

Memória de Cálculo da estrutura metálica e reforços

Porto Alegre, 15 de março de 2024

Obra: CLÍNICA DA FAMÍLIA
 Cliente: UMA ARQUITETURA
 Objeto: Memorial descritivo da estrutura
 Revisão: 01

1. Obra/Local: RUA DA CONCEIÇÃO, 434 - CENTRO - PORTO ALEGRE/RS

OBJETIVO

O objetivo desta memória de cálculo é descrever os critérios adotados no projeto do mezanino e a estrutura para suspender o lustre/pendural em questão, segundo projeto arquitetônico, e verificar sua estabilidade e segurança estrutural.

O dimensionamento foi realizado de acordo com as normas vigentes da ABNT.

1. NORMAS UTILIZADAS PARA O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA:

NBR-6120: Carga para cálculo de estruturas de edificações – procedimento

NBR-8800: Projeto e execução de estrutura de aço de edifícios

NBR-14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio

2. ESTADOS LIMITES

2.1 Considerações de projeto

Cargas utilizadas na verificação do mezanino:

Peso próprio..... **025,0 kgf/m²**

Painel solar..... **015,0 kgf/m²**

Permanentes **050,0 kgf/m²**

Sobrecarga **025,0 kgf/m²**

Vento sobrepressão..... **080,0 kgf/m²**

Vento Sucção **100,0 kgf/m²**

2.2 Coeficientes usados para a combinação de ações

Estado Limite Último para concreto armado:

Situação 1				
	Coeficientes parciais de segurança		Coeficientes de combinação	
	Favorável	Desfavorável	Principal	Acompanhamento
Permanente	1.00	1.40	1.00	1.00
Sobrecarga	0.00	1.40	1.00	0.70
Vento	0.00	1.40	1.00	0.60

Situação 2				
	Coeficientes parciais de segurança		Coeficientes de combinação	
	Favorável	Desfavorável	Principal	Acompanhamento
Permanente	1.00	1.20	1.00	1.00
Sobrecarga	0.00	1.00	0.40	0.40
Vento	0.00	1.00	0.00	0.00

Estado Limite Último para aço laminado:

Situação 1				
	Coeficientes parciais de segurança		Coeficientes de combinação	
	Favorável	Desfavorável	Principal	Acompanhamento
Permanente	0.90	1.40	1.00	1.00
Sobrecarga	0.00	1.50	1.00	0.65
Vento	0.00	1.40	1.00	0.60

Situação 2				
	Coeficientes parciais de segurança		Coeficientes de combinação	
	Favorável	Desfavorável	Principal	Acompanhamento
Permanente	0.90	1.20	1.00	1.00
Sobrecarga	0.00	1.10	0.65	0.65
Vento	0.00	1.00	0.00	0.00

2.3 Combinações

Estado Limite Último do concreto

Combinação	Ação Permanente	Sobrecarga 1	Sobrecarga 2
1	1.000		
2	1.400		
3	1.000	1.400	
4	1.400	1.400	
5	1.000		1.400
6	1.400		1.400
7	1.000	1.400	1.400
8	1.400	1.400	1.400

Estado Limite Último do aço dobrado (deslocamentos)

Combinação	Ação Permanente	Sobrecarga 1	Sobrecarga 2
1	1.000		
2	1.000	1.000	
3	1.000		1.000
4	1.000	1.000	1.000

Estado Limite Último do aço laminado

Combinação	Ação Permanente	Sobrecarga 1	Sobrecarga 2
1	0.900		
2	1.400		
3	0.900	1.500	
4	1.400	1.500	
5	0.900		1.500
6	1.400		1.500
7	0.900	1.500	1.500
8	1.400	1.500	1.500

3. ESTRUTURA DA COBERTURA

3.1 Modelo Estrutural:

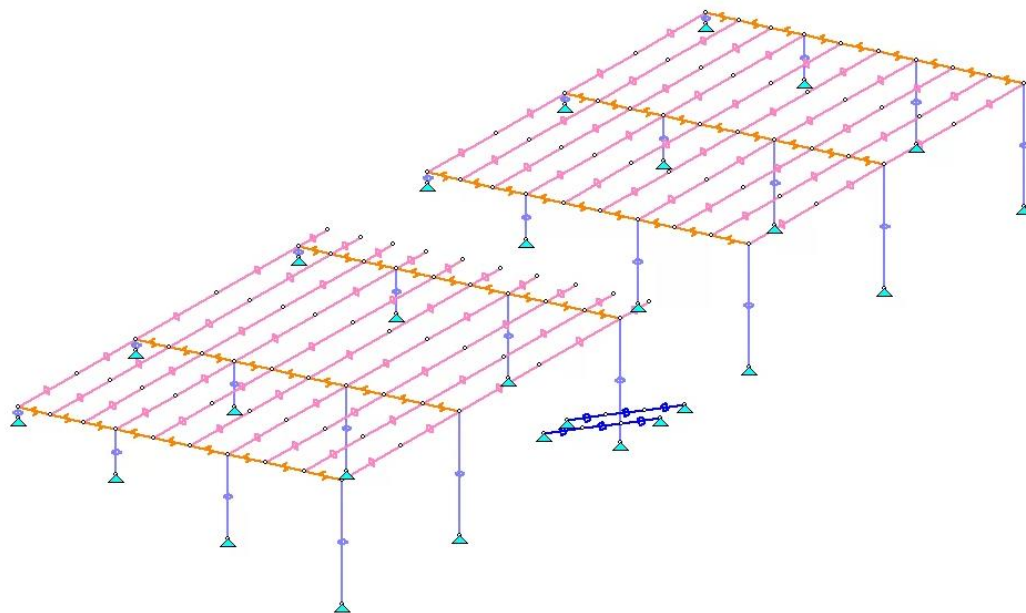


Figura 1 – Modelo estrutural do mezanino [cm]

3.2 Esforço Normal

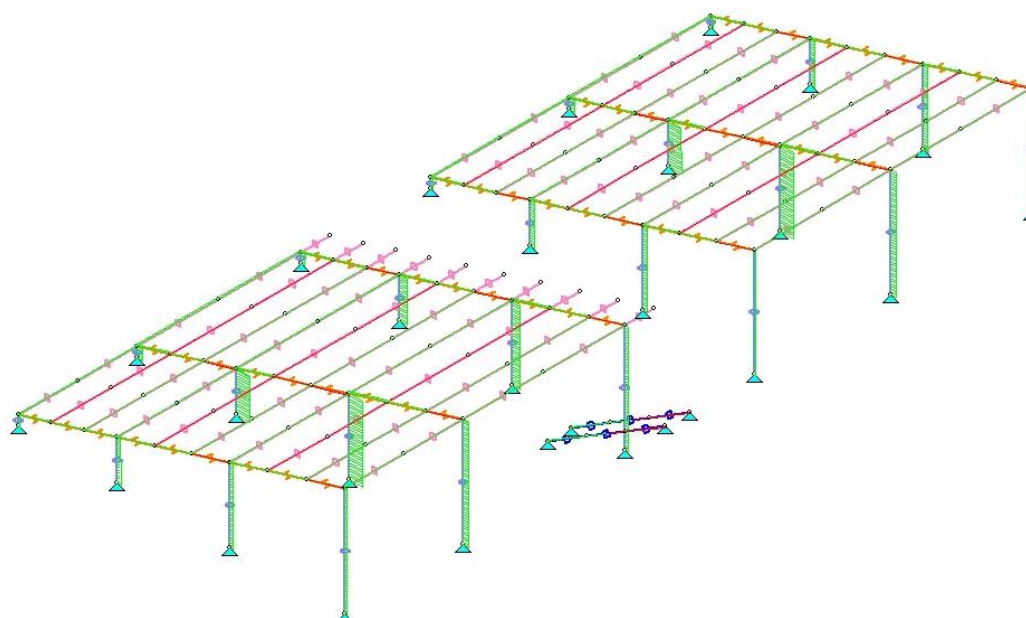


Figura 2 – Esforço normal [kgf]

3.3 Momento Fletor:

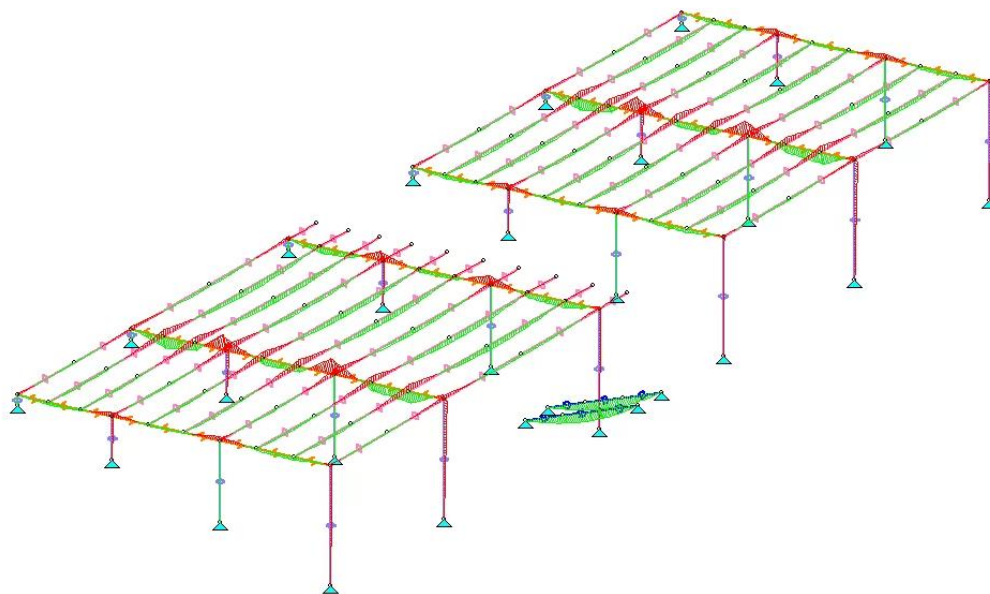


Figura 3 – Momento fletor [kgf.m]

3.4 Esforço Cortante:

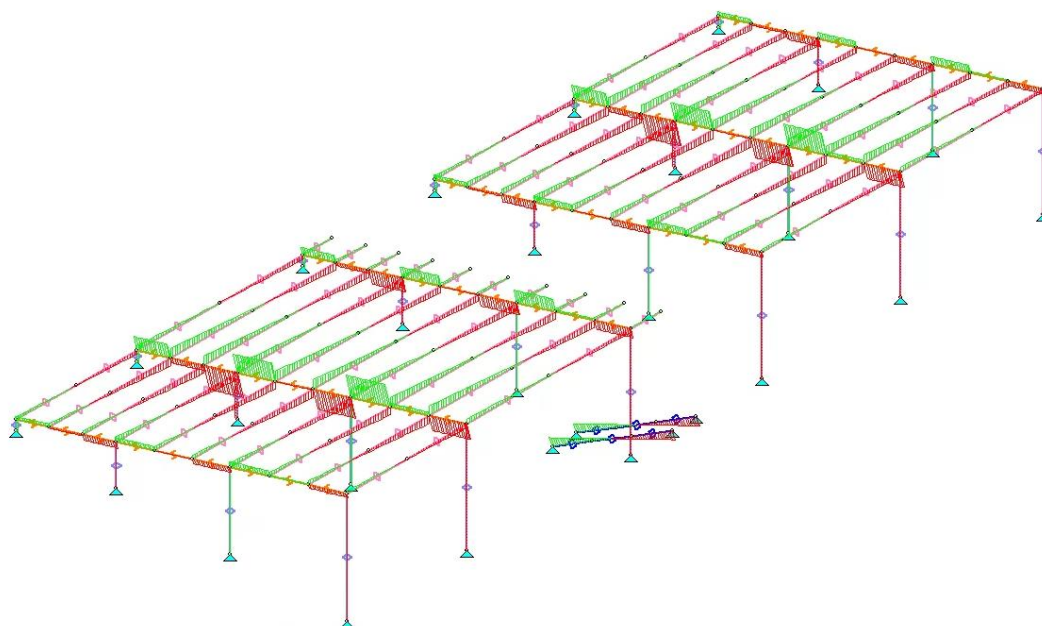


Figura 4 – Esforço Cortante [kgf]

3.5 Diagrama Deformação:

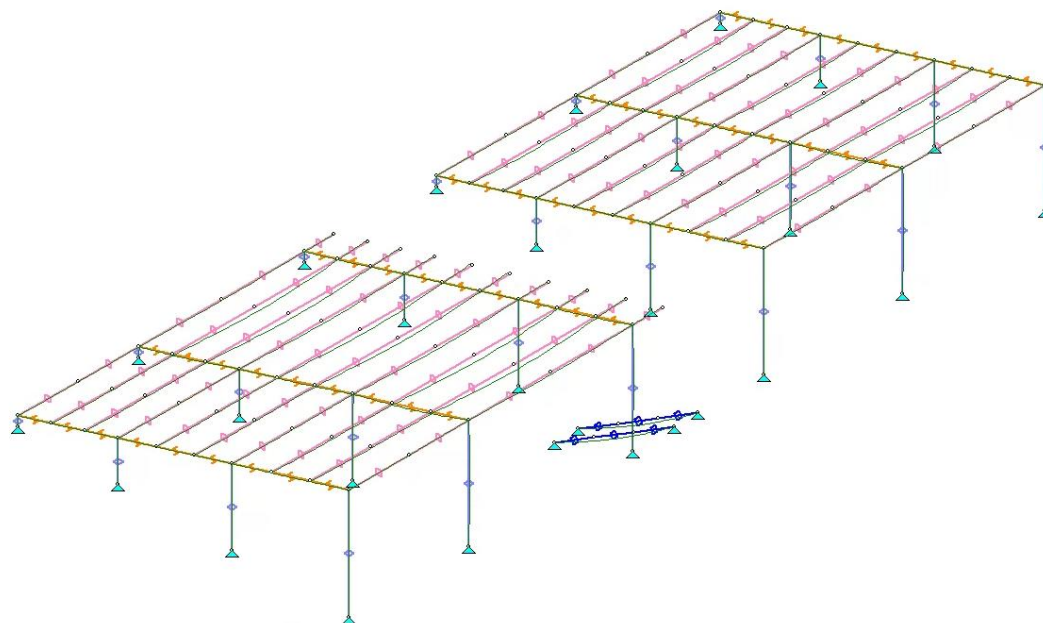


Figura 4 – Diagrama Deformação [cm]

4. ANÁLISES DO MEZANINO:

4.1 Análise do pilar PERFIL BOX 140x140x4.25 mais solicitado:

Perfil Box (Formado a frio)

Perfil: BOX 140 x 140 x 4.25

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_t L_t = 165.76 \text{ cm}$ $K_z L_z = 165.76 \text{ cm}$

$K_y L_y = 165.76 \text{ cm}$ $L_b = 165.76 \text{ cm}$

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1.00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 50806.82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 54193.94 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 50806.82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 485777.52 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 485777.52 \text{ kgf}$$

$$N_e = 485777.52 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0.34$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_0)^2 = 0.95$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 22.36 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 44383.42 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 22.36 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 46572.92 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 44383.42 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$N_{cRd} = 44383.42 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0.20 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 22.36 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 676.19 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0.00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 7.00 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 676.19 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 96.60 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rd}^{PL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 219541.40 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot G \cdot I_t} = 33303107.87 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 96.60 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0.09 \quad \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1.00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 2500.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_{ef} = 22.36 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 676.19 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0.00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 7.00 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 676.19 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{cef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 96.60 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{xRd} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 219541.40 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT-}$$

$$M_{xRd} = 219541.40 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0.31 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

$$A_{ef} = 22.36 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 676.19 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z}$$

$$d = 0.00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$\chi_{G \text{ final}} = \chi_G + d = 7.00 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 676.19 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{\chi_{G \text{ final}}} = 96.60 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{yRd} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 219541.40 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.31 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 28.94 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68.31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88.54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 14256.82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0.03 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 28.94 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1.08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68.31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1.40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88.54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 14256.82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zsd}}{V_{zRd}} = 0.03 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{csd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zsd}}{M_{zRd}} = 0.82$$

$$\frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zsd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tsd}}{N_{tRd}} = 0.62$$

$$\frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zsd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tsd}}{N_{tRd}} = 0.62$$

4.2 Análise da viga PERFIL W 200x19.3 mais solicitado:

Perfil I Gerdau

Perfil: W 200 19.3
Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$KtLt = 168.41 \text{ cm}$ $KzLz = 168.41 \text{ cm}$
 $KyLy = 499.99 \text{ cm}$ $Lb = 168.41 \text{ cm}$

1. Cálculo da Tração

$$C_T = 1.00 \quad \text{Coeficiente de redução da área líquida}$$

$$A_n = 25.10 \text{ cm}^2 \quad \text{Área líquida da seção transversal}$$

$$A_e = C_T \cdot A_n = 25.10 \text{ cm}^2 \quad \text{Área líquida efetiva da seção transversal}$$

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 57045.45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{1,35} = 74370.37 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 57045.45 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 133126.55 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 80733.17 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 150990.59 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 1.00$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 80733.17 \text{ kgf}$$

$$N_e = 80733.17 \text{ kgf}$$

$$Q = 1.00 \quad \text{Fator de redução associado à instabilidade local}$$

$$N_{pl} = A \cdot f_y = 62750.00 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} = 0.88$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0.72$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 41203.75 \text{ kgf}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0.03 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

$$\sigma_r = 750.00 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{Tensão residual}$$

$$W = 166.10 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo resistente elástico}$$

$$Z = 190.60 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo resistente plástico}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y = 476500.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de plastificação da seção}$$

3.1. FLT - Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda = \frac{L_b}{r_z} = 78.70 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 49.78 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\beta_1 = 0.04$$

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

168.48 Parâmetro de esbeltez correspondente

ao início do escoamento

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \cdot W = 290675.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento}$$

$$C_b = 2.18 \quad \text{Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left(1 + 0,039 \cdot \frac{I_t \cdot L_b^2}{C_w}\right)} \leq M_{pl} =$$

476500.00 kgf.cm Momento fletor de

flambagem elástica

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad \text{então} \quad M_{Rk} = C_b \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLT} = 476500.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLT}$$

3.2. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{t} = 7.85 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 10.75 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 28.06 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$M_{cr} = \frac{0,69 \cdot E}{\lambda^2} \cdot W_c = 3723360.44 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de flambagem elástica}$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk}^{FLM} = 476500.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

3.3. FLA - Flambagem Local da Alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 32.76 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 106.35 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.22 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$M_r = W \cdot f_y = 415250.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento}$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk}^{FLA} = 476500.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA}$$

$$M_{Rk} = 476500.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

Av. Érico Veríssimo, 1140/sala 806 - Menino Deus - Porto Alegre/RS

TEL: (51)99984405 - (51) 3012-6770

www.carpeggiani.eng.br / carpeggiani@carpeggiani.eng.br

$$M_{yRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 433181.82 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0.83 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

$$\sigma_r = 750.00 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{Tensão residual}$$

$$W = 22.70 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo resistente elástico}$$

$$Z = 35.90 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo resistente plástico}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y = 89750.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de plastificação da seção}$$

4.1. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{t} = 7.85 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 10.75 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 28.06 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk}^{FLM} = 89750.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

$$M_{Rk} = 89750.00 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

$$M_{zRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 81590.91 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.11 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 7.85 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 1.20 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 34.08 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 42.45 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

$$A_w = 13.26 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 19890.00 \text{ kgf} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } V_{Rk} = V_{pl}$$

$$V_{yRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 18081.82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0.01 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 32.76 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 69.57 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 86.65 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

$$A_w = 11.77 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 17661.00 \text{ kgf} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } V_{Rk} = V_{pl}$$

$$V_{zRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 16055.45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0.20 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0.94$$

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0.95$$

4.3 Análise da viga PERFIL BOX 160x120x4.25 mais solicitado:

Perfil Box (Formado a frio)

Perfil: BOX 160 x 120 x 4.25

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

KtLt = 341.75 cm KzLz = 341.75 cm

KyLy = 683.5 cm Lb = 341.75 cm

1. Cálculo da Tração

Av. Érico Veríssimo, 1140/sala 806 - Menino Deus - Porto Alegre/RS

TEL: (51)99984405 - (51) 3012-6770

www.carpeggiani.eng.br / carpeggiani@carpeggiani.eng.br

$C_T = 1.00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 50806.82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 54193.94 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 50806.82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 34698.34 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 89527.46 \text{ kgf}$$

$$N_e = 34698.34 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 1.27$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0.51$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 22.36 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 23733.17 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 22.36 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 46572.92 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 23733.17 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$N_{cRd} = 23733.17 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0.01 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 22.36 \text{ cm}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{xef} &= 821.21 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0.00 \text{ cm} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 y_{G \text{ final}} &= y_G + d = 8.00 \text{ cm} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 821.21 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 102.65 \text{ cm}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rd}^{PL} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 233299.28 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}
 \end{aligned}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned}
 M_e &= C_b \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot G \cdot I_t} = 18593025.69 \text{ kgf.cm} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\
 W_c &= 88.29 \text{ cm}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\
 \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0.11 && \lambda_o \leq 0,6 \text{ então } \chi_{FLT} = 1,0 \\
 \chi_{FLT} &= 1.00 && \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção} \\
 \text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma &= \chi_{FLT} \cdot f_y = 2500.00 \text{ kgf/cm}^2 \\
 A_{ef} &= 22.36 \text{ cm}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{xef} &= 821.21 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0.00 \text{ cm} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 y_{G \text{ final}} &= y_G + d = 8.00 \text{ cm} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 821.21 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{cef} &= \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 102.65 \text{ cm}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{xRd}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 233299.28 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT-} \\
 M_{xRd} &= 233299.28 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y} \\
 \frac{SOLIC.}{RESIST.} &= \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0.75 < 1,00 && \text{OK!}
 \end{aligned}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 22.36 \text{ cm}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 529.72 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z} \\
 \text{Av. Érico Veríssimo, 1140/sala 806 - Menino Deus - Porto Alegre/RS} \\
 \text{TEL: (51)99984405 - (51) 3012-6770} \\
 \text{www.carpeggiani.eng.br / carpeggiani@carpeggiani.eng.br}
 \end{aligned}$$

$$d = 0.00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$X_{G \text{ final}} = X_G + d = 6.00 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 529.72 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 88.29 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{yRd} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1.10} = 200650.22 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.03 < 1.00 \quad \text{OK!}$$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 24.24 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1.08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68.31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1.40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88.54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

$\lambda \leq \lambda_p$ então

$$V_{Rd} = \frac{0.6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1.10}$$

$$V_{Rdy} = 11938.64 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0.00 < 1.00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 33.65 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1.08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68.31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1.40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88.54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

$\lambda \leq \lambda_p$ então

$$V_{Rd} = \frac{0.6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1.10}$$

$$V_{Rdz} = 16575.00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0.09 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.79$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.78$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.78$$

4.4 Análise da viga PERFIL U 150x50X3 mais solicitado:

Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [150 x 50 x 3

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 255 \text{ cm}$ $K_z L_z = 255 \text{ cm}$

$K_y L_y = 255 \text{ cm}$ $L_b = 255 \text{ cm}$

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 16227,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 17309,09 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 16227,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 68913,20 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 4822,84 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 8777,63 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,84$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 8578,65 \text{ kgf}$$

$$N_e = 4822,84 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 1,92$$

$$\lambda_o > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{0,877}{(\lambda_o)^2} = 0,24$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 7,14 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 3524,69 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 6,29 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 13097,60 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 3524,69 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 6,99 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 218,73 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,16 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 7,66 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 218,55 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 28,53 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{PL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 64832,25 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 47113,66 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 30,27 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = \frac{1}{1,27} \quad 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,61 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 1535,94 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_{ef} = 7,14 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 227,01 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 7,50 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 227,01 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{cef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = \frac{227,01}{7,50} = 30,27 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = \frac{0,61 \cdot 30,27 \cdot 2500}{1,10} = 42264,24 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{Rdx} = 42264,24 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = \frac{23100}{42264,24} = 0,59 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 7,14 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 15,89 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z}$$

$$d = 0,00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$X_{G \text{ final}} = X_G + d = 3,86 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 15,89 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = \frac{15,89}{3,86} = 4,11 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = \frac{4,11 \cdot 2500}{1,10} = 9348,03 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z}$$

4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$C_s = -1,00$$

$$C_m = 1,00$$

$$j = 8,34 \text{ cm} \quad \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010}$$

$$M_e = \frac{C_s \cdot N_{ey}}{C_m} \cdot \left[j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left(\frac{N_{et}}{N_{ey}} \right)} \right] = 20848,73 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral}$$

com torção

$$W_c = 4,11 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,70 \quad 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,96 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 2394,51 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_{ef} = 7,14 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 15,89 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z}$$

$$d = 0,00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$X_{G \text{ final}} = X_G + d = 3,86 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 15,89 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 4,11 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdy}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 8953,59 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{yRd} = 8953,59 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,07 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 14,67 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \quad \text{então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 3600,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

Av. Érico Veríssimo, 1140/sala 806 - Menino Deus - Porto Alegre/RS

TEL: (51)99984405 - (51) 3012-6770

www.carpeggiani.eng.br / carpeggiani@carpeggiani.eng.br

$$\lambda = \frac{h}{t} = 46,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 5645,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0,07 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,66$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,66$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,66$$

4.5 Verificação do Perfil BOX 250x50x3.25 mais solicitado:

Perfil Box (Formado a frio)

Perfil: BOX 250 x 50 x 3.25

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_t L_t = 192.96 \text{ cm}$ $K_z L_z = 192.96 \text{ cm}$

$K_y L_y = 578.91 \text{ cm}$ $L_b = 192.96 \text{ cm}$

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1.00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 42397.73 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 45224.24 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 42397.73 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 71412.03 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 48284.55 \text{ kgf}$$

$$N_e = 48284.55 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0.98$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_0)^2 = 0.67$$

Elemento A.A. com $b/t > 60$.

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 14.39 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 20007.44 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

Elemento A.A. com $b/t > 60$.

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 12.76 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 26587.57 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 20007.44 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$N_{cRd} = 20007.44 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0.01 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 18.66 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xeF} = 1212.45 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0.00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 12.50 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{x_{ef}} - A_{ef} \cdot d^2 = 1212.45 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 97.00 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rd}^{PL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 220445.41 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot G \cdot I_t} = 3343199.05 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 36.43 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0.17 \quad \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1.00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 2500.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_{ef} = 18.66 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{x_{ef}} = 1212.45 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0.00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 12.50 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{x_{ef}} - A_{ef} \cdot d^2 = 1212.45 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{cef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 97.00 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{xRd}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 220445.41 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT-}$$

$$M_{xRd} = 220445.41 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0.57 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

$$A_{ef} = 12.76 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{y_{ef}} = 74.95 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z}$$

$$d = 0.44 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$x_{G \text{ final}} = x_G + d = 2.94 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{y_{ef}} - A_{ef} \cdot d^2 = 71.93 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{x_{G \text{ final}}} = \frac{24.48 \text{ cm}^3}{\text{Módulo elástico efetivo}}$$

$$M_{yRd} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 55636.06 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 11.38 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68.31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88.54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 3279.55 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 72.92 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68.31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88.54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento} \quad \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$V_{Rd} = \frac{0,65 \cdot t^2 \cdot \sqrt{k_v \cdot f_y \cdot E}}{1,10}$$

então

$$V_{Rdz} = 19737.28 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0.01 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.58$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.57$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.57$$

5. SOLUÇÃO ESTRUTURAL

5.1 Reforço com chapa colada/parafusada;

Solução estrutural mais adequada para elementos submetidos aos esforços de flexão é chapa metálica colada. A solução com fibras de carbono é mais indicada para elementos sujeitos a compressão ou cisalhamento.

No caso da utilização de reforço com fibras, para que as mesmas fossem eficientes, a estrutura teria de deformar muito, o que tornaria a função do reforço estrutural ineficiente.

Os esforços solicitantes foram obtidos do modelo estrutural, no qual foram adicionados os carregamentos adotados nas plantas de geometrias, incluindo os reservatórios representados nas geometrias.

Para o dimensionamento das chapas de reforço, adotou-se o método Método de Campagnolo. O método proposto por Campagnolo (CAMPAGNOLO, 1995 2 apud SILVEIRA, 1997) possui as seguintes hipóteses básicas:

Concreto no Estádio II;

Chapa de aço de reforço no limite de sua capacidade. Sua tensão é igual à tensão de escoamento do aço de reforço;

O comprimento de ancoragem deve ser calculado de modo que todo o esforço resistido pela chapa já tenha sido completamente transferido.

fck= 40 MPa				ρmin= 0,00179				
Cobertura / 03pav				AS/ Barra=	0,19 cm²	0,31 cm²	0,50 cm²	0,79 cm²
ELEMENTO	DIMENSÃO	ÁREA [cm²]	As min	Mmin [tfm]	5 mm	6.3 mm	8 mm	10 mm
VIGA	14x55	770	1,378	2,14	8	5	3	2
VIGA	19x55	1045	1,871	2,91	10	7	4	3
VIGA	25x55	1375	2,461	3,83	13	8	5	4
VIGA	30x55	1650	2,954	4,62	16	10	6	4
VIGA	40x55	2200	3,938	6,13	21	13	8	5
LAJE	H=10	1000	1,790	0,41	C/ 10	C/ 16	C/ 25	C/ 33

Tabela das armaduras consideradas

Local/elem.	Seção	M min	Matuante	situação	Esp. Chapa	Reforço
Parede	-	-	-	OK	-	-
Parede	-	-	-	OK	-	-
VE1	19x55	2,91	1,53 tfm	OK	-	-
VE2	19x55	2,91	6,32 tfm	REF	5/16"	2° vão
VE3	19x55	2,91	4,77 tfm	REF	5/16"	1° + 2° Vão
VE4	14x55	2,14	2,13 tfm	OK	-	-
VE5	25x55	3,83	3,80 tfm	OK	-	-
VE6	19x55	2,91	2,90 tfm	OK	-	-
VE73	19x55	2,91	4,37 tfm	REF	5/16"	1° + 2° Vão
VE8	25x55	3,83	3,80 tfm	OK	-	-
VE9	19x55	2,91	9,81 tfm	REF	5/16"	inteira
Parede	-	-	-	OK	-	-
VE10	40x55	6,13	5,18 tfm	OK	-	-
VE11	30x55	4,62	9,60 tfm	REF	5/16"	1° + 3° Vão
VE12	19x55	2,91	9,10 tfm	REF	5/16"	1° + 3° Vão
VE13	19x55	2,91	2,90 tfm	OK	-	-
VE14	19x55	2,91	9,10 tfm	REF	5/16"	1° vão
VE15	19x55	2,91	10,95 tfm	REF	5/16"	inteira
VE16	19x55	2,91	2,90 tfm	OK	-	-

Arm. Considerada
situação OK
Reforço

5.2 Verificação dos Pilares: Demais Lances

Concreto

=====

Área total..... 960.0 cm2
Área por elemento..... 2.400 cm2
Número de elementos..... 400
fck..... 400. kgf/cm2
GamaC..... 1.40

Aço

===

Área total..... 7.9 cm2
Número de elementos..... 10
fyk..... 5000. kgf/cm2
Tipo de aço..... A
GamaS..... 1.15
Módulo de elasticidade..... 2100000.

Resultado do cálculo

=====

Dimensionamento..... OK
As existente..... 7.9cm2 (0.82%)
As necessário (mínimo)..... 3.8cm2 (0.40%)

Lista de carregamentos

=====

Caso	Sistema	Fz	Mx	My	Sd/Rd
	tf	tfm	tfm		
1	Central	24.	1.	0.18	OK
2	Central	24.	-1.	0.18	OK
3	Central	24.	0.	0.10	OK
4	Central	24.	0.	0.10	OK
5	Central	24.	-0.	0.12	OK
6	Central	24.	-0.	0.13	OK
7	Central	24.	0.	0.10	OK
8	Central	24.	-0.	0.11	OK
9	Central	24.	1.	0.15	OK
10	Central	24.	-1.	0.15	OK
11	Central	24.	-1.	0.15	OK
12	Central	24.	1.	0.15	OK

Lance da Base

Concreto

=====

Área total..... 960.0 cm2
Área por elemento..... 2.400 cm2
Número de elementos..... 400
fck..... 400. kgf/cm2
GamaC..... 1.40

Aço

===

Área total..... 20.1 cm2
Número de elementos..... 10
fyk..... 5000. kgf/cm2
Tipo de aço..... A
GamaS..... 1.15
Módulo de elasticidade..... 2100000.

Resultado do cálculo

=====

Dimensionamento..... OK
Carregamento de As máximo..... 2
Força normal..... 45.tfm
Momento Mx..... -4.tfm
Momento My..... -0.tfm
As existente..... 20.1cm2 (2.09%)
As necessário..... 9.1cm2 (0.95%)

Lista de carregamentos

=====

Caso	Sistema	Fz	Mx	My	Sd/Rd
	tf	tfm	tfm		
1	Central	45.	4.	0.	0.64 OK
2	Central	45.	-4.	-0.	0.64 OK
3	Central	45.	-0.	2.	0.17 OK
4	Central	45.	0.	-2.	0.17 OK
5	Central	45.	-3.	1.	0.47 OK
6	Central	45.	3.	1.	0.51 OK
7	Central	45.	3.	-1.	0.47 OK
8	Central	44.	-0.	0.	0.15 OK
9	Central	44.	3.	1.	0.50 OK
10	Central	44.	0.	-0.	0.15 OK
11	Central	45.	-3.	-1.	0.47 OK

Responsável Técnico
Elvis A. Carpeggiani
CREA: RS109390

Av. Érico Veríssimo, 1140/sala 806 - Menino Deus - Porto Alegre/RS
TEL: (51)99984405 - (51) 3012-6770
www.carpeggiani.eng.br / carpeggiani@carpeggiani.eng.br