2$;
- A laje de concreto, no segundo pavimento, tem 10 cm de espessura, é maciça e armada apenas na direção do menor lado de cada painel (a relação entre os lados dos painéis supera a 2);
- Os forros falsos nos tetos do primeiro e do segundo pavimento pesam $0,2\text{KN/m}^2$ e possuem aberturas que permitem a passagem do vento;
- O revestimento do piso do segundo pavimento pesa $0,5\text{KN/m}^2$;
- As telhas são trapezoidais de aço galvanizado, pintadas e pesam $0,07\text{KN/m}^2$;
- O peso estimado da estrutura metálica (exceto pilares) é de $0,17\text{KN/m}^2$ na cobertura e de $0,37\text{KN/m}^2$ no piso do segundo pavimento;
- O peso estimado dos perfis dos pilares é de $1,15\text{KN/m}$;

Com relação a sobrecarga, adotou-se:

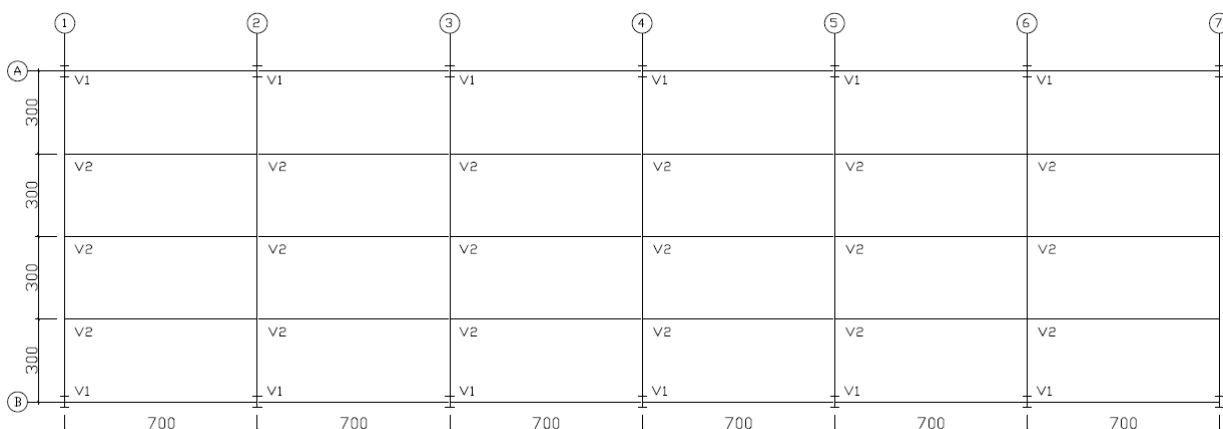
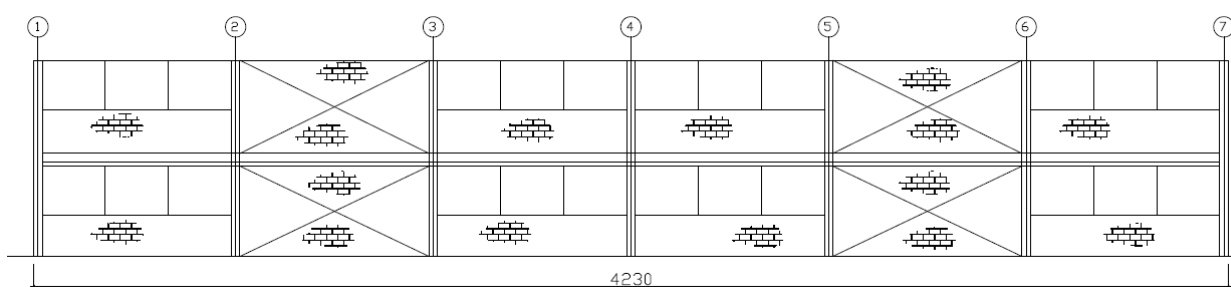
- De acordo com a ABNT NBR 6120, é de 2KN/m^2 no piso do segundo pavimento, e de acordo com a ABNT NBR 8800, de $0,25\text{KN/m}^2$ no telhado;
- Foi considerada uma carga adicional no piso do segundo pavimento de 1KN/m^2 , devido a colocação de paredes divisórias móveis;

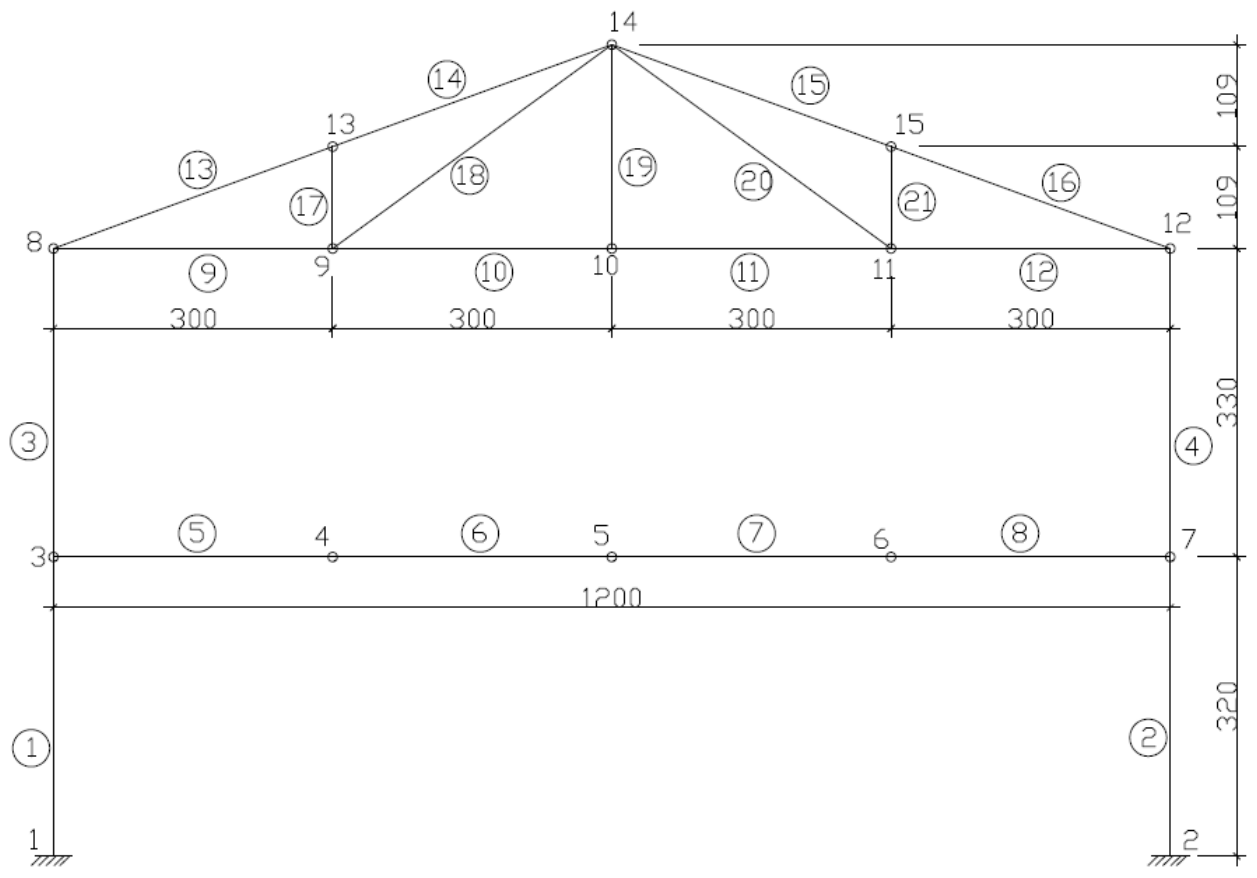
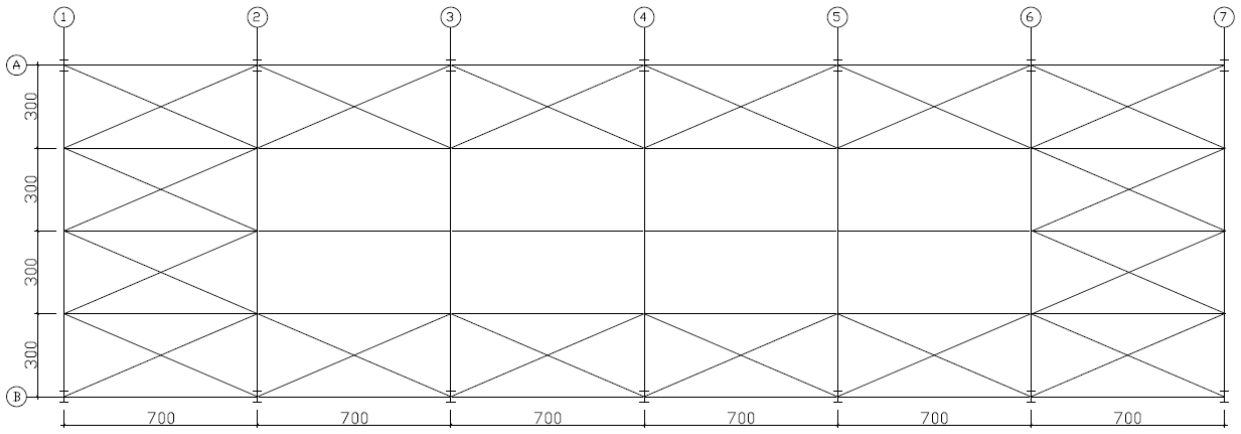
Para a determinação das forças devidas ao vento, sabe-se que:

- O edifício situa-se em um subúrbio densamente construído de uma grande cidade brasileira, onde a velocidade básica do vento é de 35m/s ;
- O edifício não se encontra sujeito a vento de alta turbulência, uma vez que sua altura supera a duas vezes a altura média das construções situadas num raio de 500m ;
- Foram desconsideradas excentricidades das forças de vento, uma vez que o edifício não possui forma paralelepípedica (o telhado inclinado tem dimensões de tamanho significativo a altura das paredes).

As forças transversais que atuam no edifício, devidas ao vento, juntamente com a carga permanente e a sobrecarga, são resistidas pelos pórticos transversais situados no eixo 1 a 7, que possuem os pilares engastados na base (não dimensionadas neste trabalho) na sua direção e a viga do piso do segundo pavimento ligada rigidamente a esses pilares. Os pórticos são todos iguais. As forças longitudinais são suportadas pelos contraventamentos (não dimensionados neste trabalho) em X da cobertura, situados entre os eixos 1 e 2 e entre os eixos 6 e 7 e pelos contraventamentos verticais em X (não dimensionados neste trabalho) situados entre os eixos 2 e 3 e entre os eixos 5 e 6 nas filas A e B (os pilares são rotulados na base na direção longitudinal).

A laje de concreto do piso do 2º pavimento e a cobertura, pelo fato de possuir contraventamentos também no sentido longitudinal do edifício, comportam-se como diafragmas.





4.1 DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS

4.1.1 Verificação das ações dispostas sobre os pórticos

a) Cargas permanentes

- No 2º Piso:

Laje concreto	0,10x25	= 2,5 KN/m ²
Forro		= 0,20 KN/m ²
Piso (revestimento)		= 0,50 KN/m ²
Peso estrutura		= 0,37 KN/m ²
		<hr/>
		3,57 KN/m ²

Pilares = 1,15 KN/m

Para os eixos 1-2, 3-4, 4-5 e 6-7

Alvenaria	$2,0x\frac{3,3}{2}$	= 3,3 KN/m
-----------	---------------------	------------

Janela	$2,0x\frac{3,3}{2}$	= 0,33 Kn/m
--------	---------------------	-------------

3,63 KN/m

Para os eixos 2-3 e 5-6

Alvenaria	2,0x3,3	= 6,6 KN/m
-----------	---------	------------

- Cobertura:

Telhas		= 0,07 KN/m ²
--------	--	--------------------------

Peso da estrutura		= 0,17 KN/m ²
-------------------	--	--------------------------

Forro		= 0,20 KN/m ²
-------	--	--------------------------

0,44 KN/m²

Cargas permanentes nos nós:

Nós 8 e 12

Cobertura	0,17x7,0x1,5	= 4,62 KN
-----------	--------------	-----------

Pilar	1,15x3,3	= 3,80 KN
-------	----------	-----------

8,42 KN

Nós 13, 14, e 15

Estrutura $0,17 \times 7,0 \times 3,0 = 3,57 \text{ KN}$

Telhas $0,07 \times 7,0 \times 3,0 = 1,47 \text{ KN}$

5,04 KN

Nós 9,10 e 11

Forro $0,20 \times 7,0 \times 3,0 = 4,20 \text{ KN}$

Eixos 2, 3, 5 e 6

Carga superficial permanente do 2º piso $3,57 \times 7,0 \times 1,5 = 37,49 \text{ KN}$

Carga do Pilar $1,15 \times 3,20 = 3,68 \text{ KN}$

Carga das paredes e janelas sobre a viga V1 $\left(3,63 \frac{7,0}{2,0}\right) + \left(6,6 \frac{7,0}{2,0}\right) = 35,80 \text{ KN}$

76,97 KN

Eixo 4:

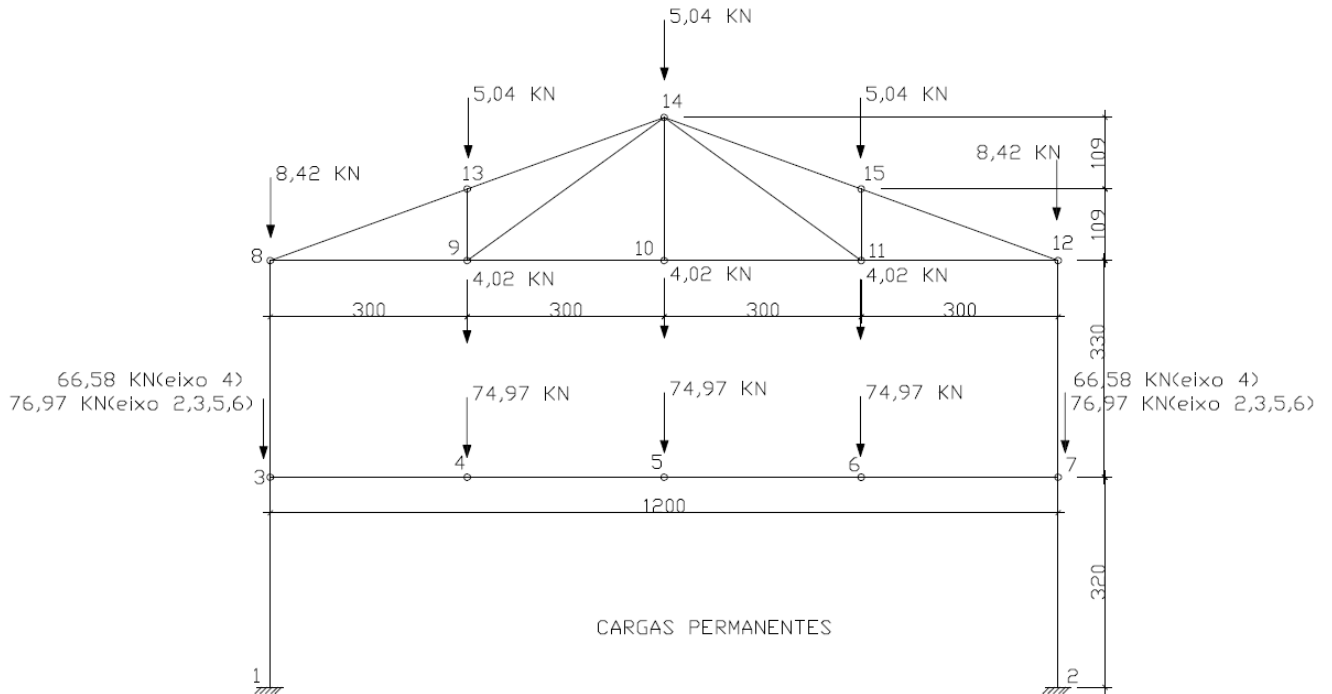
Carga superficial do 2º piso $3,57 \times 7,0 \times 1,5 = 37,49 \text{ KN}$

Carga do pilar $1,15 \times 3,20 = 3,68 \text{ KN}$

Carga das paredes sobre a viga V1 $3,63 \times 7,0 = 25,41 \text{ KN}$

66,58 KN

Carga superficial permanente do 2º piso $3,57 \times 7,0 \times 3,0 = 74,97 \text{ KN}$



b) Sobrecargas

- No 2º Piso:

Sobrecarga de utilização

$$= 2,0 \text{ KN/m}^2$$

Sobrecarga adicional

$$= 1,0 \text{ KN/m}^2$$

$$3,0 \text{ KN/m}^2$$

- Cobertura:

Conforme NBR 800, sobrecarga no telhado = 0,25 KN/m²

Sobrecarga nos nós 8 e 12:

Sobrecarga na cobertura 0,25x7,0x1,5 = 2,63 KN

Nós 13,14 e 15

Sobrecarga na cobertura 0,25x7,0x3,0 = 5,25 KN

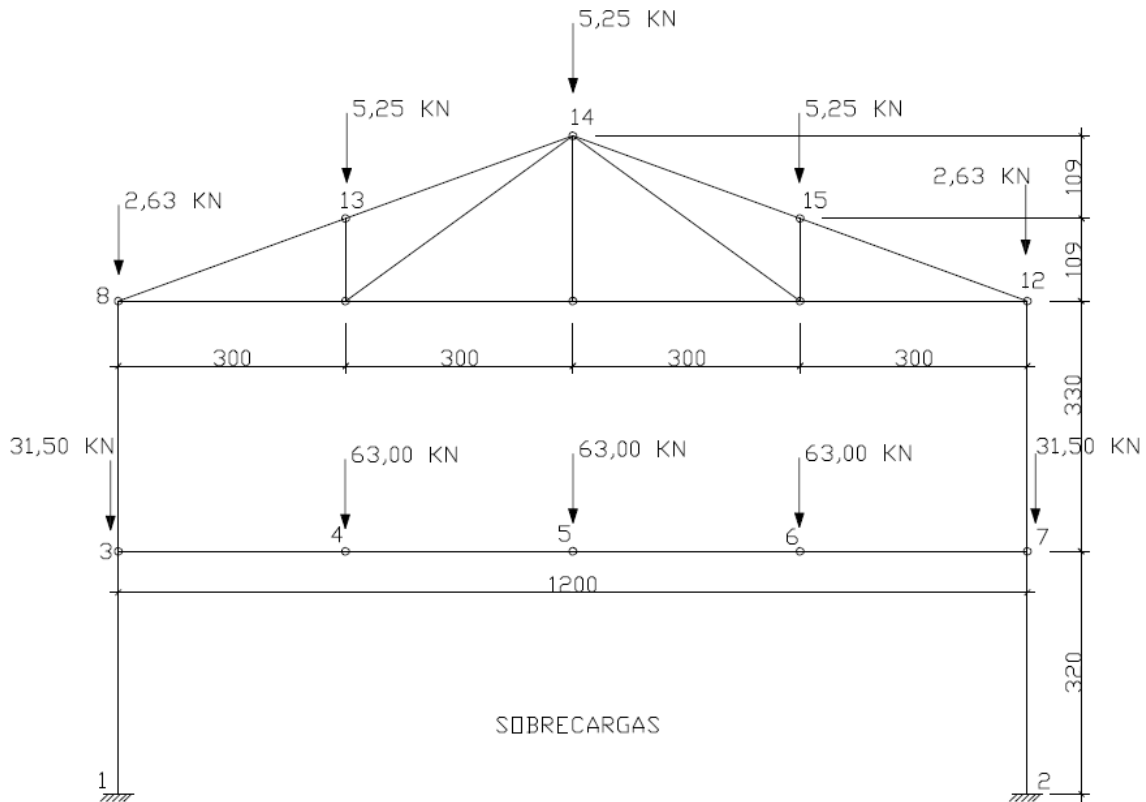
- No 2º Piso:

Nós 3 e 7

Sobrecarga superficial de utilização e adicional $(2,0+1,0) \times 7,0 \times 1,5 = 31,50 \text{ KN}$

Nós 4, 5 e 6

Sobrecarga superficial de utilização e adicional $(2,0+1,0) \times 7,0 \times 3,0 = 63,0 \text{ KN}$



Cargas devido ao vento transversal

$$V_0 = 35 \text{ m/s}$$

$S_1 = 1,0$ (terreno plano)

$S_2 = 0,76$ para altura até 5,0 m e 0,83 para altura de 5,0 a 10 m (Categoria IV, classe B)

$S_3 = 1,0$ (Grupo 2)

Para altura até 5,0 m:

Velocidade característica:

$$V_k = S_1 \times S_2 \times S_3 \times V_0$$

Pressão dinâmica

$$q = 0,613 \times \frac{V_k^2}{10^3} \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$V_k = 1,0 \times 0,76 \times 1,0 \times 35$$

$$q = 0,613 \times \frac{26,6^2}{1 \times 10^3} = 0,43 \text{ KN/m}^2$$

$$V_k = 26,6 \text{ m/s}$$

Para altura de 5,0 até 10,0 m:

Velocidade característica:

$$V_k = 1,0 \times 0,83 \times 1,0 \times 35$$

$$q = 0,613 \times \frac{29,05^2}{1 \times 10^3}$$

$$V_k = 29,05 \text{ m/s}$$

$$q = 0,52 \text{ KN/m}^2$$

Como a estrutura comporta-se como diafragma:

Para $h \leq 5,0 \text{ m}$

$$q_p = 0,43 \times \frac{42}{7 \text{ pórticos}} = 2,58 \text{ KN/m}$$

Para h entre 5,0 e 10,0 m

$$q_p = 0,52 \times \frac{42}{7 \text{ pórticos}} = 3,12 \text{ KN/m}$$

Coefficiente de forma externo:

Nas paredes: Tab. 4

$$\frac{h}{b} = \frac{6,50}{12} = 0,54$$

$$\frac{a}{b} = \frac{42}{12} = 3,5$$

Para vento 90°

Barlavento: $C_e = 0,7$

Sotavento: $C_e = -0,6$

De acordo com item 3.4.5 $C_{pi} = +0,2$

No telhado: Tab. 5

$$\theta = \text{arc tg } \frac{2,18}{6,0}$$

$$\theta \cong 20^\circ$$

Para vento 90°

Barlavento: $C_e = -0,7$

Sotavento: $C_e = -0,5$

Forças finais nos pórticos internos ao vento 90°

Para altura até 5,0 m nas paredes

Barlavento:

$$\begin{aligned} q_v &= C \cdot q & C &= C_e - C_{pi} \\ q_v &= 0,5 \cdot 2,58 & C &= 0,7 - (+0,2) \\ q_v &= 1,29 \text{ KN/m} & C &= 0,5 \end{aligned}$$

Sotavento

$$\begin{aligned} q_v &= C \cdot q & C &= C_e - C_{pi} \\ q_v &= 0,8 \cdot 2,58 & C &= -0,6 - (+0,2) \\ q_v &= 2,06 \text{ KN/m} & C &= -0,8 \end{aligned}$$

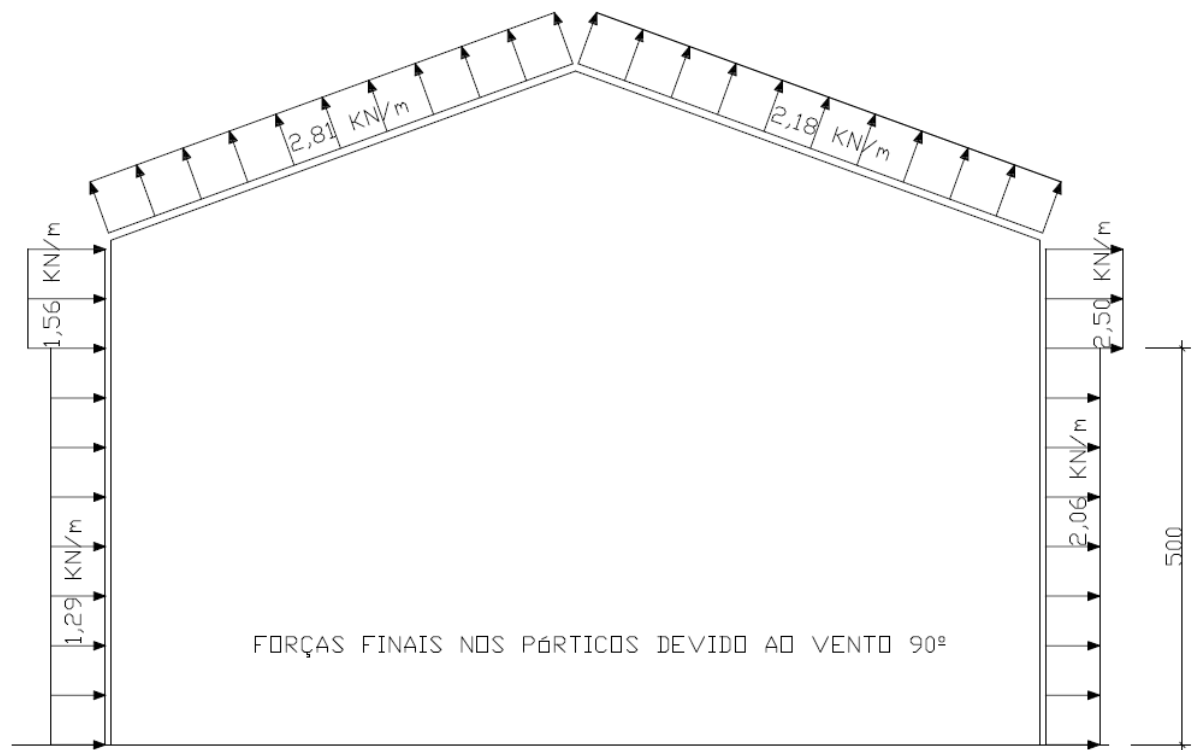
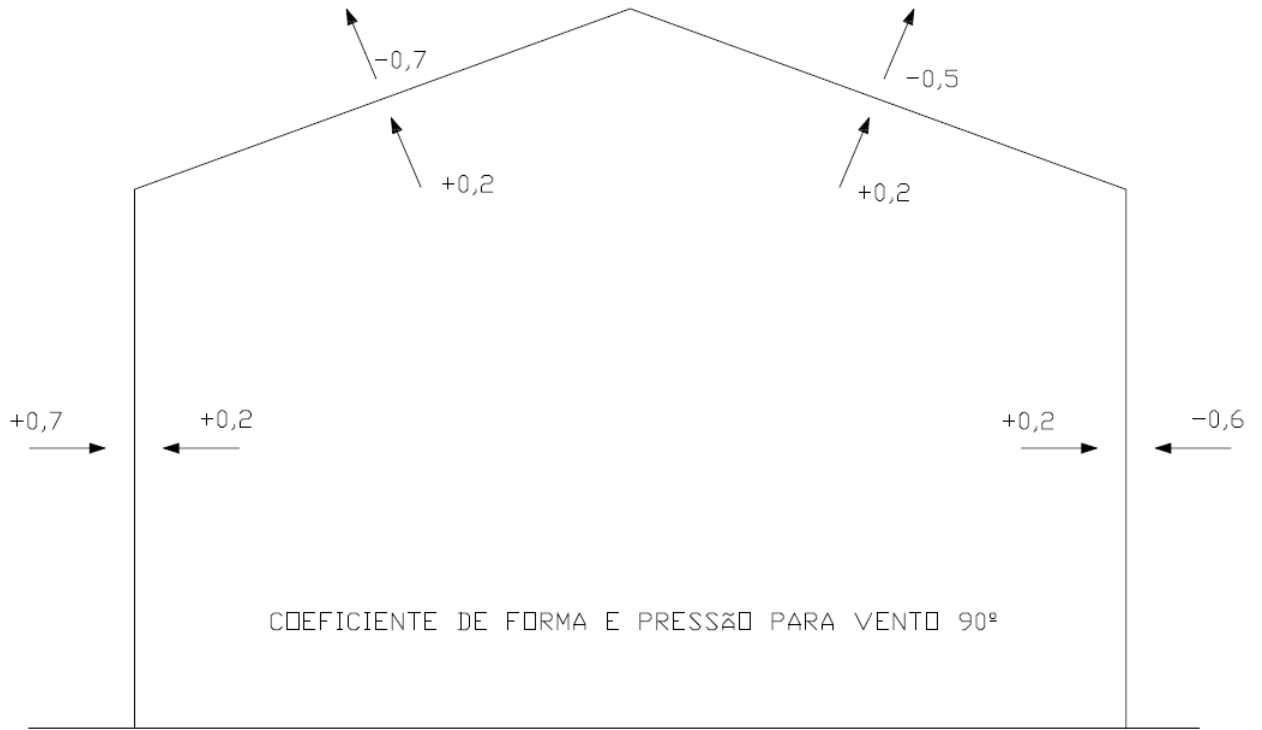
Para altura entre 5,0m e 10,0m nas paredes

Barlavento:

$$\begin{aligned} q_v &= C \cdot q & C &= C_e - C_{pi} \\ q_v &= 0,5 \cdot 3,12 & C &= 0,7 - (+0,2) \\ q_v &= 1,56 \text{ KN/m} & C &= 0,5 \end{aligned}$$

Sotavento

$$\begin{aligned} q_v &= C \cdot q & C &= C_e - C_{pi} \\ q_v &= 0,8 \cdot 3,12 & C &= -0,6 - (+0,2) \\ q_v &= 2,50 \text{ KN/m} & C &= -0,8 \end{aligned}$$



No telhado para vento 90°

Barlavento:

$$q_v = C \cdot q$$

$$C = C_e - C_{pi}$$

$$q_v = 0,9 \cdot 3,12$$

$$C = -0,7 - (+0,2)$$

$$q_v = 2,81 \text{ KN/m}$$

$$C = -0,9$$

Sotavento

$$q_v = C \cdot q$$

$$C = C_e - C_{pi}$$

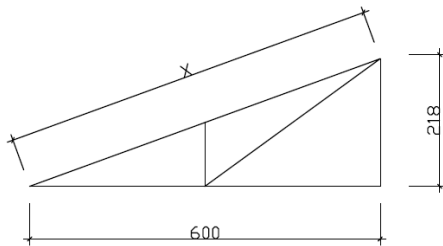
$$q_v = 0,7 \cdot 3,12$$

$$C = -0,5 - (+0,2)$$

$$q_v = 2,18 \text{ KN/m}$$

$$C = -0,7$$

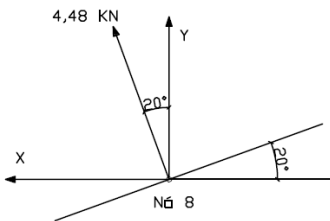
Forças nos nós do pórtico devido ao vento 90°



$$X = \sqrt{2,18^2 + 6,0^2}$$

$$X = 6,38 \text{ m}$$

Para nó 8:



$$2,81 \times \frac{6,38}{4} = 4,48 \text{ KN}$$

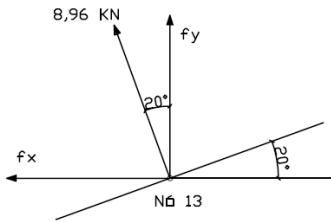
$$f_x = 4,48 \cdot \sin 20^\circ$$

$$f_y = 4,48 \cdot \cos 20^\circ$$

$$f_x = 1,53 \text{ KN}$$

$$f_y = 4,21 \text{ KN}$$

Para o nó 13:



$$2,81 \times \frac{6,38}{2} = 8,96 \text{ KN}$$

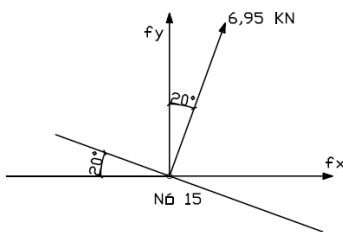
$$f_x = 8,96 \sin 20^\circ$$

$$f_x = 3,06 \text{ KN}$$

$$f_y = 8,96 \cos 20^\circ$$

$$f_y = 8,42 \text{ KN}$$

Para o nó 15:



$$2,18 \times \frac{6,38}{2} = 6,95 \text{ KN}$$

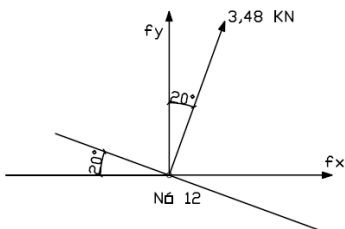
$$f_x = 6,95 \sin 20^\circ$$

$$f_x = 2,38 \text{ KN}$$

$$f_y = 6,95 \cos 20^\circ$$

$$f_y = 6,53 \text{ KN}$$

Para o nó 12:



$$2,18 \times \frac{6,38}{4} = 3,48 \text{ KN}$$

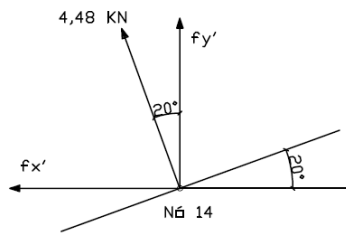
$$f_x = 3,48 \sin 20^\circ$$

$$f_x = 1,19 \text{ KN}$$

$$f_y = 3,48 \cos 20^\circ$$

$$f_y = 3,27 \text{ KN}$$

Para o nó 14:



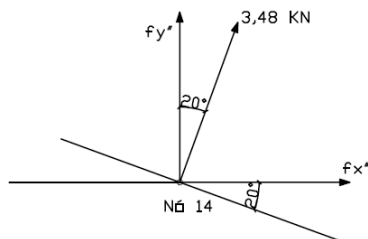
$$2,81 \times \frac{6,38}{4} = 4,48 \text{ KN}$$

$$f_{x'} = 4,48 \text{ sen } 20^\circ$$

$$f_{x'} = 1,53 \text{ KN}$$

$$f_{y'} = 4,48 \text{ cos } 20^\circ$$

$$f_{y'} = 4,21 \text{ KN}$$



$$2,18 \times \frac{6,38}{4} = 3,48 \text{ KN}$$

$$f_{x''} = 3,48 \cdot \text{sen } 20^\circ$$

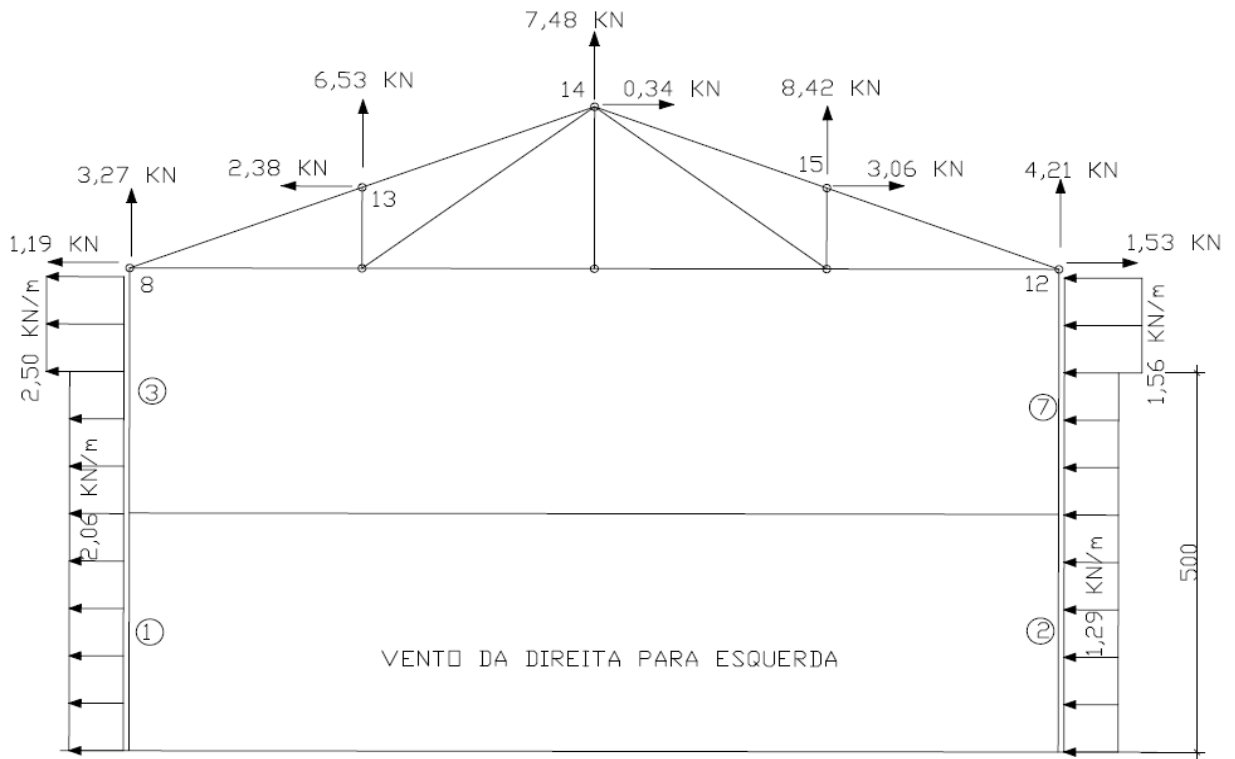
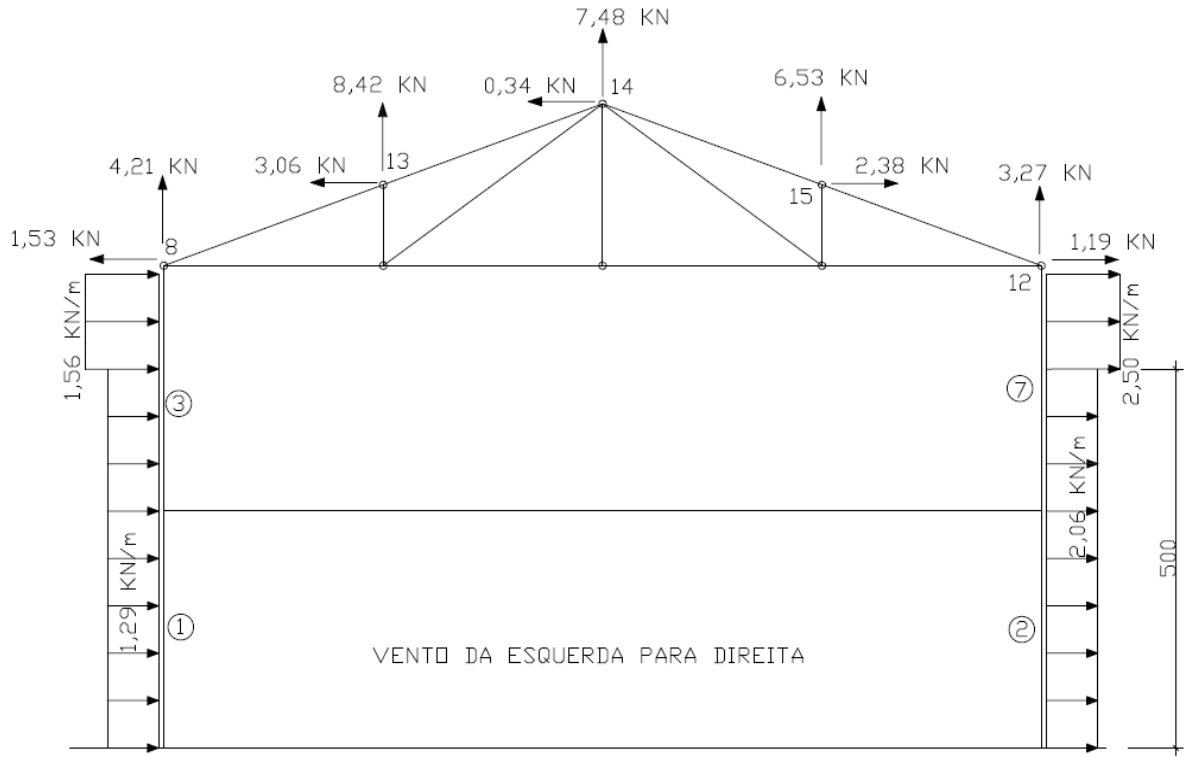
$$f_{x''} = 1,19 \text{ KN}$$

$$f_{y''} = 3,48 \cdot \text{cos } 20^\circ$$

$$f_{y''} = 3,27 \text{ KN}$$

$$\therefore f_x = f_{x'} + f_{x''} \rightarrow f_x = -1,53 + 1,19 = -0,34 \text{ KN (para esquerda)}$$

$$\therefore f_y = f_{y'} + f_{y''} \rightarrow f_y = 4,21 + 3,27 = 7,48 \text{ KN}$$



4.1.2 Pré-dimensionamento das barras que compõem os pórticos internos

- a) Pilares (Barras 1 a 4)
Pré dimensionado com W 250 x 115,0 – AST A572 – Grau 50 Gerdau
- b) Viga do pórtico (Barras 5 a 8)
Pré dimensionadas com VS 550 x 64 ABNT NBR 5884 USI CIVII 300
- c) Cordas inferior (Barras 9 a 12) e superior (barras 13 a 16) da treliça
L – 76,20 x 12,70 ASTM – A36
- d) Montantes (Barras 17,19 e 21) e as diagonais (Barras 18 e 20)
L – 63,50 x 9,525 ASTM – A36

4.1.3 Obtenção das combinações ultimas

1º Combinação

CP com imp. mat.

1,4 CP

2º Combinação

CP + SC com imp. mat.

1,4 CP + 1,4 SC

3º Combinação

CP + V com imp. mat.

1,4 CP + 1,4 V

4º Combinação

$CP_{fav} + V$

1,0 CP + 1,4 V

5º Combinação

CP + V_p + SC com imp. mat.

1,4 CP + 1,4 V + 1,4 x 0,8 SC

6º Combinação

CP + SC_p + V com imp. mat.

1,4 CP + 1,4 SC + (1,4 x 0,6 V)

4.1.4 Análise estrutural considerando a 5ª combinação obtida

5ª Combinação

CP + Vp + SC com imp. mat.

$$1,4 \text{ CP} + 1,4 \text{ V} + 1,4 \times 0,8 \text{ SC}$$

Nós 3 e 7 (eixos 2, 3, 5 e 6) forças verticais

$$S_d = 1,4 \times 76,97 + 1,4 \times 0 + 1,4 \times 0,8 \times 31,5$$

$$S_d = 143,04 \text{ KN}$$

Nós 3 e 7 (eixo 4)

$$S_d = 1,4 \times 66,54 + 1,4 \times 0 + 1,4 \times 0,8 \times 31,5$$

$$S_d = 128,44 \text{ KN}$$

Nós 4, 5, 6

$$S_d = 1,4 \times 74,97 + 1,4 \times 0 + 1,4 \times 0,8 \times 63$$

$$S_d = 176,92 \text{ KN}$$

Nó 8 (vertical)

$$S_d = 1,4 \times 8,42 - 1,4 \times 4,21 + 1,4 \times 0,8 \times 2,63$$

$$S_d = 8,84 \text{ KN}$$

Nós 9, 10 e 11

$$S_d = 1,4 \times 4,20 + 1,4 \times 0 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = 5,88 \text{ KN}$$

Nós 8 Carga Horizontal

$$S_d = 1,4 \times 0 - 1,4 \times 1,53 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = -2,14 \text{ KN}$$

Nó 12 Carga Horizontal

$$S_d = 1,4 \times 0 - 1,4 \times 1,19 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = -1,67 \text{ KN}$$

Nó 13 Carga Horizontal

$$S_d = 1,4 \times 0 - 1,4 \times 3,06 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = -4,28 \text{ KN}$$

Nó 14 Carga Horizontal

$$S_d = 1,4 \times 0 - 1,4 \times 0,34 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = -0,48 \text{ KN}$$

Nó 15 Carga Horizontal

$$S_d = 1,4 \times 0 + 1,4 \times 2,38 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = 3,33 \text{ KN}$$

Barra 1 Carga Horizontal distribuída

$$S_d = 1,4 \times 0 + 1,4 \times 1,29 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = 1,81 \text{ KN/m}$$

Barra 2 Carga Horizontal distribuída

$$S_d = 1,4 \times 0 + 1,4 \times 2,06 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = 2,88 \text{ KN/m}$$

Barra 3 Carga Horizontal distribuída até 5,0 m

$$S_d = 1,4 \times 0 + 1,4 \times 1,29 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = 1,81 \text{ KN/m}$$

Barra 3 Carga Horizontal distribuída acima de 5,0 m

$$S_d = 1,4 \times 0 + 1,4 \times 1,56 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$S_d = 2,18 \text{ KN/m}$$

Barra 4 Carga Horizontal distribuída até 5,0 m

$$Sd = 1,4 \times 0 + 1,4 \times 2,06 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$Sd = 2,88 \text{ KN/m}$$

Barra 4 Carga Horizontal distribuída acima de 5,0 m

$$Sd = 1,4 \times 0 + 1,4 \times 2,50 + 1,4 \times 0,8 \times 0$$

$$Sd = 3,50 \text{ KN/m}$$

Nó 12 (Vertical)

$$Sd = 1,4 \times 8,42 - 1,4 \times 3,27 + 1,4 \times 0,8 \times 2,63$$

$$Sd = 10,16 \text{ KN}$$

Nó 13 (Vertical)

$$Sd = 1,4 \times 5,04 - 1,4 \times 8,42 + 1,4 \times 0,8 \times 5,25$$

$$Sd = 1,15 \text{ KN}$$

Nó 14 (Vertical)

$$Sd = 1,4 \times 5,04 - 1,4 \times 7,48 + 1,4 \times 0,8 \times 5,25$$

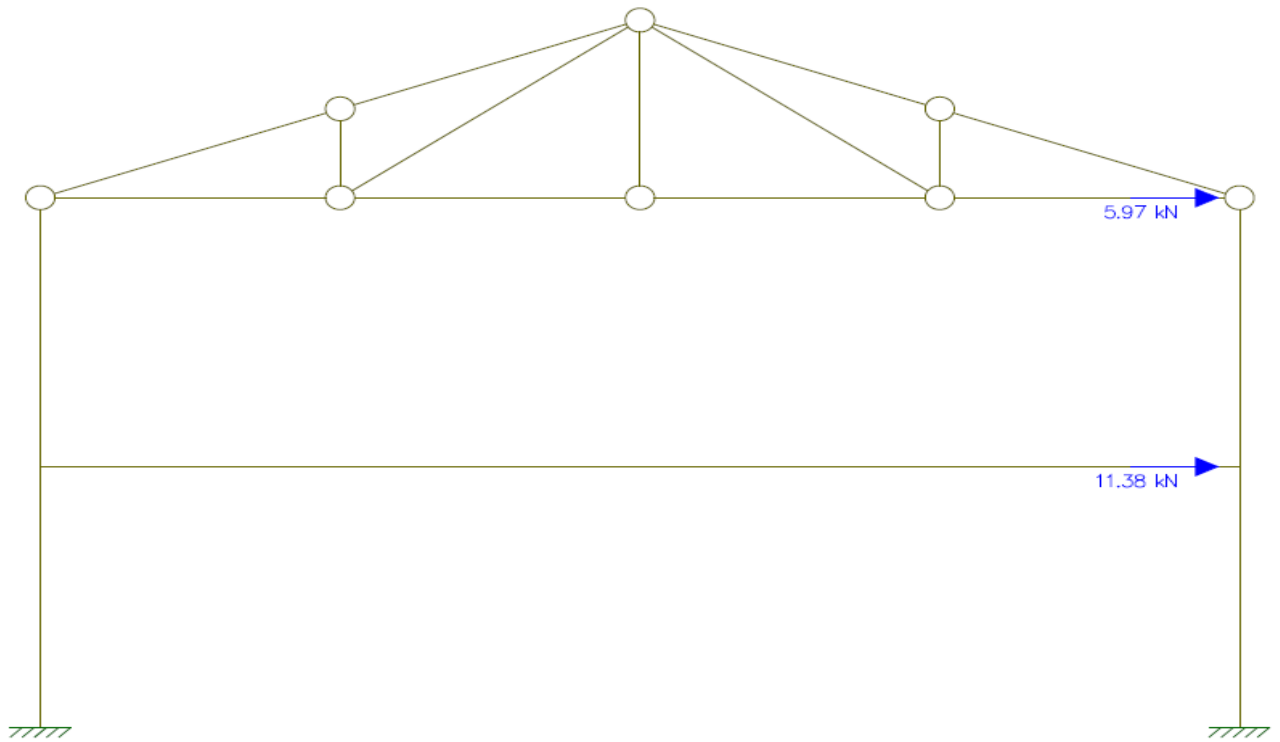
$$Sd = 2,46 \text{ KN}$$

Nó 15 (Vertical)

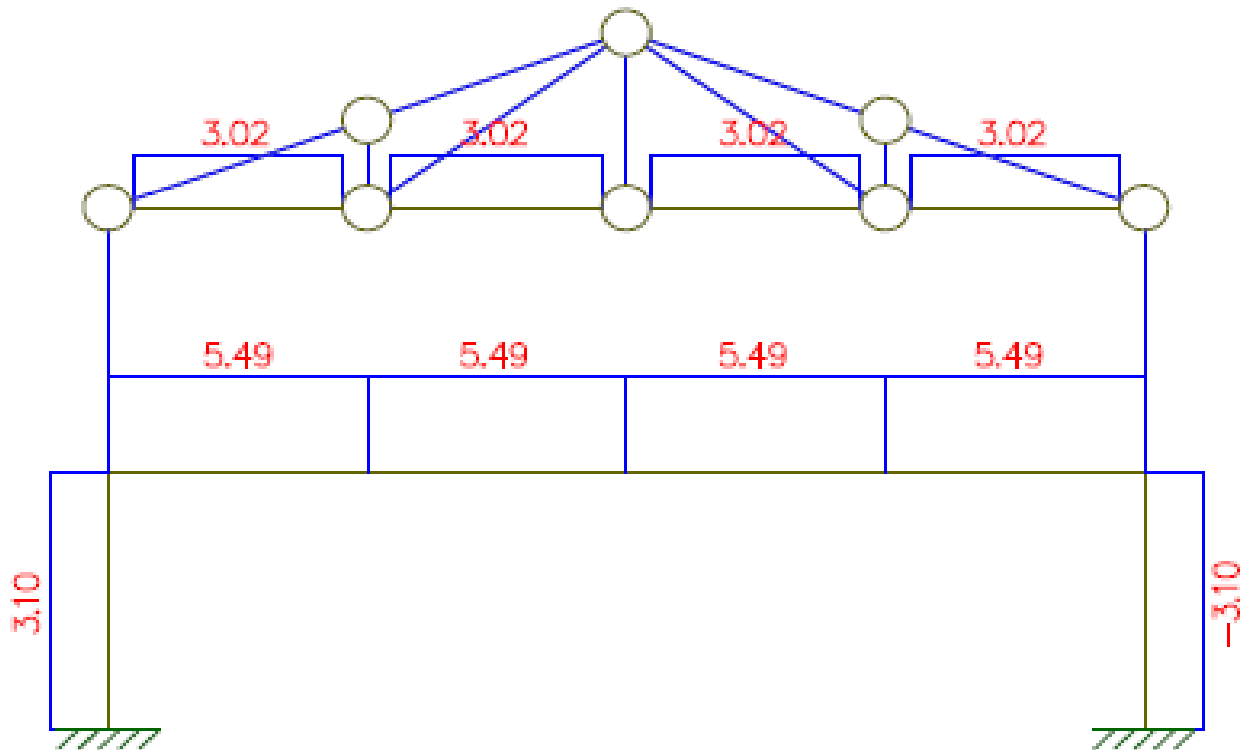
$$Sd = 1,4 \times 5,04 - 1,4 \times 6,53 + 1,4 \times 0,8 \times 5,25$$

$$Sd = 3,79 \text{ KN}$$

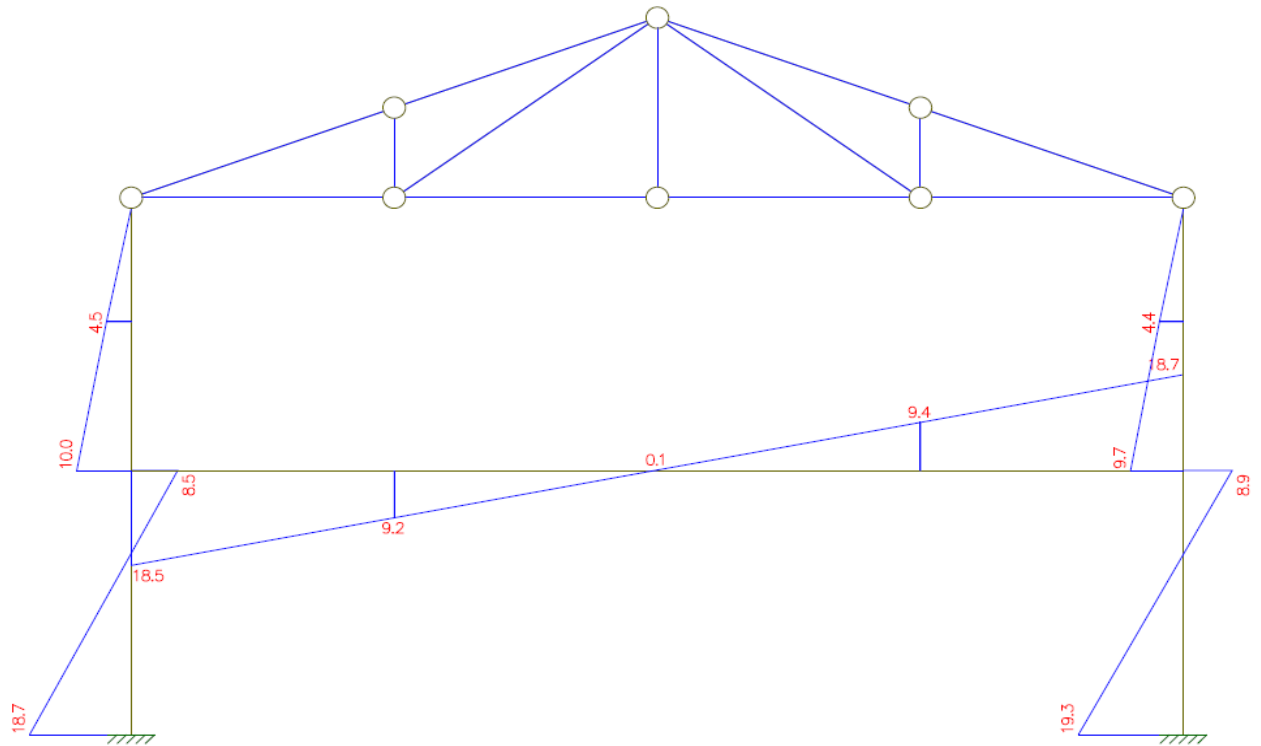
ESTRUTURA LT



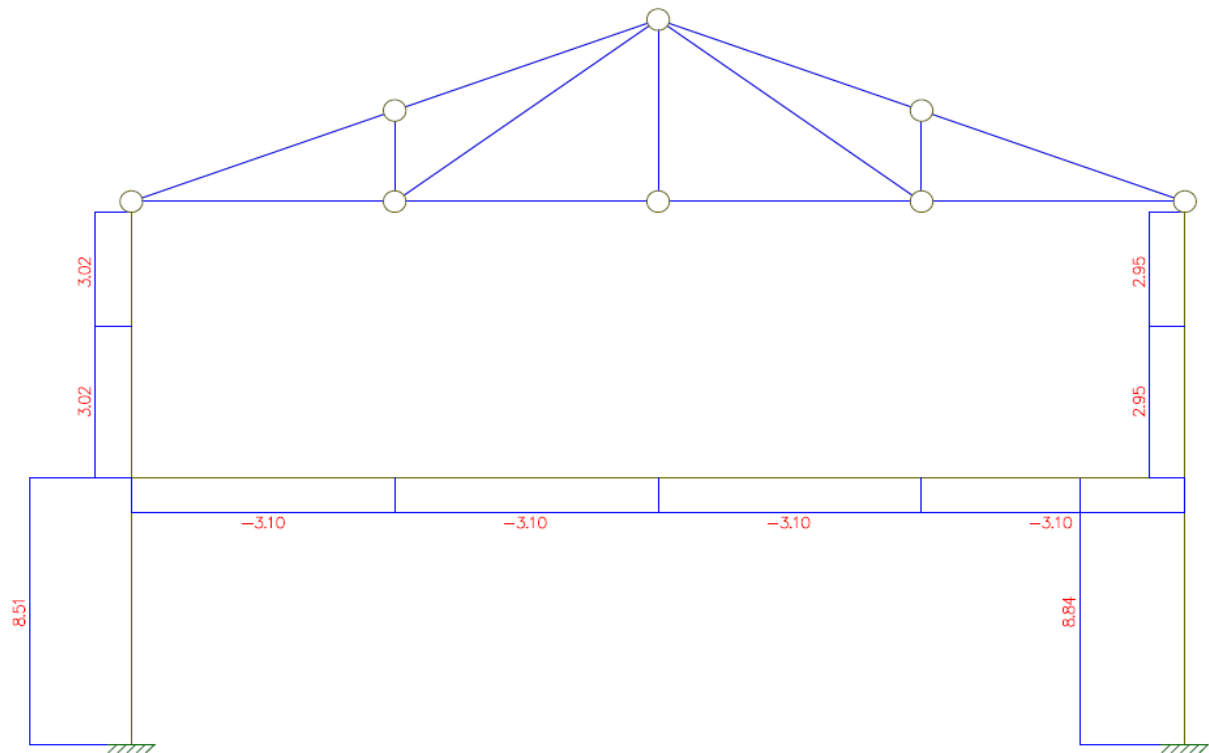
ESTRUTURA LT – DIAGRAMA DE FORÇA AXIAL



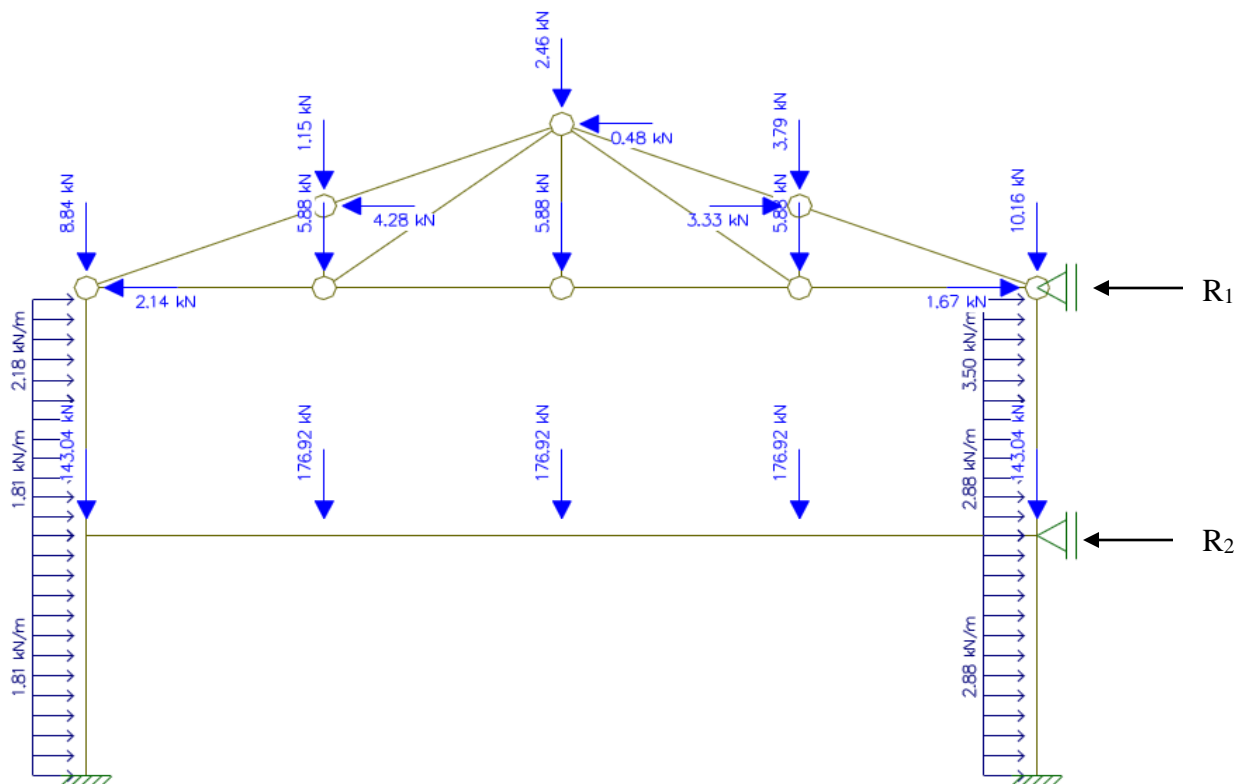
ESTRUTURA LT – DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR



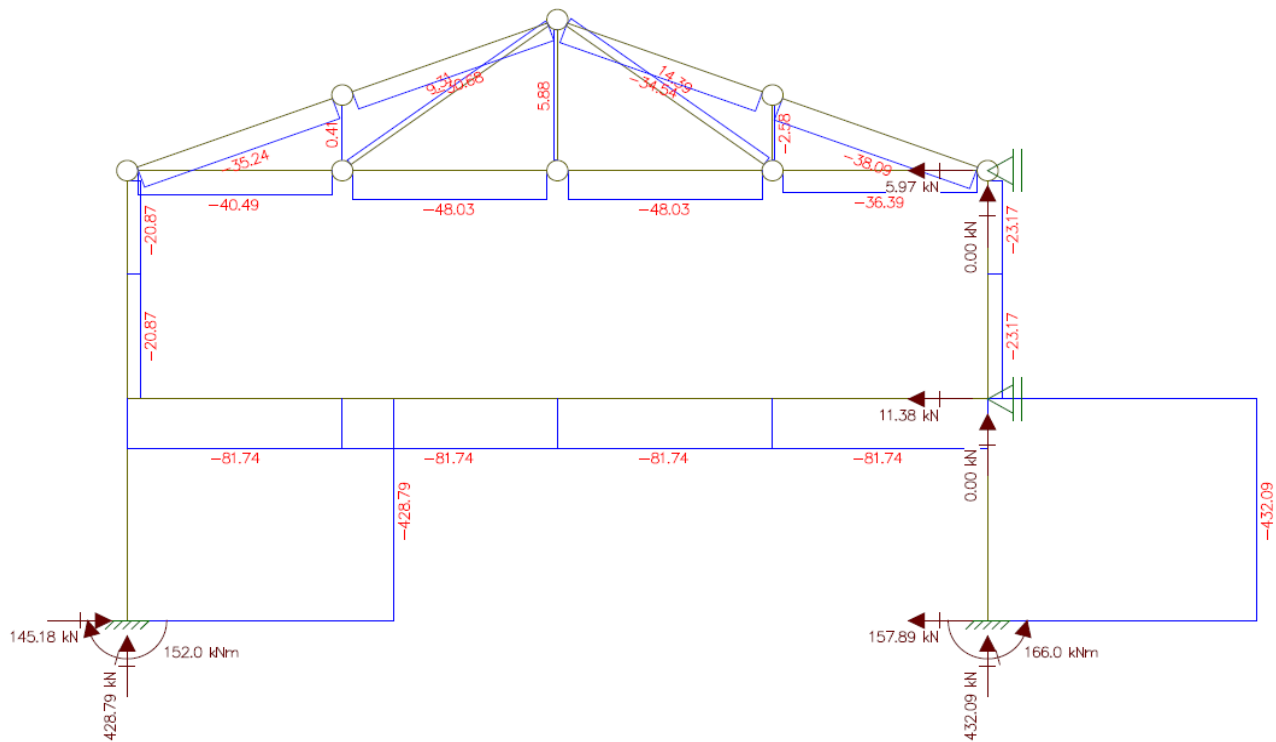
ESTRUTURA LT – DIAGRAMA DE ESFORÇO CORTANTE



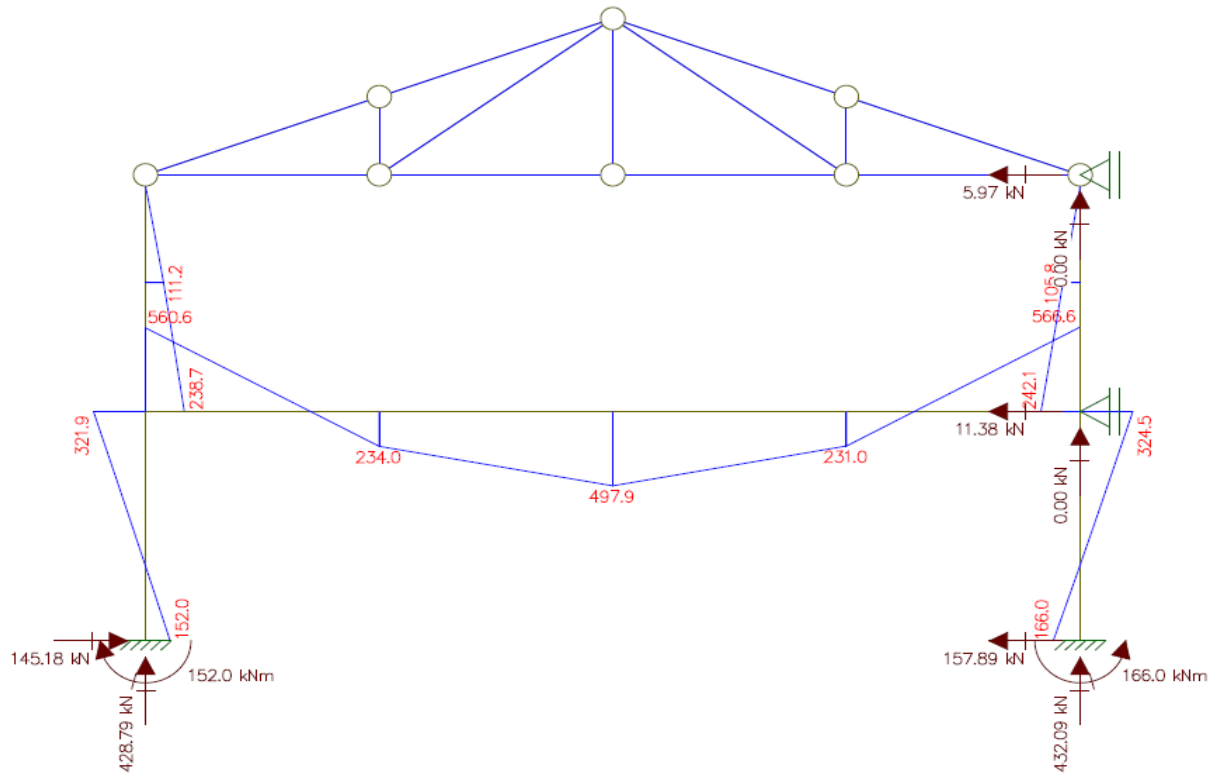
ESTRUTURA NT



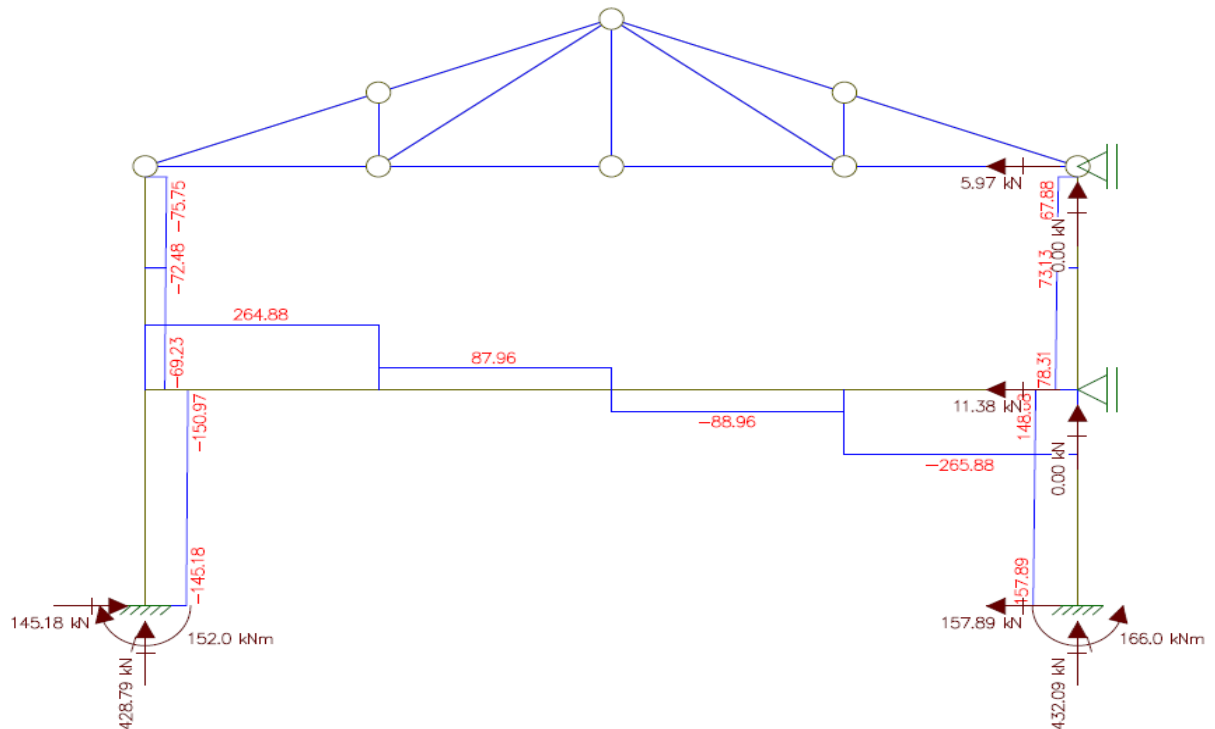
ESTRUTURA NT – DIAGRAMA DE FORÇA AXIAL



ESTRUTURA NT – DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR



ESTRUTURA NT – DIAGRAMA DE ESFORÇO CORTANTE



Cálculo de B1

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{N_{sd1}}{N_e}} \geq 1,0 \text{ (Ver os valores na tabela seguinte)}$$

Cálculo de B2

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{R_s} \frac{\Delta h}{h} \frac{\sum N_{sd}}{\sum H_{sd}}}$$

1º Andar

$$\sum N_{sd} = 8,84 + 1,15 + 2,46 + 3,79 + 10,16 + (3 \times 5,88) + (2 \times 143,04) + (3 \times 176,92) = \sum$$

$$N_{sd} = 860,88 \text{ KN}$$

$$\Delta h = 0,14 - 0$$

$$\Delta h = 0,14 \text{ cm}$$

$$H_{sd} = 5,97 + 11,38$$

$$H_{sd} = 17,35 \text{ KN}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{0,85} \times \frac{0,14}{820} \times \frac{860,88}{17,85}}$$

$$B_2 = 1,03$$

2º Andar

$$\sum N_{sd} = 8,84 + 1,15 + 2,46 + 3,79 + 10,16 + (3 \times 5,88) = 44,04 \text{ KN}$$

$$\Delta h = 0,38 - 0,14 = 0,24 \text{ cm}$$

$$H_{sd} = 5,97 \text{ KN}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{0,85} \times \frac{0,24}{880} \times \frac{44,04}{5,97}}$$

$$B_2 = 1,01$$

A estrutura é considerada de pequena deslocabilidade, pois os valores de B_2 foram inferiores a 1,10.

Cálculo de B_1 :

BARRA	$C_m = 0,60 - 0,40$ (M_1/M_2)	$N_{sd1} = N_{nt} + N_{lt}$ (KN)	$N_e = \pi^2 0,8(EL)/L^2$ (KN)	B_1
1	1,0	-428,79 + 3,1= -425,69	$3,14^2 \times 0,8 \times \frac{2.000 \times 18920}{320^2}$ = 29147,44	1,01
2	1,0	-423,09 - 3,1= -426,19	$3,14^2 \times 0,8 \times \frac{2.000 \times 18920}{320^2}$ = 29147,44	1,01
3	1,0	-20,88 + 0= -20,88	$3,14^2 \times 0,8 \times \frac{2.000 \times 18920}{330^2}$ = 27407,70	1,0
4	1,0	-23,17 + 0= -23,17	$3,14^2 \times 0,8 \times \frac{2.000 \times 18920}{330^2}$ = 27407,70	1,0
5	$0,60 - 0,40 \times \left(\frac{234,0}{560,6}\right)$ = 0,43	-81,74 + 5,49= -76,25	$3,14^2 \times 0,8 \times \frac{2.000 \times 42556}{300^2}$ = 74592,91	0,43 Usar 1,0
6	$0,60 - 0,40 \left(\frac{234,0}{497,9}\right)$ = 0,41	-81,74 + 5,49= -76,25	$3,14^2 \times 0,8 \times \frac{2.000 \times 42556}{300^2}$ = 74592,91	0,41 Usar 1,0
7	$0,60 - 0,4 \left(\frac{231,0}{497,9}\right)$	-81,74 + 5,49	$3,14^2 \times 0,8 \times \frac{2.000 \times 42556}{300^2}$	0,41

	= 0,41	= -76,25	= 74592,91	Usar 1,0
8	$0,60 - 0,40 \left(\frac{231,0}{566,6} \right)$ = 0,44	-81,74 + 5,49 = -76,25	$3,14^2 \times 0,8 \times \frac{2.000 \times 42556}{300^2}$ = 74592,91	0,44 Usar 1,0

Valores dos esforços solicitantes:

BARRA	$N_{sd} = N_{nt} + B_2 N_{lt}$	$V_{sd} = V_{nt} + V_{lt}$	$M_{sd} = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$
1	$-428,79 + 1,03 \times 3,1 =$ - 425,60 KN	$-150,97 + 8,51 =$ -142,46 KN (NÓ 1)	$1,01 \times 321,9 + 1,03 \times 8,5 =$ 333,87 KN x m (NÓ 3)
2	$-432,09 + 1,03 \times (-3,1) =$ -435,28 KN	$157,89 + 8,84 =$ 166,73 KN (NÓ 2)	$1,01 \times 324,5 + 1,03 \times 8,9 =$ 336,91 KN x m (NÓ 7)
3	$-20,87 + 1,01 \times 0 =$ -20,87 KN	$-72,75 + 3,02 =$ -69,73 KN (NÓ 8)	$1,0 \times (-236,7) + 1,01 \times (-10) =$ -248,8 KN x m (NÓ 3)
4	$-23,17 + 1,01 \times 0 =$ -23,17 KN	$78,31 + 2,95 =$ 81,26 KN (NÓ 7)	$1,0 \times (-242,1) + 1,01 \times -9,7 =$ -251,90 KN x m (NÓ 7)
5	$-81,74 + 1,03 \times 5,49 =$ -76,09 KN	$264,88 + (-3,10) =$ 261,78 KN	$1,0 \times (-238,7) + 1,03 \times 18,5 =$ -219,65 KN x m (NÓ 3)
6	$-81,74 + 1,03 \times 5,49 =$ -76,09 KN	$87,96 + (-3,10) =$ 84,86 KN	$1,0 \times 497,9 + 1,03 \times (-0,1) =$ 497,80 KN x m (NÓ 5)
7	$-81,74 + 1,03 \times 5,49 =$	$-88,96 + (-3,10) =$	$1,0 \times 497,9 + 1,03 \times (-0,1) =$

	-76,09 KN	-92,06 KN	497,80 KN x m (NÓ 5)
8	$-81,74 + 1,03 \times 5,49 =$ -76,09 KN	$-265,88 + (-3,10) =$ -268,98 KN (NÓ 7)	$1,0 \times (-566,6) + 1,03 \times (-18,7) =$ -585,86 KN x m (NÓ 7)
9	$-40,49 + 1,01 \times 3,02 =$ -37,44 KN		
10	$-48,03 + 1,01 \times 3,02 =$ -44,98 KN		
11	$-48,03 + 1,01 \times 3,02 =$ -44,98 KN		
12	$-36,39 + 1,01 \times 3,02 =$ -33,34 KN		
13	$-35,24 + 1,01 \times 0 =$ -35,24 KN		
14	$-30,68 + 1,01 \times 0 =$ -30,68		
15	$-34,54 + 1,01 \times 0 =$ -34,54 KN		
16	$-38,09 + 1,01 \times 0 =$ -38,09		
17	$0,41 + 1,01 \times 0 =$ 0,41 KN		

18	$9,31 + 1,01 \times 0 =$ 9,31 KN		
19	$5,88 + 1,01 \times 0 =$ 5,88 KN		
20	$14,39 + 1,01 \times 0 =$ 14,39 KN		
21	$-2,58 + 1,01 \times 0 =$ -2,58 KN		

4.1.5 Cálculo das barras da treliça submetidas a força de tração

ASTM – A36 $f_y=250$ MPa, $f_u=450$ MPa

Barra 17

L=63,50 x 9,52 adotado na questão 2

Escoamento seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \times f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{22,32 \times 25}{1,10} = 507,27 \text{ KN}$$

$$N_{t,sd} = 0,41 \text{ KN}$$

$$A_g = 11,16 \times 2$$

$$A_g = 22,32 \text{ cm}^2 \text{ (dupla)}$$

Escoamento seção líquida L= 10cm

$$N_{t,rd} = \frac{A_s \times f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$N_{t,rd} = \frac{18,08 \times 45}{1,35}$$

$$N_{t,rd} = 602,67 \text{ KN}$$

$$A_e = C_t \times A_n$$

$$A_e = 0,81 \times 11,16$$

$$A_e = 9,04 \text{ cm}^2 \text{ (Simples)}$$

$$A_e = 2 \times 9,04$$

$$A_e = 18,08 \text{ cm}^2 \text{ (dupla)}$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}$$

$$C_t = 1 - \frac{1,93}{10}$$

$$C_t = 0,81$$

Esbeltez

$$\lambda_{\max} = \frac{l}{r_{\min}} = \frac{109}{1,91} = 57,07 < 300$$

Chapa espaçadora

$$\frac{l}{(r_{\min}) \cdot 1 \text{ cont.}} \leq 300$$

$$l \leq 300 \times 1,22$$

$$l \leq 366 \text{ cm}$$

Como $l = 109$, não necessitará de barra espaçadora

Barra 19

Escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \times f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{22,32 \times 25}{1,10} = 507,27 \text{ KN}$$

$$N_{t,Sd} = 9,31 \text{ KN}$$

$$A_g = 11,16 \times 2$$

$$A_g = 22,32 \text{ cm}^2 \text{ (dupla)}$$

Escoamento da seção líquida $L = 10\text{cm}$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_s \times f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{18,08 \times 45}{1,35}$$

$$N_{t,Rd} = 602,67 \text{ KN}$$

$$A_e = C_t \times A_n$$

$$A_e = 0,81 \times 11,16$$

$$A_e = 9,04 \text{ cm}^2 \text{ (Simples)}$$

$$A_e = 2 \times 9,04$$

$$A_e = 18,08 \text{ cm}^2 \text{ (dupla)}$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}$$

$$C_t = 1 - \frac{1,93}{10}$$

$$C_t = 0,81$$

Esbeltez

$$\lambda_{\max} = \frac{l}{\gamma_{\min}} = \frac{218}{1,91} = 114,14 < 300$$

Chapa espaçadora

$$\frac{l}{(r_{\min}) 1 \text{ cont.}} \leq 300$$

$$l \leq 300 \times 1,22$$

$$l \leq 366 \text{ cm}$$

Como $l = 218$, não necessitará de barra espaçadora

Barras 18 e 20

Escoamento seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \times f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{22,32 \times 25}{1,10} = 507,27 \text{ KN}$$

$$N_{tSd} = 5,88 \text{ KN}$$

$$A_g = 11,16 \times 2$$

$$A_g = 22,32 \text{ cm}^2 \text{ (dupla)}$$

Escoamento da seção líquida $L = 10 \text{ cm}$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \times f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{18,08 \times 45}{1,35}$$

$$N_{t,Rd} = 602,67 \text{ KN}$$

$$A_e = C_t \times A_n$$

$$A_e = 0,81 \times 11,16$$

$$A_e = 9,04 \text{ cm}^2 \text{ (Simples)}$$

$$A_e = 2 \times 9,04$$

$$A_e = 18,08 \text{ cm}^2 \text{ (Dupla)}$$

$$C_t = \frac{1 - e_c}{l_c}$$

$$C_t = 1 - \frac{1,93}{10}$$

$$C_t = 0,81$$

Esbeltez

$$\lambda_{\max} = \frac{l}{r_{\min}} = \frac{371}{1,91} = 194,24 < 300$$

$$L = \sqrt{3,0^2 + 2,18^2}$$

$$L = 3,71 \text{ m}$$

Chapa espaçadora

$$\frac{l}{(r \text{ min}) 1 \text{ cont.}} \leq 300$$

$$l \leq 300 \times 1,22$$

$$l \leq 366 \text{ cm}$$

Como $l = 371$, necessitará de 1 barra espaçadora

Como o perfil anterior passou com folga, diminui-se o perfil

ASTM – A36 $f_y = 225 \text{ MPa}$, $f_u = 450 \text{ MPa}$

Escoamento de seção bruta

$$L = 44,45 \times 3,17$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_f f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{3,71 \times 25}{1,10} = 84,32 \text{ KN}$$

Escoamento da seção líquida $L = 7 \text{ cm}$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_s f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{6,52 \times 45}{1,35}$$

$$N_{t,Rd} = 271,33 \text{ KN}$$

$$A_e = C_t \times N_a$$

$$A_e = 0,88 \times 3,71$$

$$A_e = 3,26 \text{ cm}^2 \text{ (Simples)}$$

$$A_e = 2 \times 3,26$$

$$A_e = 6,52 \text{ cm}^2 \text{ (Dupla)}$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}$$

$$C_t = 1 - \frac{1,22}{10}$$

$$C_t = 0,88$$

Esbeltez

Barra 17

$$\lambda_{\max} = \frac{l}{r_{\min}} = \frac{109}{1,40} = 77,85 < 300$$

Barra 19

$$\lambda_{\max} = \frac{l}{r_{\min}} = \frac{218}{1,40} = 155,71 < 300$$

Barras 18 e 20

$$\lambda_{\max} = \frac{l}{r_{\min}} = \frac{371}{1,40} = 265 < 300$$

Chapa espaçadora

Barra 17

$$\frac{l}{(r_{\min})_{\text{cont.}}} \leq 300$$

$$L \leq 300 \times 0,89 = 267 \text{ cm}$$

Sem barra pois $l = 109$

Barra 19

$$L \leq 300 \times 0,89 = 267 \text{ cm}$$

Sem barra pois $l = 218$

Barras 18 e 20

$$L \leq 300 \times 0,89 = 267 \text{ cm}$$

Sem barra pois $l = 371$

4.1.6 Cálculo das barras da treliça submetidas a força de compressão

Barra 10 L-76,20 x 12,70 ASTM – A36 (*Corda inferior*)

Propriedades geométricas

$$A_g = 2 \times 17,44 = 34,88 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 2 \times 91,0 = 182 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 2,29 \text{ cm (Para 1 cantoneira)}$$

$$I_y = 2 \left[91 + 17,48 \left(2,36 + \frac{1,3}{2} \right) \right] = 286,99 \text{ cm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{286,99}{34,88}} = 2,87 \text{ cm}$$

Flambagem Local

$$\frac{b}{t} = \frac{76,20}{12,70} = 6$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} =$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,45 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 12,73$$

$$\frac{b}{t} = 6 < \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 12,73$$

$$Q_s = 1 = Q$$

Instabilidade global

Força de flambagem por flexão e esbeltez em relação ao eixo x

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 20000 (2 \times 91)}{300^2} = 398,77 \text{ KN}$$

$$\lambda_x = \pi \sqrt{\frac{E A_g}{N_{\text{ex}}}} = 3,14 \sqrt{\frac{20000 \times 34,88}{398,77}} = 41,83 < 200$$

Força de flambagem por flexo-torção com flexão em relação ao eixo y e esbeltez correspondente.

$$N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \frac{4 N_{ey} N_{ez} \left[1 - \frac{y_0}{r_0} \right]}{(N_{ey} + N_{ez})^2} \right]$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E x I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 20000 \times 286,99}{300^2} = 628,80 \text{ KN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right]$$

$$N_{ez} = \frac{1}{4,06^2} (7700 \times 19,08)$$

$$N_{ez} = 8912,86 \text{ KN}$$

$$y_0 = 2,36 - \frac{1,27}{2} = 1,73 \text{ cm}$$

$$J = \frac{1}{3} \sum b t^3$$

$$J = \frac{1}{3} \times 2 \left[7,62 \times 1,27^3 + (7,62 - 1,27) \times 1,27^3 \right]$$

$$J = 19,08 \text{ cm}^4$$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_0^2 + Y_0^2}$$

$$r_0 = \sqrt{2,29^2 + 2,87^2 + 0 + 1,73^2}$$

$$r_0 = 4,06 \text{ cm}$$

$$N_{eyz} = \frac{628,80 + 8912,86}{2 \left[1 - \left(\frac{1,73}{4,06} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 628,80 \times 8912,86 \left[1 - \left(\frac{1,73}{4,06} \right)^2 \right]}{(628,80 + 8912,86)^2}} \right]$$

$$N_{eyz} = 620,37 \text{ KN}$$

$$\lambda_x = \pi \sqrt{\frac{E A_g}{N_{eyz}}} = 3,14 \sqrt{\frac{20000 \times 34,88}{620,37}} = 105,29 < 200$$

Valores de N_e , λ_o , X

$N_e = N_{ex} = 398,77$ KN (Menor valor ente N_{ex} e N_{eyz})

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \times A_g \times f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{1,0 \times 34,88 \times 25}{38,77}} = 1,48$$

Tab 7,1 $\chi = 0,400$

Força axial de compressão resistente de cálculo

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

$$N_{c,Rd} = \frac{0,400 \times 1,0 \times 34,880 \times 025}{1,10} = 317,09 \text{ KN}$$

Chapas espaçadoras

$$\left(\frac{l}{r_{\min}}\right)_{\text{perfil}} \leq \frac{1}{2} \left(\frac{KL}{r}\right)_{\text{máx. comp.}}$$

$$l \leq \frac{1}{2} \times \frac{300 \times 1,47}{2,29}$$

$$l \leq 96,29 \text{ cm}$$

Colocar 5 chapas espaçadoras, distanciadas entre si de 75 cm.

Barra 13

L-76,20 x 12,70 ASTM – A36 (*Corda superior*)

Propriedades geométricas

$$A_g = 2 \times 17,44 = 34,88 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 2 \times 91,0 = 182 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 2,29 \text{ cm (Para 1 cantoneira)}$$

$$r_x = 2,29 \text{ cm (Para cantoneira)}$$

$$I_y = 2 \left[91 + 17,48 \left(2,36 + \frac{1,3}{2} \right) \right] = 286,99 \text{ cm}^4$$

Flambagem Local

$$\frac{b}{t} = \frac{76,20}{12,70} = 6$$

$$\left(\frac{b}{t} \right)_{\text{lim}} = 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} =$$

$$\left(\frac{b}{t} \right)_{\text{lim}} = 0,45 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 12,73$$

$$\frac{b}{t} = 6 < \left(\frac{b}{t} \right)_{\text{lim}} = 12,73$$

$$Q_s = 1 = Q$$

Instabilidade global

Força de flambagem por flexão e esbeltez em relação ao eixo x

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 20000 (2 \times 91)}{319^2} = 352,68 \text{ KN}$$

$$\lambda_x = \pi \sqrt{\frac{E A_g}{N_{\text{ex}}}} = 3,14 \sqrt{\frac{20000 \times 34,88}{352,68}} = 139,65 < 200$$

Força de flambagem por flexo-torção com flexão em relação ao eixo y e esbeltez correspondente

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 20000 \times 286,99}{319^2} = 556,13 \text{ KN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{V_0^2} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right]$$

$$N_{ez} = \frac{1}{4,06^2} (7700 \times 19,08)$$

$$N_{ez} = 8912,86 \text{ KN}$$

$$y_0 = 2,36 - \frac{1,27}{2} = 1,73 \text{ cm}$$

$$r_0 = \sqrt{rx^2 + ry^2 + X_0^2 + Y_0^2}$$

$$r_0 = \sqrt{2,29^2 + 2,87^2 + 0 + 1,73^2}$$

$$r_0 = 4,06 \text{ cm}$$

$$J = \frac{1}{3} \sum bt^3$$

$$J = \frac{1}{3} \times 2 [7,62 \times 1,27^3 + (7,62 - 1,27) \times 1,27^3]$$

$$J = 19,08 \text{ cm}^4$$

$$N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{1,73}{4,06} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ey} N_{ez} \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ey} + N_{ez})^2}} \right]$$

$$N_{eyz} = \frac{556,13 + 8912,86}{2 \left[1 - \left(\frac{1,73}{4,06} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 556,13 \times 8912,86 \left[1 - \left(\frac{1,73}{4,06} \right)^2 \right]}{(556,13 + 8912,86)^2}} \right]$$

$$N_{eyz} = 549,57 \text{ KN}$$

$$\lambda_{yz} = \pi \sqrt{\frac{E A_g}{N_{eyz}}} = 3,14 \sqrt{\frac{20000 \times 34,88}{549,57}} = 111,87 < 200$$

Valores de N_e , λ_o , χ

$N_e = N_{ex} = 364 \text{ KN}$ (Menor valor entre N_{ex} e N_{eyz})

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \times A_g \times f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{1 \times 34,88 \times 25}{352,68}} = 1,57$$

Tab 7,1 $\chi = 0,356$

Força axial de compressão resistente de cálculo

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

$$N_{c,Rd} = \frac{0,356 \times 1 \times 34,880 \times 25}{1,10} = 282,21 \text{ KN}$$

Chapas espaçadoras

$$\left(\frac{l}{r_{\min}}\right)_{\text{perfil}} \leq \frac{1}{2} \left(\frac{KL}{V}\right)_{\text{máx. comp.}}$$

$$l \leq \frac{1}{2} \times \frac{319 \times 1,47}{2,29}$$

$$l \leq 102,39 \text{ cm}$$

Colocar 5 chapas espaçadoras, distanciadas entre si de 79,75 cm.

Barra 21

L – 44,45 x 3,17 ASTM – A36 (*Montante*), mesmo perfil utilizado para cálculo da tração nas barras 17, 18, 19 e 20.

$$A_g = 2 \times 3,17 = 6,34 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 2 \times 5,41 = 10,82 \text{ cm}^2$$

$$r_x = 1,40 \text{ cm (Para 1 cantoneira)}$$

$$I_y = 2 \left[10,82 + 3,71 \left(1,22 + \frac{0,32}{2} \right) \right] = 31,88 \text{ cm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{31,88}{6,34}} = 2,24 \text{ cm}$$

Flambagem local

$$\frac{b}{t} = \frac{44,45}{3,17} = 14,02$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{sup}} = 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{sup}} = 0,91 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 25,74$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} =$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,45 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 12,73$$

$$\frac{b}{t} = 12,73 < \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 14,02 < \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{sup}} = 25,74$$

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{44,45}{3,17} \sqrt{\frac{25}{20000}}$$

$$Q_s = 0,96$$

$$Q = Q_s = 0,96$$

Instabilidade global

Força de flambagem por flexão e esbeltez em relação ao eixo x

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 20000 (2 \times 10,82)}{109^2} = 359,16 \text{ KN}$$

$$\lambda_x = \pi \sqrt{\frac{E A_g}{N_{\text{ex}}}} = 3,14$$

$$\lambda_x = 3,14 \sqrt{\frac{20000 \times 6,34}{359,16}} = 59 < 200$$

Força de flambagem por flexo - torção com flexão em relação ao eixo y e esbeltez correspondente

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E x I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 20000 \times 10,82}{109^2} = 179,58 \text{ KN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{V_o^2} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right]$$

$$N_{ez} = \frac{1}{2,85^2} (7700 \times 0,18)$$

$$N_{ez} = 170,64 \text{ KN}$$

$$y_o = y - \frac{t}{2}$$

$$y_o = 1,22 - \frac{0,317}{2}$$

$$y_o = 1,06 \text{ cm}$$

$$r_o = \sqrt{rx^2 + ry^2 + Xo^2 + Yo^2}$$

$$r_o = \sqrt{1,4^2 + 2,24^2 + 0 + 1,06^2}$$

$$r_o = 2,85 \text{ cm}$$

$$J = \frac{1}{3} \sum bt^3$$

$$J = \frac{1}{3} \times 2 [4,45 \times 0,317^3 + (4,45 - 0,317) \times 0,317^3]$$

$$J = 0,18 \text{ cm}^4$$

$$N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{y_o}{r_o} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ey} N_{ez} \left[1 - \left(\frac{y_o}{r_o} \right)^2 \right]}{(N_{ey} + N_{ez})^2}} \right]$$

$$N_{eyz} = \frac{179,58+170,64}{2 \left[1 - \left(\frac{1,06}{2,85} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 179,58 \times 170,64 \left[1 - \left(\frac{1,06}{2,85} \right)^2 \right]}{(179,58+170,64)^2}} \right]$$

$$N_{eyz} = 127,48 \text{ KN}$$

$$\lambda_{yz} = \pi \sqrt{\frac{E Ag}{N_{eyz}}}$$

$$\lambda_{xz} = \sqrt{\frac{20000 \times 6,34}{127,48}} = 99,03 < 200$$

Valores de N_e , λ_o , χ

$$N_e = N_{eyz} = 127,48 \text{ KN (Menor valor ente } N_e \text{ e } N_{eyz})$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \times Ag f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{0,96 \times 6,34}{127,48}} = 0,22$$

Tab 7,1 $\chi = 0,980$

Força axial de compressão resistente de cálculo

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

$$N_{c,Rd} = \frac{0,98 \times 0,96 \times 6,34 \times 25}{1,10} = 135,56 \text{ KN}$$

Chapas espaçadoras

$$\left(\frac{l}{r_{min}} \right)_{\text{perfil}} \leq \frac{1}{2} \left(\frac{KL}{r} \right)_{\text{máx. comp.}}$$

$$l \leq \frac{1}{2} \times \frac{109 \times 0,89}{1,40}$$

$$l \leq 69,29 \text{ cm}$$

Colocar 3 chapas espaçadoras, distanciadas entre si de 54,5 cm.

4.1.7 Dimensionamento da viga dos pórticos internos

Vs 550 x 64 ABNT – NBR 5884 VSI CIVIL 300 $f_y = 30 \text{ KN/m}^2$, $W_x = 1547 \text{ cm}^3$

$$V_y = 5,53 \text{ cm}$$

$$I_y = 2475 \text{ cm}^4$$

$$J = 18,8 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 1728 \text{ cm}^3$$

Pórticos internos

Verificação do momento fletor

FLM

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda = \frac{550}{9,5}$$

$$\lambda = 28,95$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{30}}$$

$$\lambda_p = 9,81$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{\frac{(f_y - t_v)}{K_c}}}$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{\frac{(0,7 \times 30)}{0,44}}}$$

$$\lambda_r = 19,45$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{tw}}}$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{551}{6,8}}}$$

$$K_c = 0,44$$

$$\lambda > \lambda_r ; M_{RK} = M_{cr}$$

$$M_{cr} = M_{RK} = \frac{0,95 E K_c}{\lambda^2} W_x$$

$$M_{cr} = \frac{0,95 \times 20000 \times 0,44}{28,95^2} \times 1547$$

$$M_{RK} = M_{cr} = 15431,19 \text{ KN x cm}$$

$$M_{RK} = M_{cr} = 154,31 \text{ KN x m}$$

Como M_{RK} já é menor que $M_{sd} = 497,80 \text{ KN. m}$, o perfil foi alterado

FLT

$$\lambda = \frac{L_b}{V_y}$$

$$\lambda = \frac{1200}{5,53} = 217$$

$$C_b = 3,00 - \frac{2}{3} \times \frac{M_1}{M_0} - \frac{8}{3} \times \frac{M_2}{(M_0 + M_1)}$$

$$C_b = 3,00 - \left(\frac{-219,65}{-58586} \right) - \frac{8}{3} \times \frac{497,80}{(-58586 - 219,65)}$$

$$C_b = 3,02 \text{ adotar } 3,0$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 42,38$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W_x}{20000 \times 18,8}$$

$$\beta_1 = 9,93 \times 10^{-2}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{\frac{1+27 C_w \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y J}}{5,53 \times 18,8 \times 9,93 \times 10^{-2}} \sqrt{1 + \sqrt{\frac{1+27 \times 1744633,69 \times (9,93 \times 10^{-2})^2}{2475}}}$$

$$\lambda_r = 110,69$$

$$C_w = \frac{h \sigma^2 I_y}{4}$$

$$C_w = \frac{53,1^2 \times 2475}{4}$$

$$C_w = 1744633,69$$

$$M_{RK} = M_{cr} \leq M_{pl}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L b^2}{C_w}\right)}$$

$$M_{cr} = \frac{3,0 \times 3,14^2 \times 20000 \times 2475}{12^2} \sqrt{\frac{1744633,69}{2475} \left(1 + 0,039 \frac{J L b^2}{C_w}\right)}$$

$$M_{cr} = 269960935,37 \text{ KN.cm} > M_{pl}$$

$$M_{cr} = M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{cr} = 1728 \times 34,5$$

$$M_{cr} = 59616 \text{ KN x m}$$

$$V_s = 550 \times 88 \text{ ABNT} - 5884 \text{ USI CIVIL 300}$$

$$f_y = 30 \text{ KN/cm}^2, Z_x = 2559 \text{ cm}^3, W_x = 2340 \text{ cm}^3$$

FLM

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda = \frac{550}{16}$$

$$\lambda = 17,18$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{30}}$$

$$\lambda_p = 9,81$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{\frac{(f_y - \sigma_v)}{Kc}}}$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{20000}{\frac{(0,7 \times 30)}{0,44}}}$$

$$\lambda_r = 19,45$$

$$Kc = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{tw}}}$$

$$Kc = \frac{4}{\sqrt{\frac{518}{6,3}}}$$

$$Kc = 0,44$$

$$M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{pl} = 255 \times 30$$

$$M_{pl} = 76770 \text{ KN.cm}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) W_x$$

$$M_r = 0,7 \times 30 \times 2340$$

$$M_r = 49140 \text{ KN.cm}$$

FLA

$$\lambda = \frac{H}{TW}$$

$$\lambda = \frac{518}{6,3}$$

$$\lambda = 82,22$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{30}}$$

$$\lambda_p = 97,08$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{20000}{30}}$$

$$\lambda_r = 147,17$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk} = M_{pl}$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 2559 \times 30$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 76770 \text{ KN x cm}$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = M_{pl} = 767,70 \text{ KN x m}$$

Resumo:

$$M_{Rk} = 55646,23 \text{ KN x cm (menor valor entre FLM e FLA)}$$

$$M_{Rk} \leq 1,5 W_x \times fy$$

$$M_{Rk} \leq 1,5 \times 2340 \times 30$$

$$M_{Rk} \leq 105300 \text{ KN.cm adotar } M_{Rk} = 55646,3 \text{ KN.cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{1,10}$$

$$M_{Rd} = \frac{55646,23}{1,10} = 50587,38 \text{ KN x cm}$$

$$M_{Sd} = 49780 \text{ KN.cm} \leq M_{Rd} = 50587,38 \text{ KN.cm}$$

Verificação do espaço cortante

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda = \frac{518}{6,3}$$

$$\lambda = 82,22$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{Kv E}{fy}}$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{30}}$$

$$\lambda_r = 7,10$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{Kv E}{fy}}$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{5,0 \times 20000}{30}}$$

$$\lambda_p = 63,51$$

$$V_{RK} = V_{cr} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 V_{pl}$$

$$V_{RK} = V_{CR} = 1,24 \left(\frac{63,51}{82,22} \right)^2 \times 623,7$$

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

$$V_{Rd} = \frac{461,45}{1,10}$$

$$V_{Rd} = 419,5 \text{ KN}$$

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y$$

$$V_{pl} = 0,60 \times 34,65 \times 30$$

$$V_{pl} = 623,7 \text{ KN}$$

$$A_w = d \times t_w$$

$$A_w = 55 \times 0,63$$

$$A_w = 34,65 \text{ cm}^2$$

4.1.8 Dimensionamento das vigas V1 e V2 do piso do segundo pavimento

Cargas na viga V1:

Laje concreto	=2,50 KN/m ²
Forro	= 0,20 KN/m ²
Piso (revestimento)	=0,50 KN/m ²
Peso estrutura	=0,37 KN/m ²
	<hr/>
	3,57 KN/m ²
Alvenaria	=3,3 KN/m
Janela	=0,33 Kn/m
	<hr/>
	3,66 KN/m

Alvenaria (Vãos sem janela)

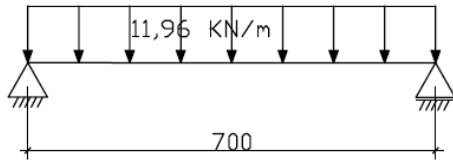
6,6 KN/m

Pela área de influência

$3,57 \times 1,50 = 5,36 \text{ KN/m}$

Considerando a pior situação de carregamento vãos 2-3 e 5-6

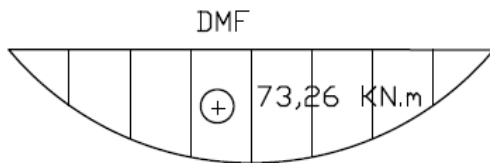
a carga sobre a viga V1 = 11,96 KN/m



$$Mf = \frac{ql^2}{8}$$

$$Mf = \frac{11,96 \times 7^2}{8}$$

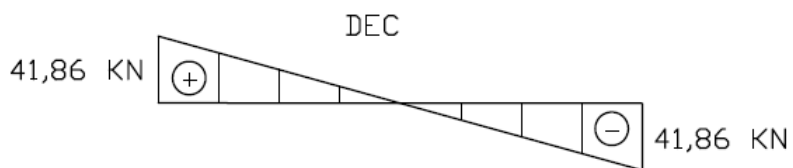
$$Mf = 73,26 \text{ KN} \times \text{m}$$



$$V = \frac{ql}{2}$$

$$V = \frac{11,96 \times 7}{2}$$

$$V = 41,86 \text{ KN}$$



Perfil Gerdau Aço Minas ASTM A 572 – Grau 50; $f_y = 34,5 \text{ KN/cm}^2$

Pré dimensionamento

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{Z_x f_y}{1,10}$$

$$7326 \leq \frac{Z_x f_y}{1,10}$$

$Z \geq 233,58 \text{ cm}$ perfil adotado W 200 x 26,6

Verificação do momento fletor

FLT

Não existe FLT pois a viga é travada lateralmente pela laje

FLM

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda = \frac{188}{22}$$

$$\lambda = 7,92$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 9,15$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{\frac{(f_y - \sigma_v)}{K_c}}}$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{20000}{\frac{(0,7 \times 34,5)}{0,70}}}$$

$$\lambda_r = 22,87$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{tw}}}$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{190}{5,8}}}$$

$$K_c = 0,70$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk} = M_{pl}$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 282,3 \times 34,5$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 9739,35 \text{ KN.cm}$$

FLA

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda = \frac{190}{5,8}$$

$$\lambda = 32,76$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 90,53$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_r = 137,24$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk} = M_{pl}$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 282,3 \times 34,5$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 9739,35 \text{ KN.cm}$$

Resumo:

$$M_{Rk} = 9739,35 \text{ KN.cm}$$

$$M_{Rk} \leq 1,5 W_x \times f_y$$

$$M_{Rk} \leq 1,5 \times 252,3 \times 34,5$$

$$M_{Rk} \leq 13056,53 \text{ KN.cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,10}$$

$$M_{Rd} = \frac{9739,35}{1,10}$$

$$M_{Rd} = 8853,95 \text{ KN.cm}$$

Verificação do espaço cortante

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda = \frac{190}{5,8}$$

$$\lambda = 32,76$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{34,5}}$$

$$\lambda_r = 73,76$$

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

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{5,0 \times 20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 59,22$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$V_{Rk} = V_{pl} = 0,60 \times A_w f_y$$

$$V_{Rk} = V_{pl} = 248,61 \text{ KN}$$

$$A_w = d \times t_w$$

$$A_w = 20,7 \times 0,58$$

$$A_w = 12,01 \text{ cm}^2$$

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

$$V_{Rd} = \frac{248,61}{1,10}$$

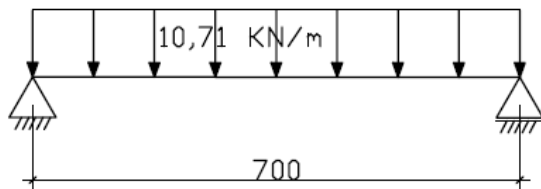
$$V_{Rd} = 226,01 \text{ KN}$$

Como $V_{sd \max} = 41,86 \text{ kN}$ o $V_{Rd} = 226,01 \text{ KN}$ atende

Carga na viga V2

Laje concreto	= 2,5 KN/m ²
Forro	= 0,20 KN/m ²
Piso (revestimento)	= 0,50 KN/m ²
Peso estrutura	= 0,37 KN/m ²
	<hr/>
	3,57 KN/m ²

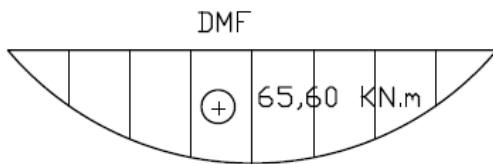
Pela área de influência 3,57 x 3,0 = 10,71 KN/m



$$Mf = \frac{ql^2}{8}$$

$$Mf = \frac{10,71 \times 7^2}{8}$$

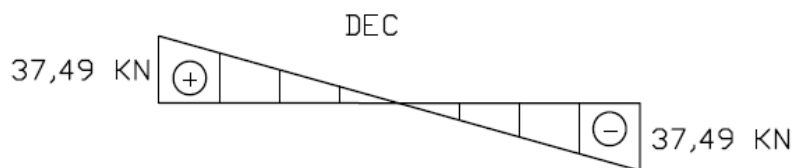
$$Mf = 65,60 \text{ KN.m}$$



$$V = \frac{ql}{2}$$

$$V = \frac{10,71 \times 7}{2}$$

$$V = 37,49 \text{ KN}$$



Perfil Gerdau Aço Minas ASTM A 572 – Grau 50; $f_y = 34,5 \text{ KN/cm}^2$

Pré dimensionamento

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{Z_x f_y}{1,10}$$

$$6560 \leq \frac{Z_x \times 43,5}{1,10}$$

$Z \geq 2209,16 \text{ cm}$ perfil adotado W 200 x 22,5

FLT

Não existe FLT, pois a viga é travada lateralmente pela laje

FLM

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda = \frac{102}{8,0}$$

$$\lambda = 12,75$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 9,15$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{\frac{(f_y - \sigma_v)}{K_c}}}$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{20000}{\frac{(0,7 \times 34,5)}{0,72}}}$$

$$\lambda_r = 32,22$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{tw}}}$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{190}{6,2}}}$$

$$K_c = 0,72$$

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

$$M_{Rk} = M_{Rk} = 7779,7 - (M_{pl} - M_v) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

$$M_{Rk} = 7779,75 - (7779,75 - 4757,55) \frac{12,75 - 9,15}{32,22 - 9,15}$$

$$M_{Rk} = 7308,15 \text{ KN.m}$$

$$M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{pl} = 225,5 \times 43,5$$

$$M_{pl} = 4757,55 \text{ KN.m}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) W_x$$

$$M_r = 0,7 \times 34,5 \times 197,0$$

$$M_r = 4757,55 \text{ KN.cm}$$

FLA

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda = \frac{190}{6,2}$$

$$\lambda = 30,65$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 90,53$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_r = 137,24$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk} = M_{pl}$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 225,5 \times 34,5$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 7779,75 \text{ KN.cm}$$

Resumo:

$$M_{Rk} = 7308,15 \text{ KN.cm (menor valor entre FLM e FLA)}$$

$$M_{Rk} \leq 1,5 W_x \times f_y$$

$$M_{Rk} \leq 1,5 \times 197 \times 34,5$$

$$M_{Rk} \leq 10194,75 \text{ KN.cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{MRk}{1,10}$$

$$M_{Rd} = \frac{7308,15}{1,10}$$

$$M_{Rd} = 6643,77 \text{ KN.cm}$$

Verificação do espaço cortante

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda = \frac{190}{6,2}$$

$$\lambda = 30,65$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{34,5}}$$

$$\lambda_r = 73,76$$

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

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{5,0 \times 20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 59,22$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$V_{Rk} = V_{pl} = 0,60 \times A_w f_y$$

$$V_{Rk} = V_{pl} = 0,60 \times 12,77 \times 34,5$$

$$V_{Rk} = V_{pl} = 264,34 \text{ KN}$$

$$A_w = d \times t_w$$

$$A_w = 20,6 \times 0,62$$

$$A_w = 12,77 \text{ cm}^2$$

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

$$V_{Rd} = \frac{264,34}{1,10}$$

$$V_{Rd} = 240,31 \text{ KN}$$

Como $V_{Sd \max.} = 37,49 \text{ kN}$ o $V_{Rd} = 240,31 \text{ KN}$ atende

4.1.9 Dimensionamento dos pilares dos pórticos internos

Perfil H

Açominas ASTM A572 – Grau 50

$$f_y = 34,5 \text{ KN/cm}^2, I_x = 18920 \text{ cm}^4, r_x = 11,38 \text{ cm}, I_y = 6405 \text{ cm}^4, A_g = 146,1 \text{ cm}^2, W_x =$$

$$1406,7 \text{ cm}^2, Z_x = 1597,4 \text{ cm}^3, r_y = 6,65 \text{ cm}, Z_y = 1597,4 \text{ cm}^2$$

Pilares:

Perfil W 250 x 115

$$N_{Sd} = -425,69 \text{ KN}$$

$$M_{Sd} = 333,87 \text{ KN x m}$$

a) Força axial compressão

Flambagem local da mesa

$$\frac{b}{t} = \frac{159}{22,1} = 5,86$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 13,48$$

$$\frac{b}{t} = 5,86 < \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 13,48$$

$$Q_5 = 1,0$$

Flambagem local da alma

$$\frac{b}{t} = \frac{201}{22,1} = 9,10$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 35,87$$

$$Q_a = 1,0$$

$$Q = Q_s \times Q_a$$

$$Q = 1,0 \times 1,0$$

$$Q = 1,0$$

Instabilidade global

Flambagem por flexão e esbeltez em relação a x

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I}{(Kx Lx)^2}$$

$$N_{\text{ex}} = \frac{3,14^2 \times 20000 \times 18920}{(1 \times 320)^2} = 36434,30 \text{ KN}$$

$$\lambda_x = \frac{Kx Lx}{Vx} =$$

$$\lambda_x = \frac{1 \times 320}{11,38} = 28,12 < 200$$

Flambagem por flexão e esbeltez em relação a y

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI}{(KxLx)^2}$$

$$N_{ey} = \frac{3,14^2 \times 20000 \times 6405}{(0,5 \times 320)^2}$$

$$N_{ey} = 49336,51 \text{ KN}$$

Não há necessidade de se calcular flambagem por flexão pura

$$N_e = N_{ex} = 36434,30$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \times Ag \times fy}{N_e}}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{1,0 \times 146,1 \times 34,5}{36434,30}} = 0,37$$

$$\lambda_o = 0,37$$

$$\chi = 0,944$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \times Q \times Ag \times fy}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,944 \times 1,0 \times 146,1 \times 34,5}{1,10}$$

$$N_{c,Rd} = 4325,62 \text{ KN}$$

b) Momento fletor resistente de cálculo

FLM

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda = \frac{259}{22,1} = 5,86$$

$$\lambda = 5,86$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 9,15$$

$$\lambda = 5,86 < \lambda_p = 9,15 \quad M_{Rk} = M_{pl}$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 1597 \times 3,5 = 55096,5 \text{ KN.m} < 1,5 W_x \times f_y$$

$$1,5 \times 1406,7 \times 34,5 = 77796,73 \text{ KN x m}$$

FLT

$$\lambda = \frac{Lb}{V_y} = \frac{320}{6.65} = 48,12$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 42,38$$

FLA

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda = \frac{225}{13,5}$$

$$\lambda = 16,67$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 90,53$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_r = 137,24$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk} = M_{pl}$$

$$M_{pl} = Z \times f_y$$

$$M_{pl} = 1597,4 \times 34,5$$

$$M_{pl} = 55110,3 \text{ KN.cm}$$

$$M_{xRk} = 53572,47 \text{ KN.cm (menor valor)}$$

$$M_{xRd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{xRd} = \frac{53572,47}{1,10}$$

$$M_{xRd} = 48702,25 \text{ KN.cm}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{\frac{1+27 C_w \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y J}}{11,38 \times 212 \times 8,01 \times 10^{-8}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \times 976115,76 \times (9,93 \times 10^{-8})^2}{6405}}}$$

$$\lambda_r = 121,28$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_v) W_x}{EJ}$$

$$\beta_1 = \frac{(0,7 \times 34,5),7}{20000 \times 212}$$

$$\beta_1 = 8,01 \times 10^{-3}$$

$$C_w = \frac{h\sigma^2 I_y}{4}$$

$$C_w = \frac{24,69^2 \times 6405}{4}$$

$$C_w = 976115,76$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_v$$

$$M_{Rk} = C_b \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_v) x \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_v - \lambda_p} \right]$$

$$M_{Rk} = 1,0 \left[55110,3 - (55110,3 - 33971,81) x \frac{48,12 - 42,38}{121,28 - 42,38} \right]$$

$$M_{Rk} = 53572,47 \text{ KN.cm}$$

$$M_{pl} = Z_x \times f_y$$

$$M_{pl} = 1597,4 \times 34,5$$

$$M_{pl} = 55110,3 \text{ KN.cm}$$

$$M_r = (f_y - \sigma_r) W_x$$

$$M_v = (0,7 \times 34,5) \times 1406,7$$

$$M_v = 33971,81 \text{ KN.cm}$$

c) Efeito Combinados

$$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} = \frac{425,69}{N4325,62} = 0,01 < 0,2$$

$$\frac{N_{sd}}{2 N_{rd}} + \left(\frac{M_{xsd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} \right) \leq 1,0$$

$$0,06 \leq 1,0$$

4.1.10 Verificação do deslocamento horizontal dos pórticos internos

No 1º andar

$$\Delta h = \Delta 2 - \Delta 1$$

$$\Delta h = 0,38 - 0,14$$

$$\Delta h = 0,24 \text{ cm}$$

$$\frac{H}{500} = \frac{300}{500} = 0,66 \text{ cm}$$

Se atende a condição de $\frac{H}{500}$ automaticamente atenderá a $\frac{H}{400}$

5 CONCLUSÃO

O edifício comercial foi dimensionado com as cargas e considerações apresentadas no desenvolvimento deste trabalho, sendo que estes resultados conduziram a seguintes dimensões dos elementos estruturais:

- Pilares: W 250x115 – ASTM - A572 – Grau 50 Gerdau
- Vigas: VS 550x88 – ABNT 5884 – USI CIVIL 300(Pórticos internos)
 - W 200x26,6 – ASTM - A572 – Grau 50 Gerdau(Viga V1)
 - W 200x22,5 – ASTM - A572 – Grau 50 Gerdau(Viga V2)
- Cordas inferiores das tesouras treliçadas: L – 76,20x12,70 ASTM - A36
- Cordas superiores das tesouras treliçadas: L – 76,20x12,70 ASTM - A36
- Montantes das tesouras treliçadas: L – 63,50x9,52 ASTM - A36
- Diagonais das tesouras treliçadas: L – 44,45x3,17 ASTM - A36

Salientamos que o trabalho apresentado trata-se de um dimensionamento hipotético e portanto alguns cálculos podem ser refinados e outras considerações diferentes das que foram feitas no desenvolvimento deste trabalho poderão ser efetuadas.

6 NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS

- NBR-8800 / 2008 – Projeto de estruturas de aço.
- NBR-5884 / 2005 – Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico.
- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – Projeto de Estruturas de Aço I – Dimensionamento Básico de Elementos de Estruturas de Aço – Versão 3 do Professor: Ricardo Hallal Fakury.
- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – Projeto de Estruturas de Aço I – Ações nas Estruturas – Trabalho Prático do Professor: Ricardo Hallal Fakury.
- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – Projeto de Estruturas de Aço I – Ações nas Estruturas – Tutorial FTOOL do Professor: Rodrigo Barreto Caldas.