

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA PRINCIPAL DE UM GALPÃO
UTILIZANDO PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO**

JACKSON MOTERANI MAIA

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>FOLHA</u>
1	INTRODUÇÃO	4
2	SOFTWARES UTILIZADOS	5
3	GALPÃO A SER PROJETADO	5
4	PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS PERFIS SUGERIDOS	7
5	AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA	12
6	COMBINAÇÕES PARA ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS	25
7	RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTRUTURAIS – 1ª ITERAÇÃO	28
8	VERIFICAÇÕES PARA OS PILARES – PERFIL SUGERIDO	40
9	VERIFICAÇÕES PARA OS PILARES – PERFIL CX 375X100X38X3,75	46
10	VERIFICAÇÕES PARA AS VIGAS – PERFIL SUGERIDO	58
11	VERIFICAÇÕES PARA AS VIGAS – PERFIL CX 375X100X38X3,75	60
12	RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTRUTURAIS – 2ª ITERAÇÃO	70
13	VERIFICAÇÕES PARA OS PILARES E VIGAS – PERFIL CX 375X100X38X3,75	72
14	VERIFICAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS	86
15	CONCLUSÃO	88

16	NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS	88
17	ANEXOS	89

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, pretende-se dimensionar as barras da estrutura principal de um galpão de 810 m² utilizando exclusivamente perfis de aço estrutural formados a frio, conforme requisitos da NBR-14762:2010.

Para tanto será utilizado como referência o manual “Galpões para usos gerais” publicado no ano de 2010 pelo Instituto Aço Brasil (IABr) / Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) que utiliza exclusivamente perfis laminados e/ou soldados. Entretanto, os perfis laminados e/ou soldados apresentados no exemplo de cálculo do manual serão substituídos por perfis formados a frio com aço de propriedades mecânicas próximas ao utilizado no manual. A análise estrutural e as verificações serão iniciadas partindo dos seguintes perfis sugeridos: Cx 250x85x25x2,25 (altura de 250 mm e largura total de 170 mm) para o pilar do galpão e Cx 300x85x20x3,00 (altura de 300 mm e largura total de 170 mm) para a viga da tesoura.

Como premissa, as características geométricas do galpão, as ações permanentes e as variáveis serão mantidas de modo a permitir, ao final do trabalho, uma melhor comparação entre os dois sistemas estruturais. Todas as ações serão novamente apresentadas para facilitar a leitura e entendimento. Entretanto, serão registrados comentários ou observações quando encontradas divergências entre o manual e às prescrições normativas.

Finalmente, o principal objetivo do trabalho é a consolidação dos conhecimentos adquiridos sobre o dimensionamento de barras de perfis formados a frio e comparar o peso de estrutura obtido com o peso da solução apresentada pelo manual utilizado como referência.

2 SOFTWARES UTILIZADOS

- Microsoft Excel
- Ftool

3 GALPÃO A SER PROJETADO

Conforme manual de referência, neste trabalho será projetado um galpão para armazenamento de materiais com as seguintes características:

- galpão com duas meias águas, inclinação da cobertura 10°;
- pórtico com vigas e pilares em perfil caixa;
- pilares com apoios simples (isto é, restrições de deslocamento na direção vertical e horizontal e permitidas as rotações) nas fundações;
- estabilidade longitudinal garantida por meio de contraventamentos verticais e no plano da cobertura, entre eixos 1-2 e 9-10.
- vão transversal livre do pórtico de 15000 mm;
- vão longitudinal de 6000 mm entre pórticos e comprimento total de 54000 mm;
- pé-direito de 6000 mm;
- tapamentos laterais e frontais em todo o galpão;
- material utilizado para os perfis: aço USISAC 350 pintado com $f_y=350$ MPa e $f_u=500$ MPa;
- telhas de espessura de 0,55mm e 40mm de altura de onda;
- sistema estrutural conforme Figura 3.1.

4 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS PERFIS SUGERIDOS

Independentemente dos catálogos de fabricantes, para o cálculo das propriedades geométricas necessárias para o dimensionamento foi elaborada uma planilha eletrônica, na qual é possível inserir as dimensões principais do perfil U enrijecido (b_w , b_f , D e t_n) e informar se o perfil selecionado é fabricado ou não com aço zincado.

A planilha foi desenvolvida para calcular as propriedades geométricas do perfil U enrijecido (U_e) desejado e do perfil Caixa (C_x) resultante da conexão longitudinal de dois perfis U_e . Com exceção do momento de inércia à torção (I_t) dos perfis U_e e Caixa e da constante de empenamento (C_w) do perfil Caixa, todas as demais propriedades foram calculadas através das formulações da NBR-6355:2012.

Nota:

A NBR-6355:2012 não estabelece formulações para o cálculo do I_t de perfis U_e e C_x . O mesmo acontece para o cálculo do C_w de perfis C_x . Para estes cálculos, foram utilizadas as formulações apresentadas no capítulo 7 da Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – Dimensionamento Básico de Elementos de Estruturas de Aço – Versão 3.

Após verificação da correta formulação da planilha eletrônica, apresenta-se nas tabelas a seguir as propriedades geométricas dos dois perfis sugeridos:

O arquivo da planilha eletrônica está disponível no Anexo I do presente trabalho.

4.1 Perfil Sugerido para o Pilar do Pórtico

Cálculo de propriedades geométricas (NBR 6355:2012)			
Perfil U enrijecido / Perfil Caixa com 2 Ue			
<u>1) Dimensões principais do perfil Ue</u>		<u>3) Propriedades do Perfil Ue isolado</u>	
bw	250,00 mm	Area	1.024,22 mm ² 10,24 cm ²
bf	85,00 mm	m	8,04 kg/m
D	25,00 mm	xg	24,32 mm
tn	2,25 mm	x0	60,62 mm 6,06 cm
		Ix	9.735.939,04 mm ⁴ 973,59 cm ⁴
		Wx	77,89 cm ³
		rx	9,75 cm
Aço zincado?	não	Iy	988.666,88 mm ⁴ 98,87 cm ⁴
		Wy	16,29 cm ³
		ry	3,11 cm
		It (aprox.)	1.728,37 mm ⁶ 0,173 cm ⁴
		Cw	12.755.844.259,00 mm ⁶ 12.755,84 cm ⁶
		r0	11,89 cm
<u>2) Demais dimensões do perfil Ue</u>		<u>4) Propriedades Cx</u>	
a	241,00 mm	AreaCx	2.048,44 mm ² 20,48 cm ²
am	247,75 mm	mCx	16,08 kg/m
b	76,00 mm	IxCx	19.471.878,08 mm ⁴ 1.947,19 cm ⁴
bm	82,75 mm	WxCx	155,78 cm ³
c.	20,50 mm	rxCx	9,75 cm
cm	23,88 mm	IyCx	9.519.434,11 mm ⁴ 951,94 cm ⁴
rm	3,38 mm	WyCx	111,99 cm ³
u1.	5,30 mm	ryCx	6,82 cm
ri	2,25 mm	ItCx (aprox.)	18.307.244,18 mm ⁴ 1.830,72 cm ⁴
tr	- mm	CwCx (aprox.)	0,00 mm ⁶ 0,00 cm ⁶
t.	2,25 mm	r0	11,90 cm

Tabela 4.1 – Propriedades geométricas do perfil sugerido para o pilar Cx 250x85x25x2,25
(altura de 250 mm e largura total de 170 mm)

Verificação das relações largura-espessura:

Caso a ser analisado	(b/t) do elemento	(b/t)máx	Resultado
Elemento comprimido AA, tendo uma borda vinculada a alma ou mesa e a outra a enrijecedor de borda simples	$82,75/2,25=36,78$	60	OK
Elemento comprimido AA, tendo uma borda vinculada a alma e a outra a mesa ou outro tipo de enrijecedor de borda com $I_s > I_a$	N.A.	90	N.A.
Alma de perfis U não enrijecidos sujeita à compressão uniforme	N.A.	90	N.A.
Elemento comprimido com ambas as bordas vinculadas a elementos AA	$241,00/2,25=107,11$	500	OK
Elemento comprimido AL ou AA com enrijecedor de borda tendo $I_s < I_a$	$82,75/2,25=36,78$	60	OK
Alma de vigas sem enrijecedores transversais	$241,00/2,25=107,11$	200	OK
Alma de vigas com enrijecedores transversais apenas nos apoios	N.A.	260	N.A.
Alma de vigas com enrijecedores transversais nos apoios e intermediários	N.A.	300	N.A.

Tabela 4.2 – Verificação das relações largura-espessura do perfil sugerido para o pilar

Cx 250x85x25x2,25

4.2 Perfil Sugerido para a Viga do Pórtico

Cálculo de propriedades geométricas (NBR 6355:2012)			
Perfil U enrijecido / Perfil Caixa com 2 Ue			
<u>1) Dimensões principais do perfil Ue</u>		<u>3) Propriedades do Perfil Ue isolado</u>	
bw	300,00 mm	Area	1.470,83 mm ² 14,71 cm ²
bf	85,00 mm	m	11,55 kg/m
D	20,00 mm	xg	20,76 mm
tn	3,00 mm	x0	52,22 mm 5,22 cm
		Ix	19.086.604,46 mm ⁴ 1.908,66 cm ⁴
		Wx	127,24 cm ³
		rx	11,39 cm
Aço zincado?	não	Iy	1.223.616,78 mm ⁴ 122,36 cm ⁴
		Wy	19,05 cm ³
		ry	2,88 cm
		It (aprox.)	4.412,50 mm ⁶ 0,441 cm ⁴
		Cw	21.669.229.756,29 mm ⁶ 21.669,23 cm ⁶
		r0	12,86 cm
<u>2) Demais dimensões do perfil Ue</u>		<u>4) Propriedades Cx</u>	
a	288,00 mm	AreaCx	2.941,67 mm ² 29,42 cm ²
am	297,00 mm	mCx	23,09 kg/m
b	73,00 mm	IxCx	38.173.208,91 mm ⁴ 3.817,32 cm ⁴
bm	82,00 mm	WxCx	254,49 cm ³
c.	14,00 mm	rxCx	11,39 cm
cm	18,50 mm	IyCx	14.587.888,73 mm ⁴ 1.458,79 cm ⁴
rm	4,50 mm	WyCx	171,62 cm ³
u1.	7,07 mm	ryCx	7,04 cm
ri	3,00 mm	ItCx (aprox.)	30.878.124,91 mm ⁴ 3.087,81 cm ⁴
tr	- mm	CwCx (aprox.)	0,00 mm ⁶ 0,00 cm ⁶
t.	3,00 mm	r0	13,39 cm

Tabela 4.3 – Propriedades geométricas do perfil sugerido para viga Cx 300x85x20x3,00
(altura de 300 mm e largura total de 170 mm)

Verificação das relações largura-espessura:

Caso a ser analisado	(b/t) do elemento	(b/t)máx	Resultado
Elemento comprimido AA, tendo uma borda vinculada a alma ou mesa e a outra a enrijecedor de borda simples	$82,75/2,25=36,78$	60	OK
Elemento comprimido AA, tendo uma borda vinculada a alma e a outra a mesa ou outro tipo de enrijecedor de borda com $I_s > I_a$	N.A.	90	N.A.
Alma de perfis U não enrijecidos sujeita à compressão uniforme	N.A.	90	N.A.
Elemento comprimido com ambas as bordas vinculadas a elementos AA	$288,00/2,25=$ 128,00	500	OK
Elemento comprimido AL ou AA com enrijecedor de borda tendo $I_s < I_a$	$82,75/2,25=36,78$	60	OK
Alma de vigas sem enrijecedores transversais	$288,00/2,25=$ 128,00	200	OK
Alma de vigas com enrijecedores transversais apenas nos apoios	N.A.	260	N.A.
Alma de vigas com enrijecedores transversais nos apoios e intermediários	N.A.	300	N.A.

Tabela 4.4 – Verificação das relações largura-espessura do perfil sugerido para viga

Cx 300x85x20x3,00

5 AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA

5.1 Ações Permanentes

Conforme manual de referência, as seguintes ações serão consideradas:

Telhas	0,10 kN/m ²
Contraventamentos	0,05 kN/m ²
Terças e Tirantes	0,10 kN/m ²
Vigas e Pilares	<u>0,20 kN/m²</u>
Total permanente	0,45 kN/m ²

O carregamento distribuído linearmente sobre um pórtico (intermediário) é dado por:

$$0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 6\text{m} = 2,70 \text{ kN/m}.$$

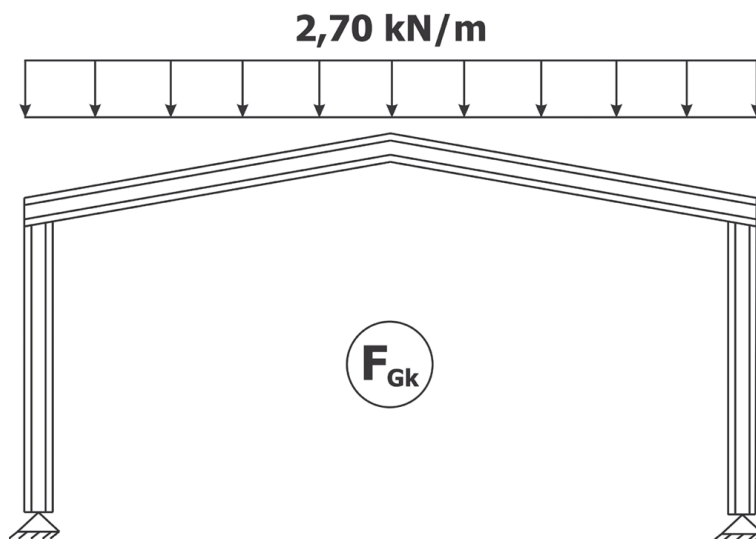


Figura 5.1 – Ação permanente

Nota:

Carga permanente de telhas: conforme catálogos de fabricantes, poderia ser considerada uma ação de 0,064 kN/m² para telhas de 0,65 mm de espessura.

Carga permanente de vigas e pilares: como estamos utilizando perfis formados a frio neste trabalho, as cargas permanentes referentes a vigas e pilares poderiam ser ajustadas. Para o autor a melhor forma de lançar a carga permanente do pilar seria através de carga concentrada, no topo do mesmo. Entretanto iremos utilizar os mesmos valores do manual de referência.

5.2 Ações Variáveis - Sobrecarga

Conforme especificado no item B.5.2 do Anexo B da NBR-8800:2008, o valor da sobrecarga na cobertura deve ser especificado de acordo com a sua finalidade, porém com um valor mínimo de $0,25 \text{ kN/m}^2$. Neste caso o carregamento linearmente distribuído sobre o pórtico é $0,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = 1,5 \text{ kN/m}$.

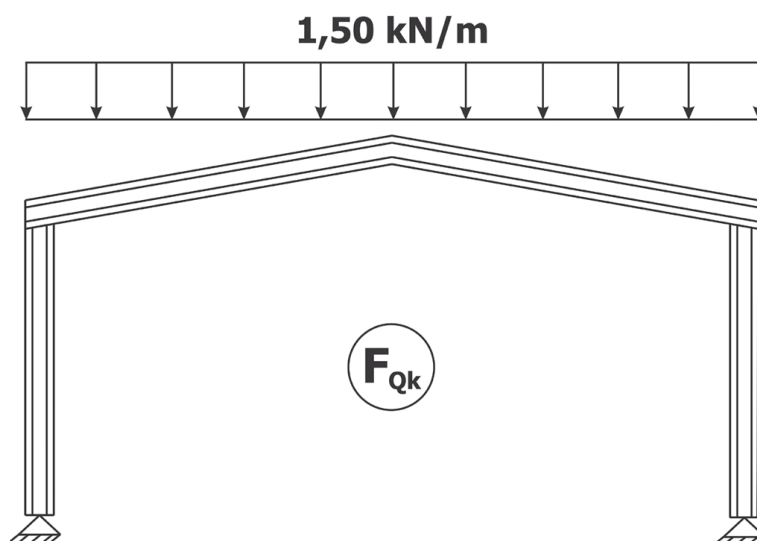


Figura 5.2 – Ação variável – Sobrecarga

5.3 Ações Variáveis - Vento

- Velocidade Básica do Vento:

Conforme manual de referência, neste trabalho será utilizada uma velocidade básica V_0 de 40m/s, considerando que o galpão será construído em uma região de São Paulo.

Nota:

Para um galpão a ser construído em Belo Horizonte poderia ser considerada uma velocidade básica V_0 de 32 m/s. Este valor é obtido por interpolação, visto que a cidade de Belo Horizonte (ponto número 5 indicado na figura 5.3) está entre as isopletas de 30 e 35 m/s.

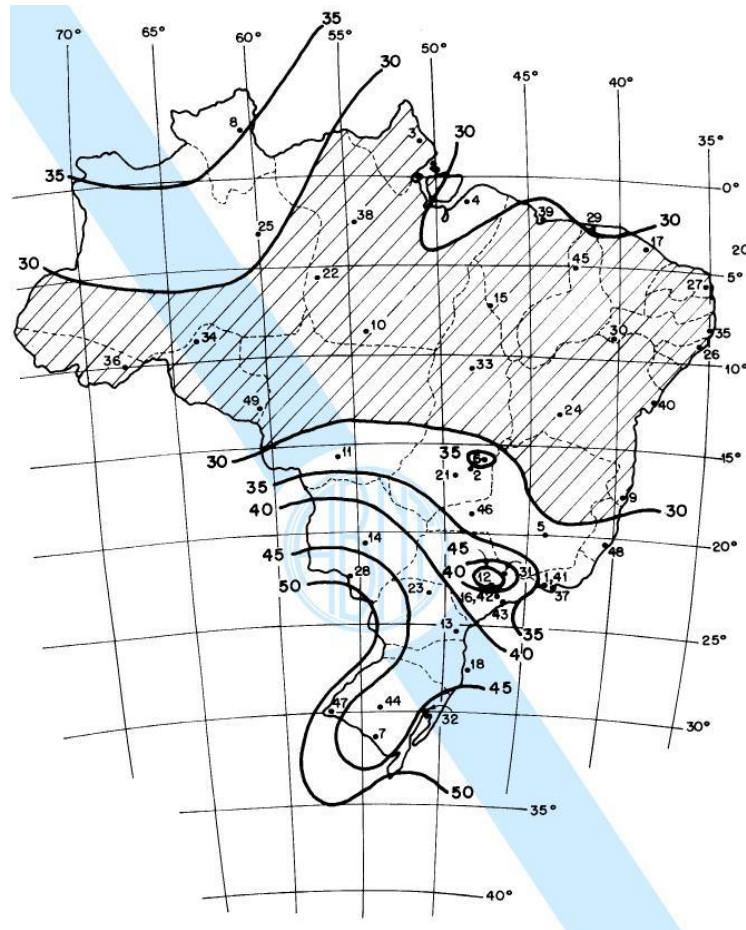


Figura 5.3 – Mapa de isopletas

- Fator Topográfico – S_1

Sabendo que o projeto será construído sobre um terreno plano, tem-se $S_1=1,0$.

- Fator Rugosidade – S_2

O manual de referência classifica o terreno como categoria III e o galpão como classe C. Conforme a Tabela 1 da NBR-6123:1988, obtêm-se para um terreno de categoria III e uma edificação de classe C, os parâmetros $b = 0,93$, $Fr = 0,95$ e $p = 0,115$.

Assim, o fator S_2 pode ser calculado com a fórmula normativa utilizada no manual de referência:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot (Z/10)^p$$

Calculando-se o fator S_2 para as alturas de 3 m e 7,32 m (este último valor correspondente à altura da cumeeira), tem-se para essas duas alturas:

$$S_{2,(3m)} = 0,77$$

$$S_{2,(7,3m)} = 0,85$$

Nota:

O autor do manual de referência classificou o galpão como classe C, justificando esta classificação pelo seu maior comprimento que é de 54 m. Entretanto entende-se que a melhor classificação seria função das diferentes direções do vento. Para um vento incidindo perpendicularmente à superfície transversal, seria mais indicado classificar o galpão como classe A (a maior dimensão da superfície frontal tem 15 m, portanto, menor que 20 m). Já para um vento incidindo perpendicularmente à superfície longitudinal, também seria mais indicado classificar o galpão como classe A (apesar da maior dimensão da superfície frontal ter 54 m, não está previsto um sistema de contraventamento na cobertura que a transforme em um diafragma, assim os pórticos tendem a trabalhar isoladamente, com uma faixa de influência de 6 m para os pórticos internos, valor inferior a 20 m).

- Fator Rugosidade – S_3

Considerando que o galpão será um depósito com baixo fator de ocupação, tem-se $S_3 = 0,95$.

- Velocidade Característica – V_k

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

Assim, têm-se as velocidades características para as duas alturas calculadas:

$$V_{k,(3\text{ m})} = 29,26 \text{ m/s}$$

$$V_{k,(7,3\text{ m})} = 32,30 \text{ m/s}$$

- Pressão dinâmica – q

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \text{ (em N/m}^2\text{)}$$

$$q_{(3\text{ m})} = 524,82 \text{ N/m}^2$$

$$q_{(7,3\text{ m})} = 639,54 \text{ N/m}^2$$

- Coeficientes de pressão e de forma externos (c_{pe} e C_e) para as paredes:

Para o galpão que é uma edificação retangular verificam-se a altura (h), a largura (b) e comprimento (a) da edificação. Assim as relações altura/largura:

$$h/b = 6/15 = 0,4 \rightarrow 0,4 < 1/2$$

$$a/b = 54/15 = 3,6 \rightarrow 2 < 3,6 < 4$$

Com isso tem-se a distribuição para os coeficientes de forma externos, conforme as Figuras 5.4 e 5.5.

Além disso, o comprimento de A1 e B1 apresentado na Figura 5.4 é definido pelo maior valor entre $b/3$ e $a/4$, desde que seja este valor menor ou igual que $2 \cdot h$. Como para este caso o maior valor da relação, que é $a/4 = 13,5$, é maior que $2 \cdot h = 12$, adota-se a distância de 12 m.

Para os comprimentos de C1 e D1 na Figura 5.5, é adotado o menor valor entre $2 \cdot h$ e $b/2$, sendo para este caso $b/2 = 7,5\text{m}$ o menor deles.

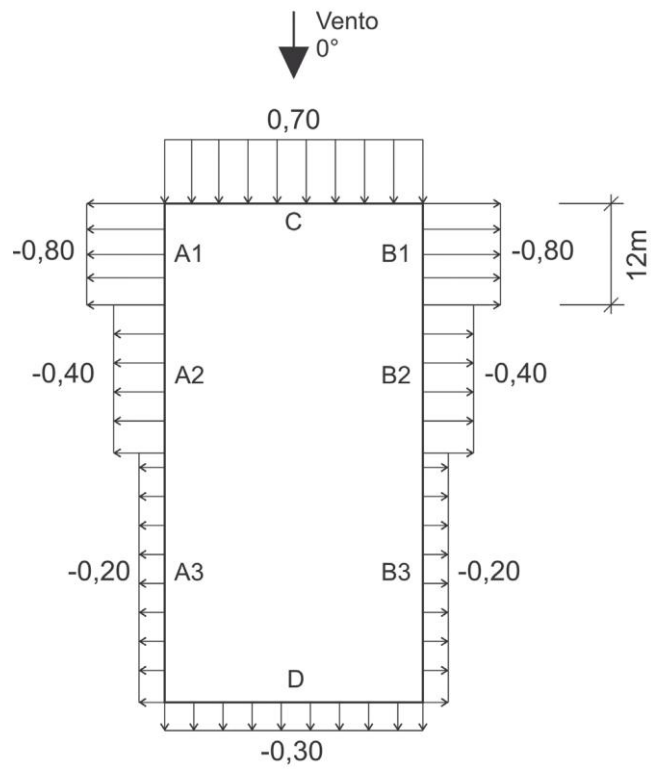


Figura 5.4 – C_e para paredes – Vento a 0°

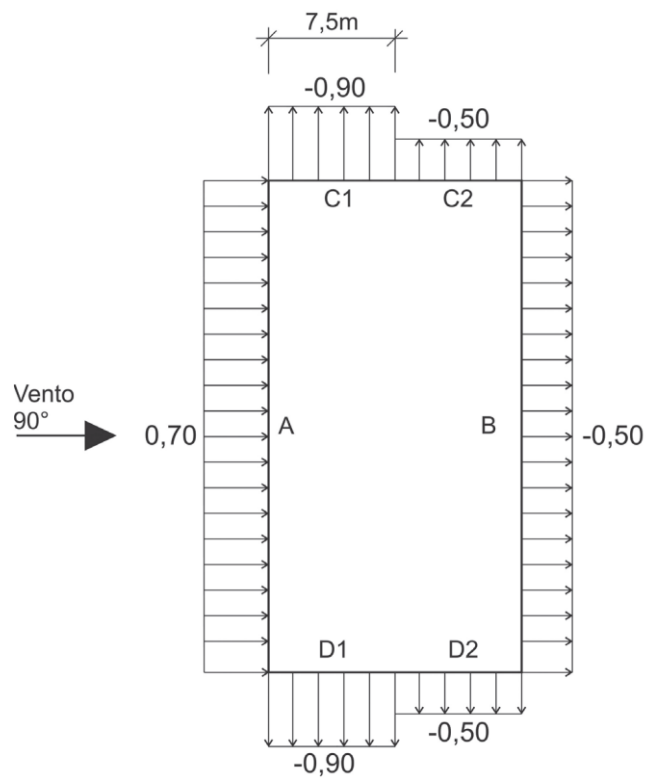


Figura 5.5 – C_e para paredes – Vento a 90°

O C_e médio para as paredes é dado pelo menor valor entre h e $0,2 \cdot b$, sendo este último o adotado neste caso, conforme a Figura 5.6.

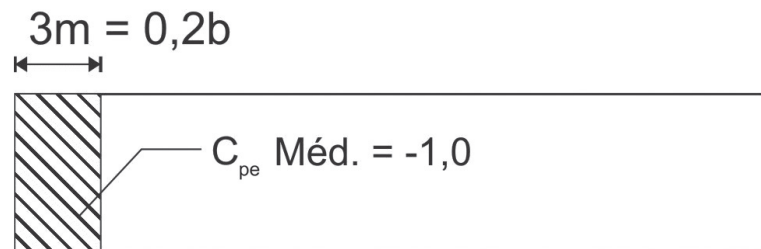


Figura 5.6 – c_{pe} médio para paredes

- Coeficientes de pressão e de forma externos (c_{pe} e C_e) para telhados simétricos em duas águas:

$$h/b = 6/15 = 0,4 \rightarrow 0,4 < 1/2$$

Inclinação do telhado: 10°

Através destas informações, obtêm-se com a NBR-6123:1988 os valores de C_e e c_{pe} distribuídos conforme as Figuras 5.7 e 5.8.

Além disso, a largura das faixas dos c_{pe} médios é definida pelo menor valor entre h ou $0,15 \cdot b$. Assim, é adotado o valor de $0,15 \cdot b = 2,25$ m.

Também, conforme indicado na NBR-6123:1988, a dimensão dos quadros E e G é estipulada da mesma maneira que os C_e das paredes para A1 e B1.

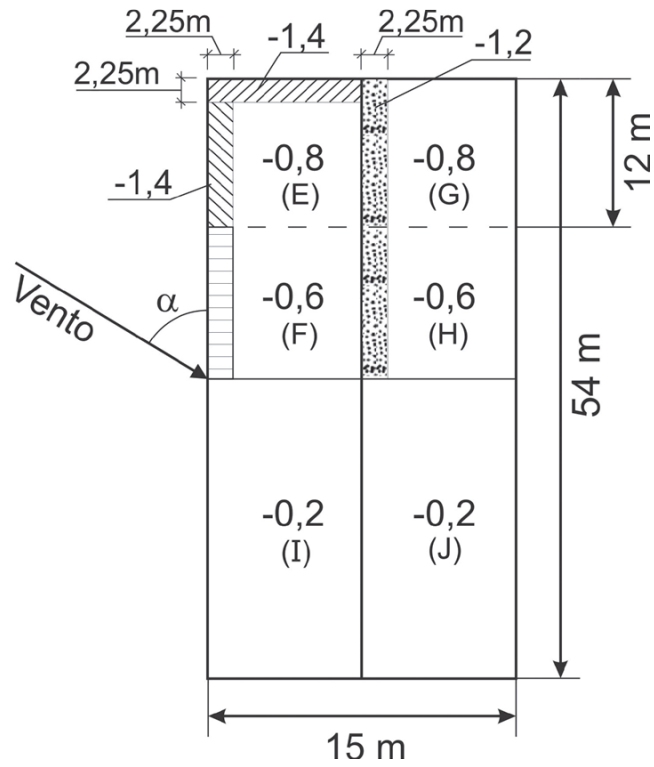


Figura 5.7 – C_e e c_{pe} para telhados simétricos em duas águas – Vento a 0°

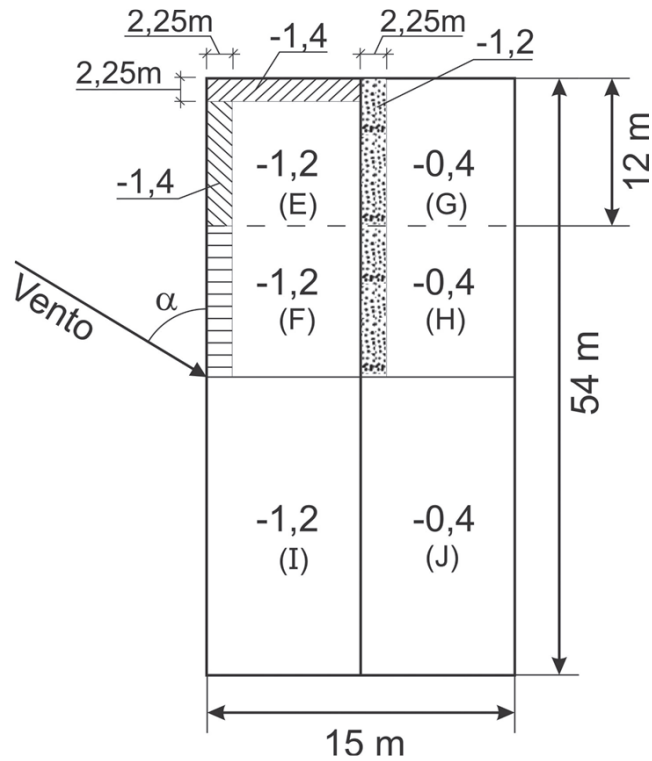


Figura 5.8 – C_e e c_{pe} para telhados simétricos em duas águas – Vento a 90°

- Coeficientes de pressão interna (c_{pi}) da edificação:

O cálculo dos coeficientes de pressão interna (c_{pi}) é feito de acordo com as indicações do item 5.2 da NBR-6123:1988. Os tapamentos laterais, frontais e a cobertura do galpão serão em chapa trapezoidal, portanto permeáveis, de acordo com a norma.

Para efeitos de simplificação será desprezada a existência de abertura dominante em qualquer face do galpão e serão adotados os coeficientes previstos no item 6.2.5(a) da NBR-6123:1988.

Porém, tendo em mãos as dimensões das aberturas fixas e móveis da edificação, os coeficientes de pressão interna podem ser obtidos de acordo com o Anexo D da NBR-6123:1988.

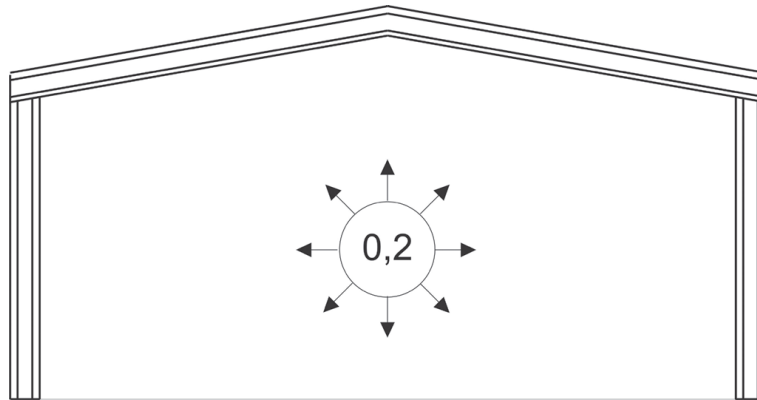


Figura 5.9 – c_{pi} da edificação – Vento perpendicular a uma fachada permeável

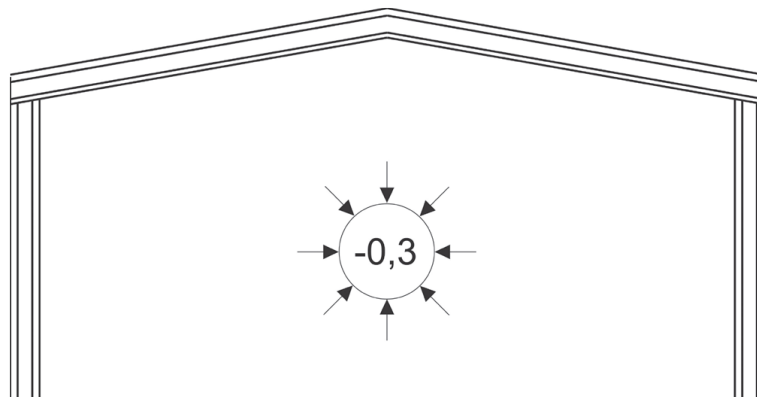


Figura 5.10 – c_{pi} da edificação – Vento perpendicular a uma fachada impermeável

- Combinações para as cargas do vento:

Finalmente, após o cálculo dos coeficientes de pressão para a edificação, passa-se para as combinações das cargas de vento.

Duas combinações serão usadas somente para o dimensionamento das telhas, terças e ancoragens, pois nelas serão considerados os C_{pe} médios previstos anteriormente. Outras quatro combinações serão utilizadas no dimensionamento dos elementos dos pórticos.

Combinações para telhas, terças e ancoragens:

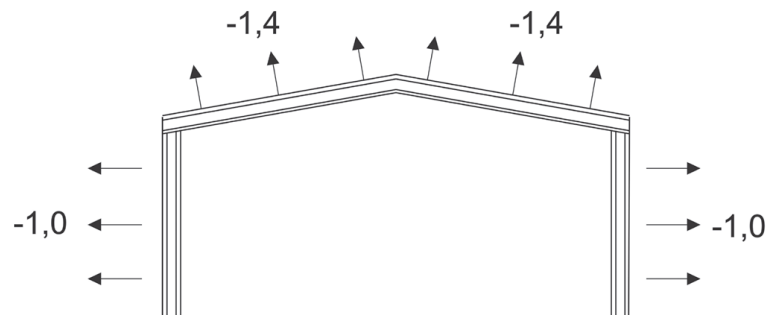


Figura 5.11 – C_{pe} médio (Seção 1)

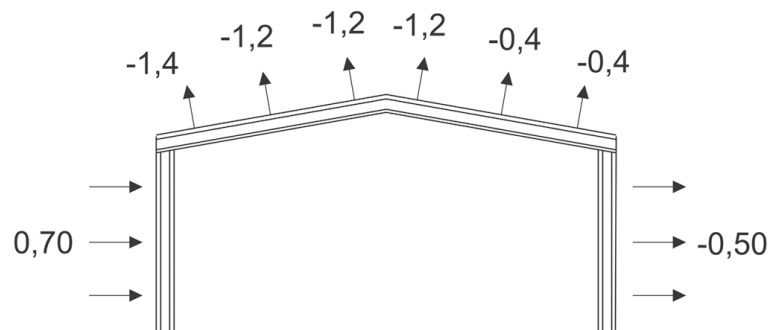


Figura 5.12 – C_{pe} médio (Seção 2)

Combinações para elementos da estrutura principal:

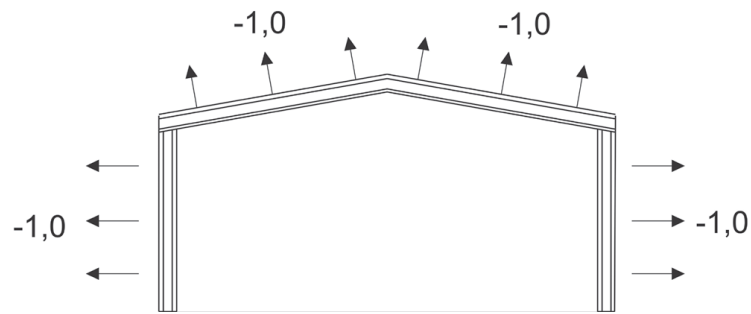


Figura 5.13 – Caso 1: $C = C_e(0^\circ) + c_{pi}(+0,2)$

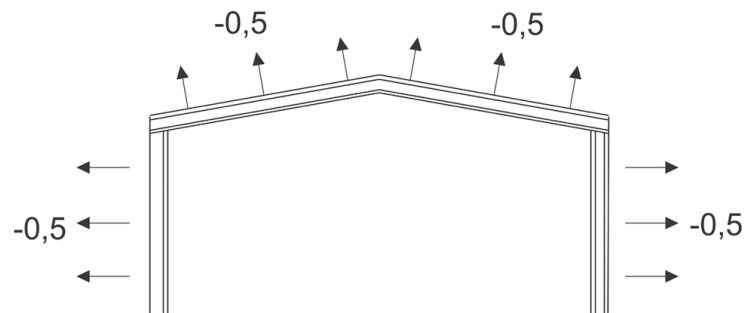


Figura 5.14 – Caso 2: $C = C_e(0^\circ) + c_{pi}(-0,3)$

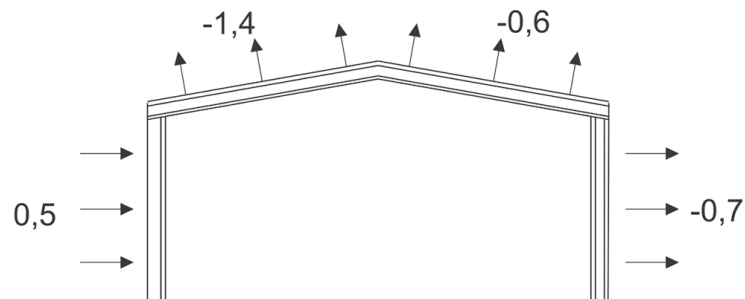


Figura 5.15 – Caso 3: $C = C_e(90^\circ) + c_{pi}(+0,2)$

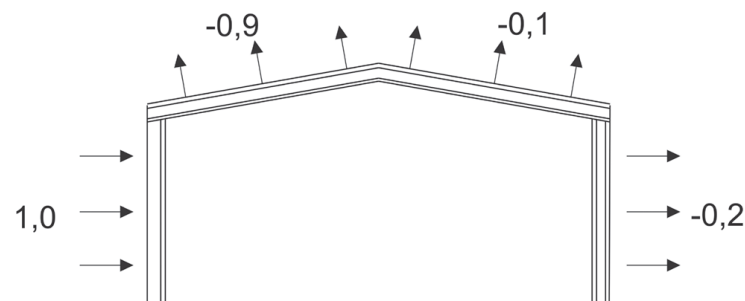


Figura 5.16 – Caso 4: $C = C_e(90^\circ) + c_{pi}(-0,3)$

Nota:

As combinações para o vento nas direções 180° e 270° são simétricas às combinações para o vento nas direções 0° e 90°, respectivamente.

- Esforços finais devidos à ação do vento para o galpão:

Por não serem determinantes para o dimensionamento, descartam-se os casos 2 e 4 indicados nas Figuras 5.14 e 5.16 e passam a ser analisados somente os dois casos restantes, que serão chamados de hipóteses I e II. Para a obtenção dos esforços finais de vento multiplicou-se os coeficientes de pressão atuantes pela pressão dinâmica do vento correspondente à altura estudada ($q_{(3\text{ m})} = 524,82 \text{ N/m}^2$ / $q_{(7,3\text{ m})} = 639,54 \text{ N/m}^2$) e pela distância entre pórticos da estrutura (6 m).

Assim, obtêm-se as cargas conforme apresentado na Tabela 5.1, distribuídas conforme o indicado nas Figuras 5.17 e 5.18.

P = (D · q)	Hipótese 1 - F = (P · Cf)	Hipótese II - F = (P · Cf)
$6\text{m} \cdot 0,5248 \text{ kN/m}^2 = 3,15 \text{ kN/m}$	$3,15 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,15 \text{ kN/m}}$	$3,15 \text{ kN/m} \cdot 0,5 = \mathbf{1,58 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 0,5 = \mathbf{1,82 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1,4 = \mathbf{5,38 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 0,6 = \mathbf{2,30 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 0,7 = \mathbf{2,69 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,5248 \text{ kN/m}^2 = 3,15 \text{ kN/m}$	$3,15 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,15 \text{ kN/m}}$	$3,15 \text{ kN/m} \cdot 0,7 = \mathbf{2,21 \text{ kN/m}}$

Tabela 5.1 – Obtenção dos valores de cargas devidas ao vento nos pórticos

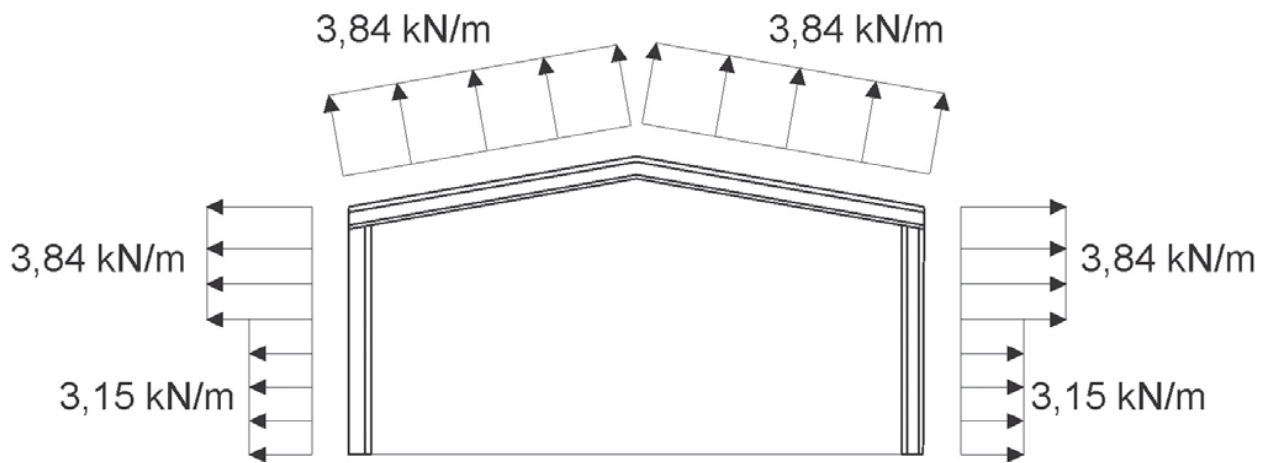


Figura 5.17 – Hipótese I (Cargas finais de vento)

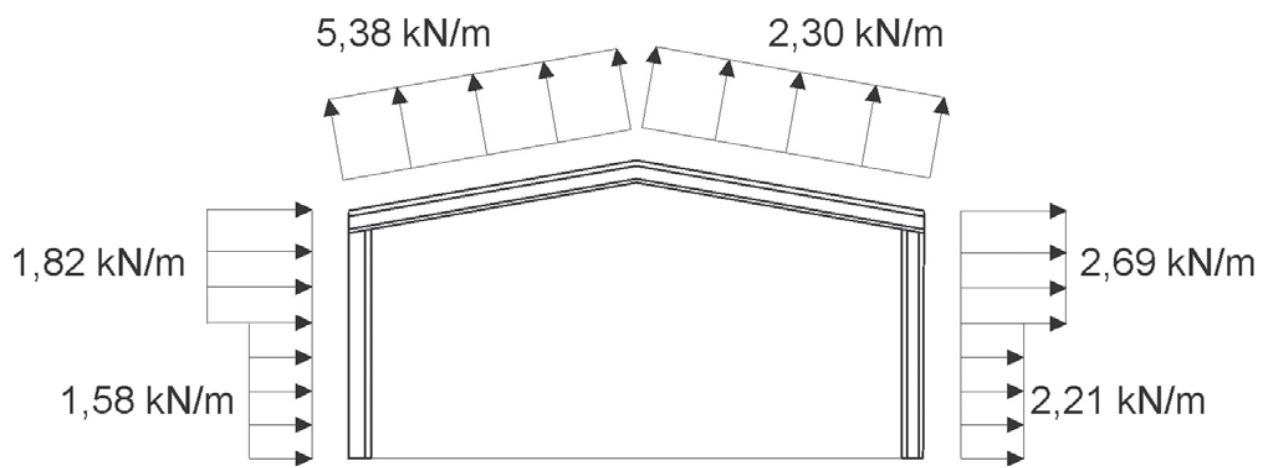


Figura 5.18 – Hipótese II (Cargas finais de vento)

5.4 Força Nocial

Para levar em conta as imperfeições geométricas iniciais será aplicada uma força horizontal equivalente (força nocial) igual a 0,3% do valor das cargas gravitacionais de cálculo.

6 COMBINAÇÕES PARA ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

Serão utilizadas as mesmas combinações utilizadas no manual de referência para permitir a devida comparação dos resultados.

6.1 Combinação $F_{D,1}$: CP + SC + Imperfeições Geométricas e de Material

$$F_{D,1} = (1,25) \cdot F_{G,k} + (1,5) \cdot F_{Q,k}$$

$$F_{D,1} = (1,25) \cdot (2,7 \text{ kN/m}) + (1,5) \cdot (1,5 \text{ kN/m}) = 5,63 \text{ kN/m}$$

A força nocional correspondente de acordo com o item 5.4 é dada por:

$$F_n = 0,003 (5,63 \text{ kN/m}) \cdot (15\text{m}) = 0,25 \text{ kN}$$

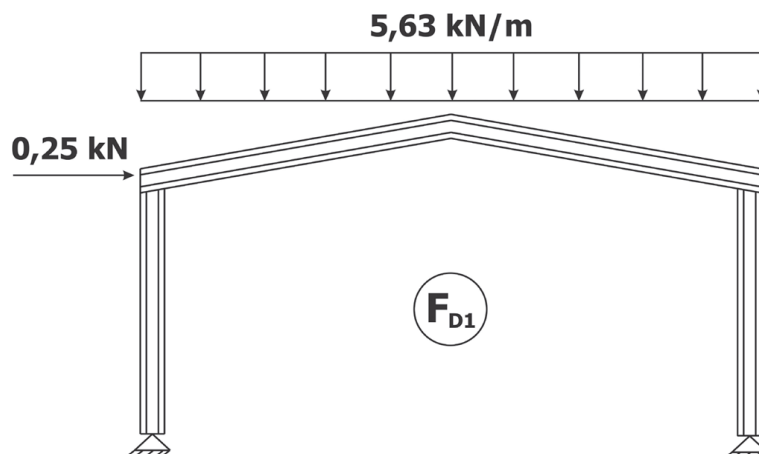


Figura 6.1 – Combinação $F_{D,1}$

6.2 Combinação $F_{D,2}$: CP + Vento I + Imperfeições Geométricas e de Material

$$F_{D,2} = (1,00) \cdot F_{G,k} - (1,4) \cdot F_{w,k}$$

Ação vertical na viga de cobertura:

$$F_{D,2} = (1,00) \cdot (2,7 \text{ kN/m}) - (1,4) \cdot (3,84 \text{ kN/m} \cdot \cos(10^\circ)) = -2,61 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na viga de cobertura:

$F_{D,2} = - (1,4) \cdot (3,84 \text{ kN/m} \cdot \text{sen}(10^\circ)) = -0,93 \text{ kN/m}$ (Nota: valor utilizado pelo manual de referência será mantido: $- 0,84 \text{ kN/m}$)

Ação horizontal na parte superior do pilar ($h > 3\text{m}$):

$$F_{D,2} = - (1,4) \cdot (3,84 \text{ kN/m}) = -5,38 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na parte inferior do pilar ($h < 3\text{m}$):

$$F_{D,2} = - (1,4) \cdot (3,15 \text{ kN/m}) = -4,41 \text{ kN/m}$$

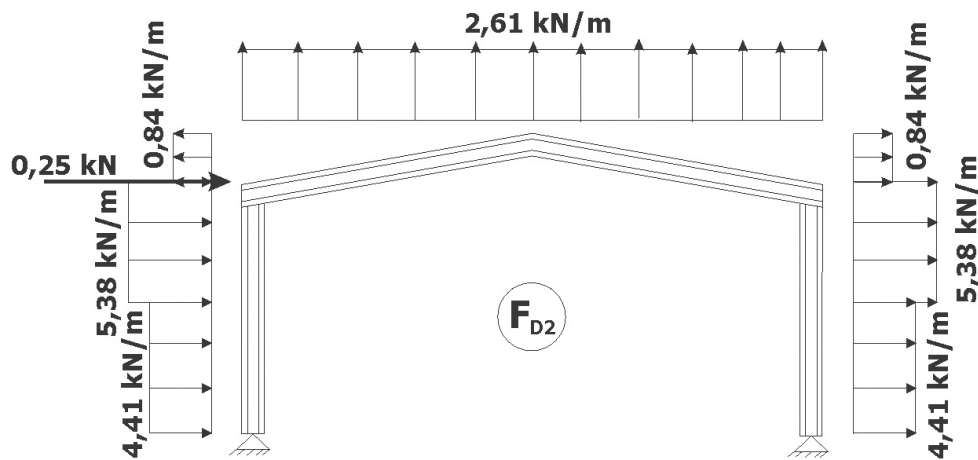


Figura 6.2 – Combinação $F_{D,2}$

Nota: o autor mostra na Figura 6.2 os mesmos esforços indicados pelo manual de referência, porém o carregamento no pilar esquerdo deveria estar com sentido invertido.

6.3 Combinação $F_{D,3}$: CP + Vento II + Imperfeições Geométricas e de Material

$$F_{D,3} = (1,00) \cdot F_{G,k} - (1,4) \cdot F_{w,k}$$

Ação vertical na viga da esquerda da cobertura:

$$F_{D,3} = (1,00) \cdot (2,7 \text{ kN/m}) - (1,4) \cdot (5,38 \text{ kN/m} \cdot \text{cos}(10^\circ)) = -4,74 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na viga da esquerda da cobertura:

$$F_{D,3} = - (1,4) \cdot (5,38 \text{ kN/m} \cdot \text{sen}(10^\circ)) = -1,31 \text{ kN/m}$$

(Nota: valor utilizado pelo manual de referência será mantido: $-1,18 \text{ kN/m}$)

Ação vertical na viga da direita da cobertura:

$$F_{D,3} = (1,00) \cdot (2,7 \text{ kN/m}) - (1,4) \cdot (2,30 \text{ kN/m} \cdot \text{cos}(10^\circ)) = -0,48 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na viga da direita da cobertura:

$F_{D,3} = - (1,4) \cdot (2,30 \text{ kN/m} \cdot \text{sen}(10^\circ)) = -0,56 \text{ kN/m}$ (Nota: valor utilizado pelo manual de referência será mantido: $-0,50 \text{ kN/m}$)

Ação horizontal na parte superior do pilar da esquerda ($h > 3\text{m}$):

$$F_{D,3} = (1,4) \cdot (1,82 \text{ kN/m}) = 2,55 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na parte inferior do pilar da esquerda ($h < 3\text{m}$):

$$F_{D,3} = (1,4) \cdot (1,58 \text{ kN/m}) = 2,21 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na parte superior do pilar da direita ($h > 3\text{m}$):

$$F_{D,3} = - (1,4) \cdot (2,69 \text{ kN/m}) = - 3,77 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na parte inferior do pilar da direita ($h < 3\text{m}$):

$$F_{D,3} = - (1,4) \cdot (2,21 \text{ kN/m}) = - 3,09 \text{ kN/m}$$

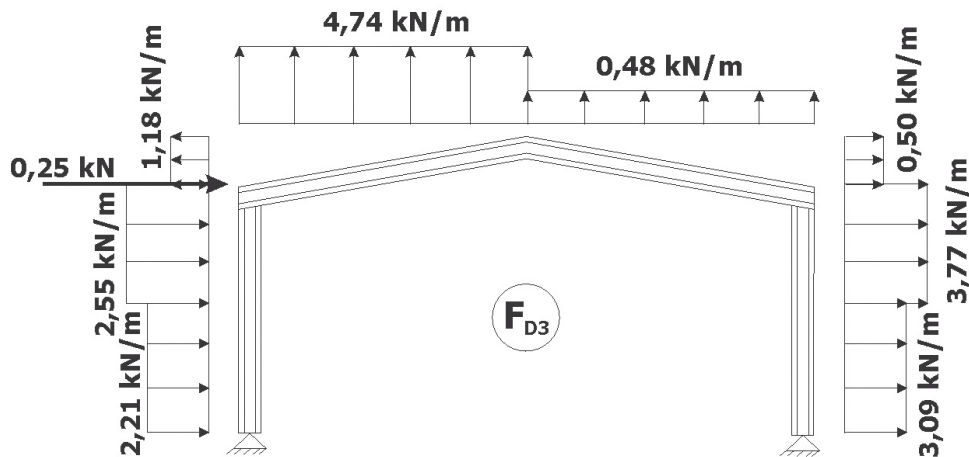


Figura 6.3 – Combinação $F_{D,3}$

Nota:

Conforme item 4.9.3.3 da NBR-8800:2008 a força nocial deve ser encarada como valor mínimo para cálculo do sistema de travamento, mas esta força não precisa ser adicionada às demais forças atuantes no referido sistema. Notamos que o manual de referência aplica a força nocial nas combinações que atual a força devida ao vento. Entretanto, conforme norma, isto não seria necessário e os cálculos ficarão mais conservadores.

7 RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTRUTURAIS – 1ª ITERAÇÃO

Para apresentação dos esforços no pórtico do galpão é considerada a convenção de nós indicada na Figura 7.1.

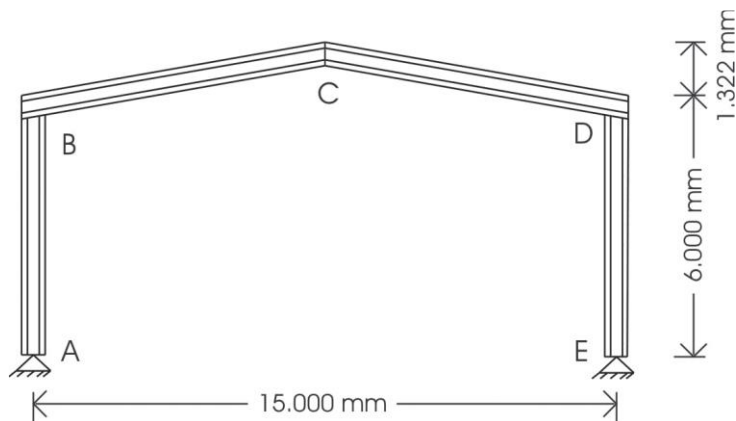


Figura 7.1 – Convenção dos nós do pórtico

Nos subitens seguintes são apresentadas as figuras do sistema estrutural, diagramas de esforços e geometrias deformadas. Todos os valores apresentados estão nas seguintes unidades: kN ou kN·cm. Após apresentação das figuras de todas as combinações é apresentado um resumo de esforços nas barras do pórtico.

7.1 Resultados das Análises - Combinação $F_{D,1}$

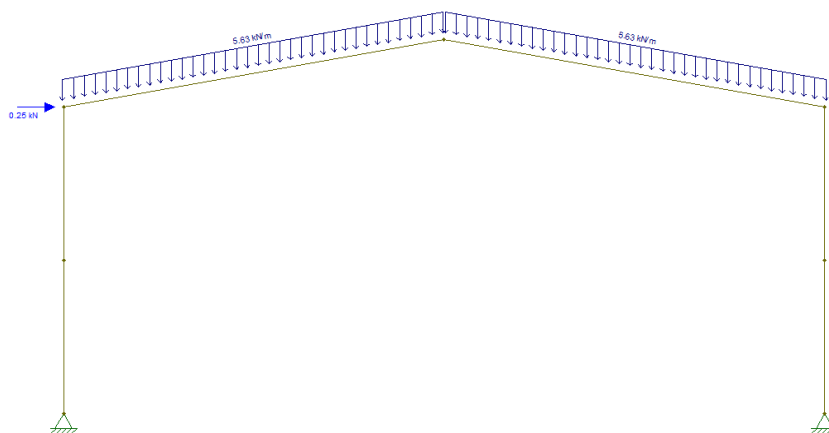


Figura 7.2 – Estrutura original com carregamentos – Combinação $F_{D,1}$

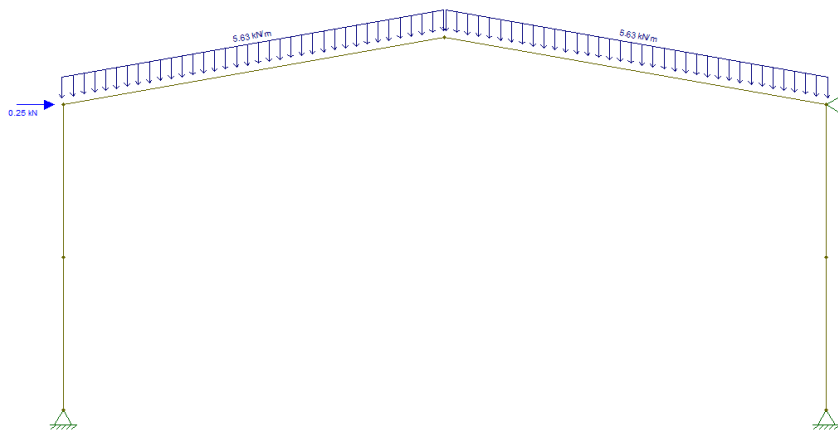


Figura 7.3 – Estrutura “nt” com carregamentos – Combinação $F_{D,1}$

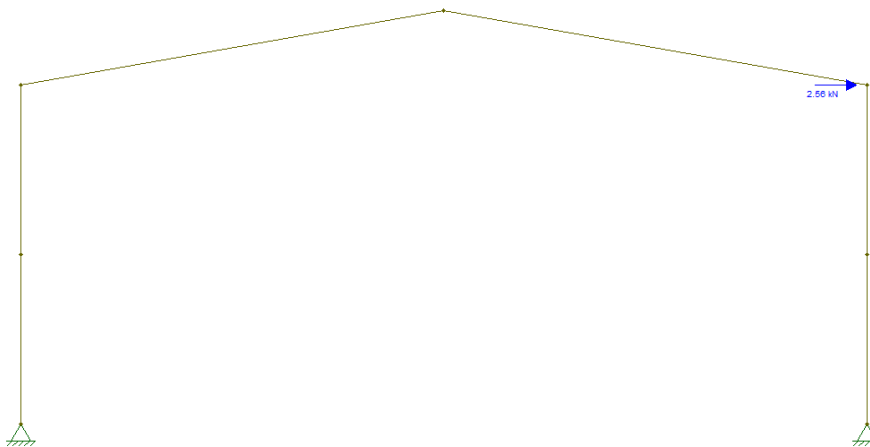


Figura 7.4 – Estrutura “lt” com carregamentos – Combinação $F_{D,1}$

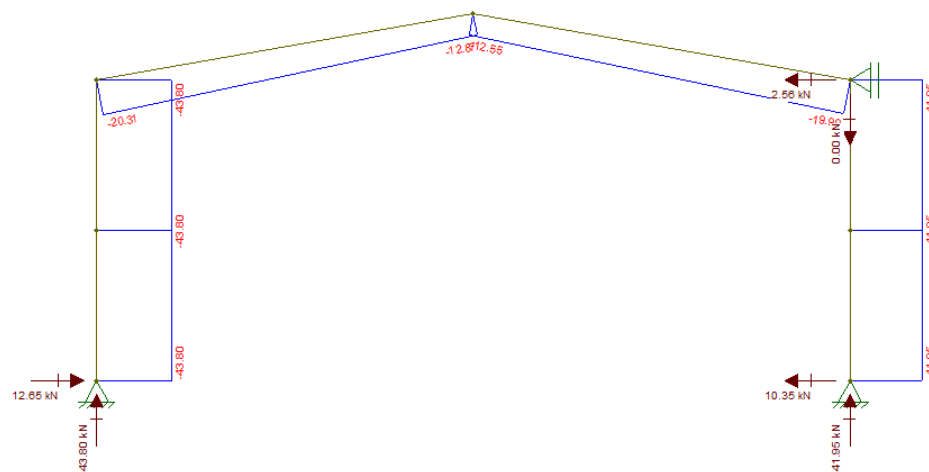


Figura 7.5 – Diagrama de esforços axiais - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,1}$

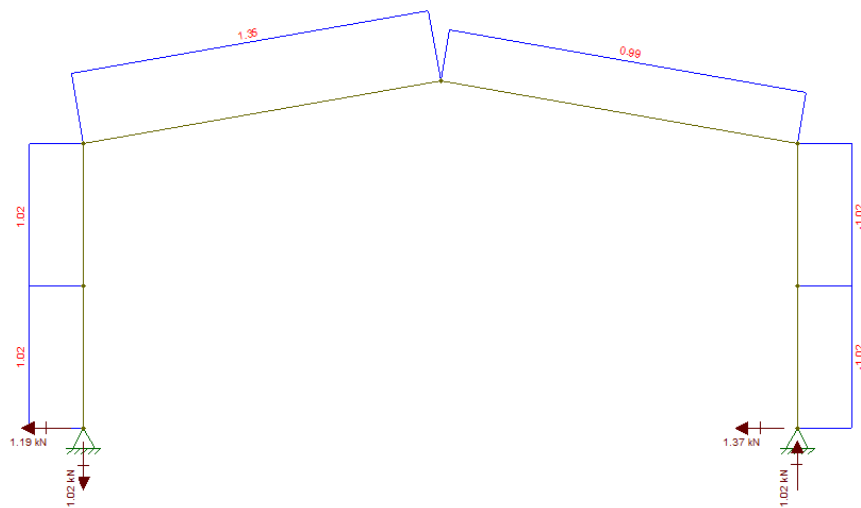


Figura 7.6 – Diagrama de esforços axiais - Estrutura “It” – Combinação $F_{D,1}$

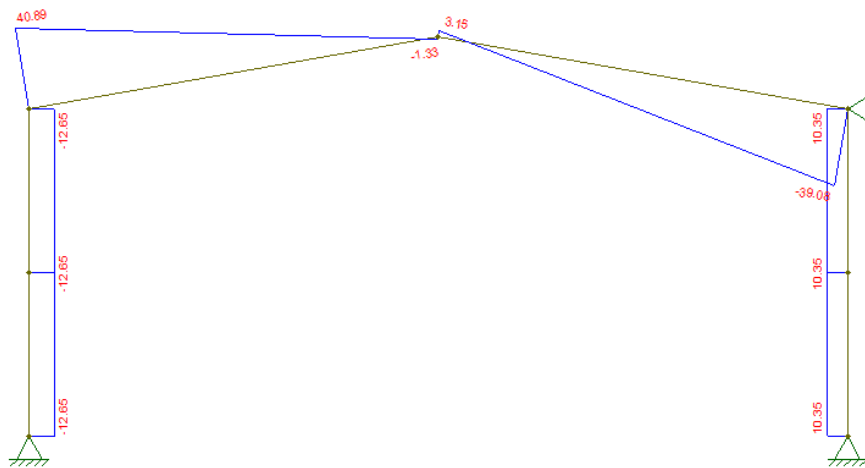


Figura 7.7 – Diagrama de esforços cortantes - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,1}$

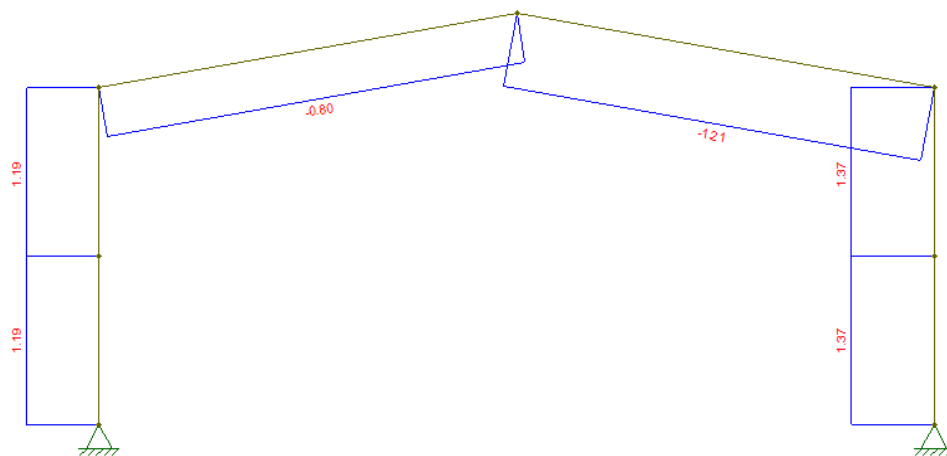


Figura 7.8 – Diagrama de esforços cortantes - Estrutura “It” – Combinação $F_{D,1}$

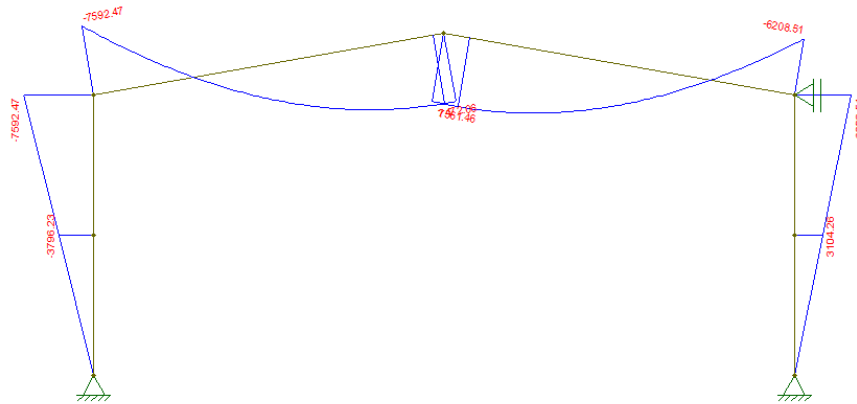


Figura 7.9 – Diagrama de momentos fletores - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,1}$

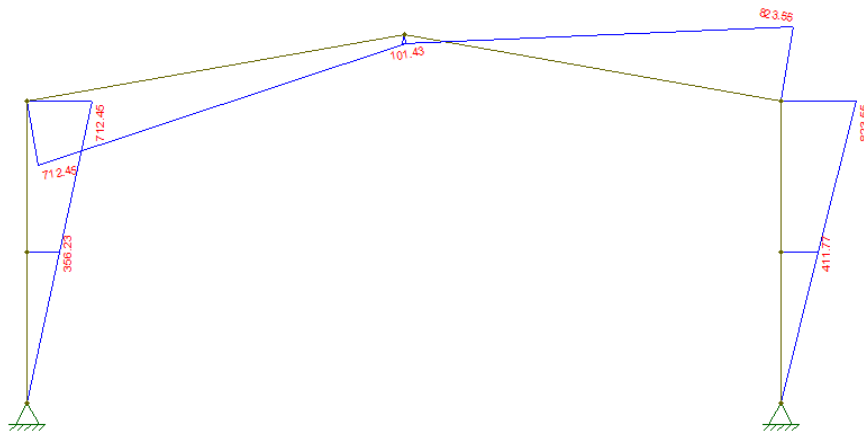


Figura 7.10 – Diagrama de momentos fletores - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,1}$

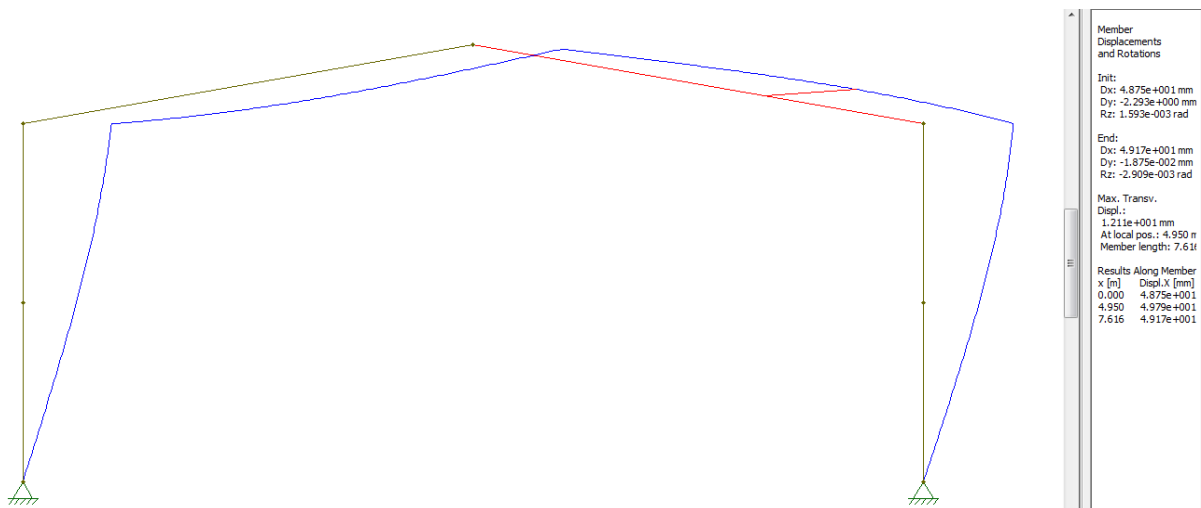


Figura 7.11 – Geometria deformada - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,1}$

7.2 Resultados das Análises - Combinação $F_{D,2}$

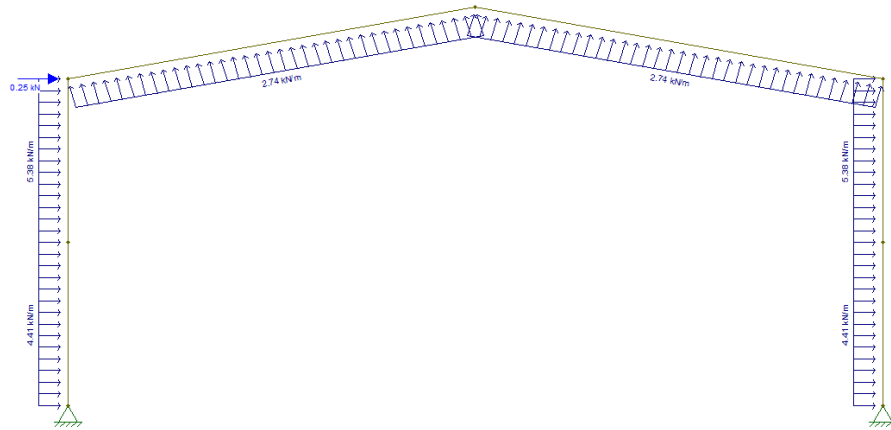


Figura 7.12 – Estrutura original com carregamentos – Combinação $F_{D,2}$

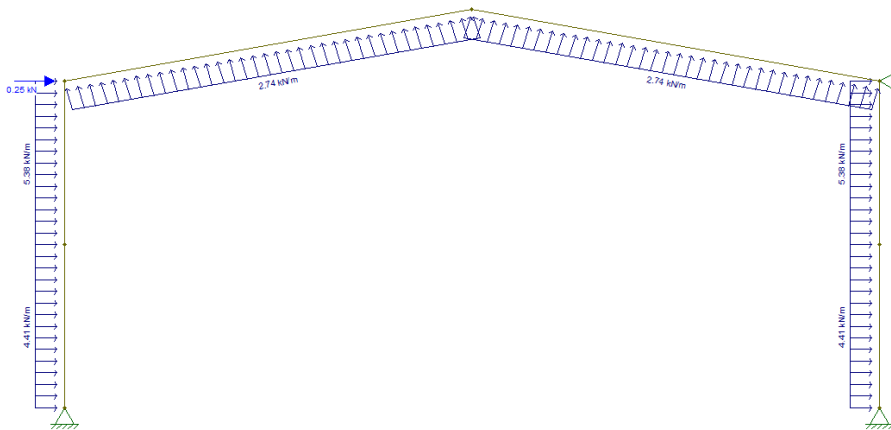


Figura 7.13 – Estrutura “nt” com carregamentos – Combinação $F_{D,2}$

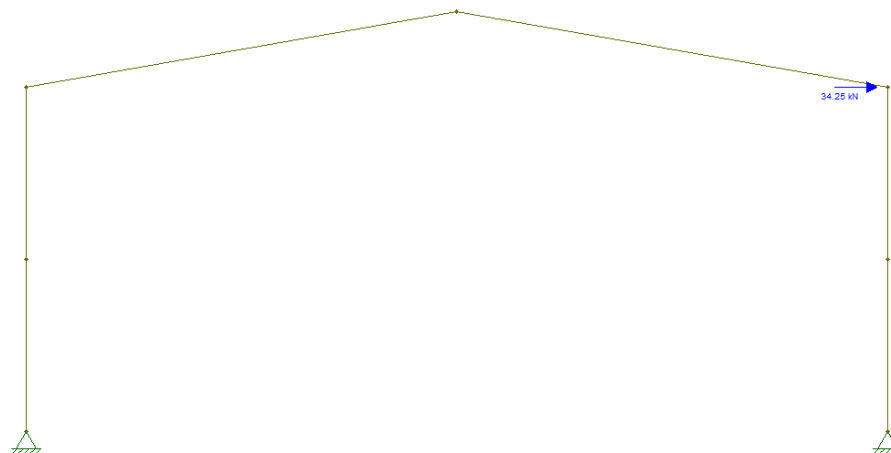


Figura 7.14 – Estrutura “lt” com carregamentos – Combinação $F_{D,2}$

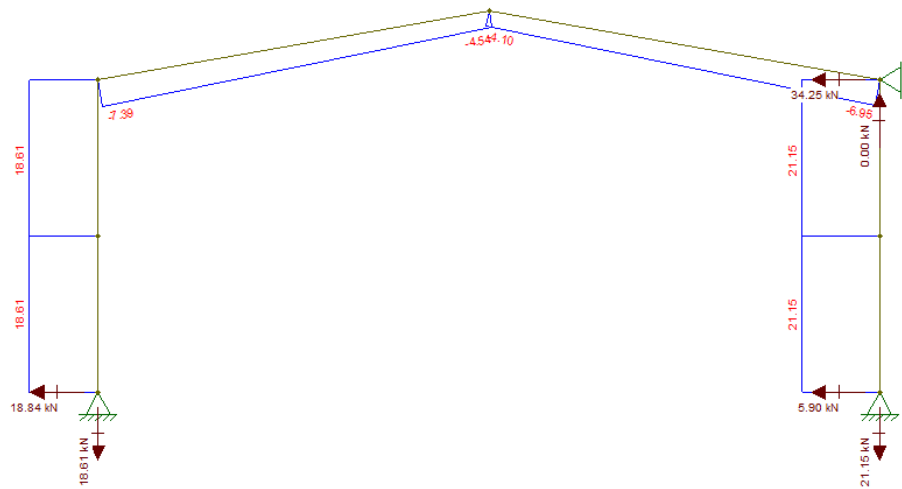


Figura 7.15 – Diagrama de esforços axiais - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,2}$

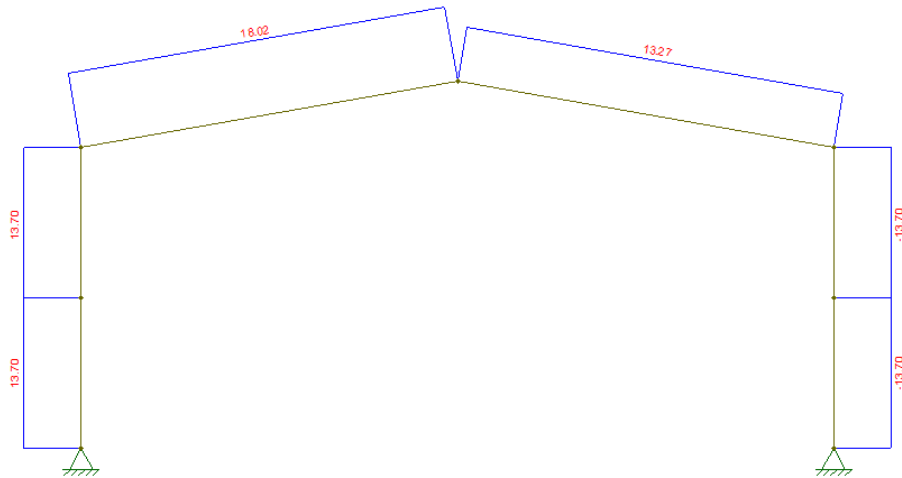


Figura 7.16 – Diagrama de esforços axiais - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,2}$

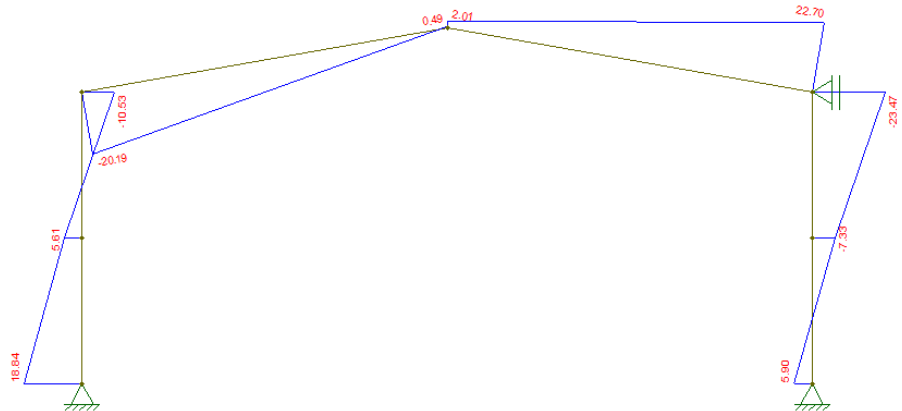


Figura 7.17 – Diagrama de esforços cortantes - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,2}$

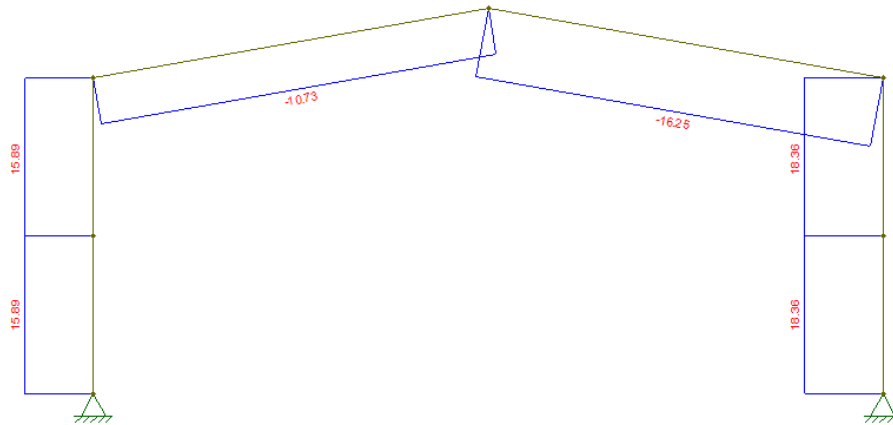


Figura 7.18 – Diagrama de esforços cortantes - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,2}$

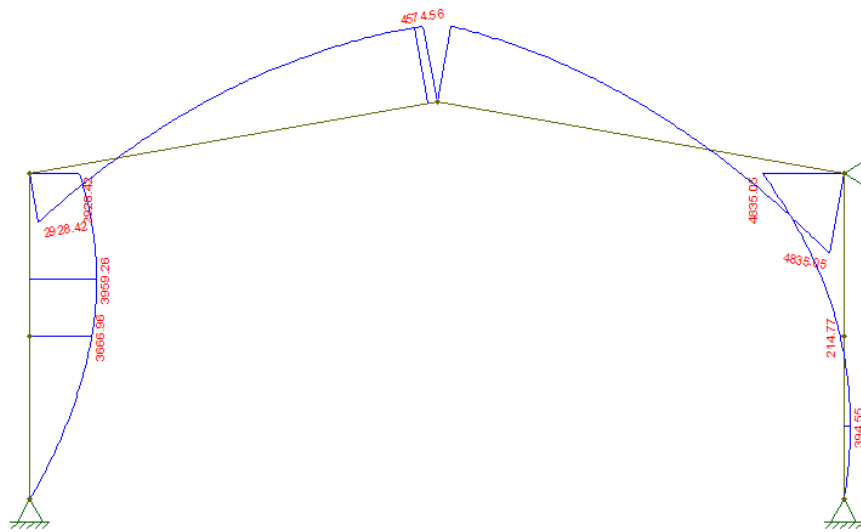


Figura 7.19 – Diagrama de momentos fletores - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,2}$

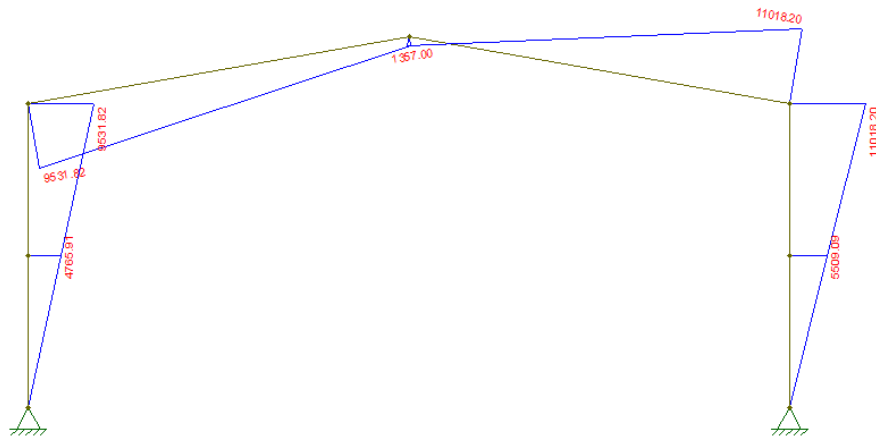


Figura 7.20 – Diagrama de momentos fletores - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,2}$

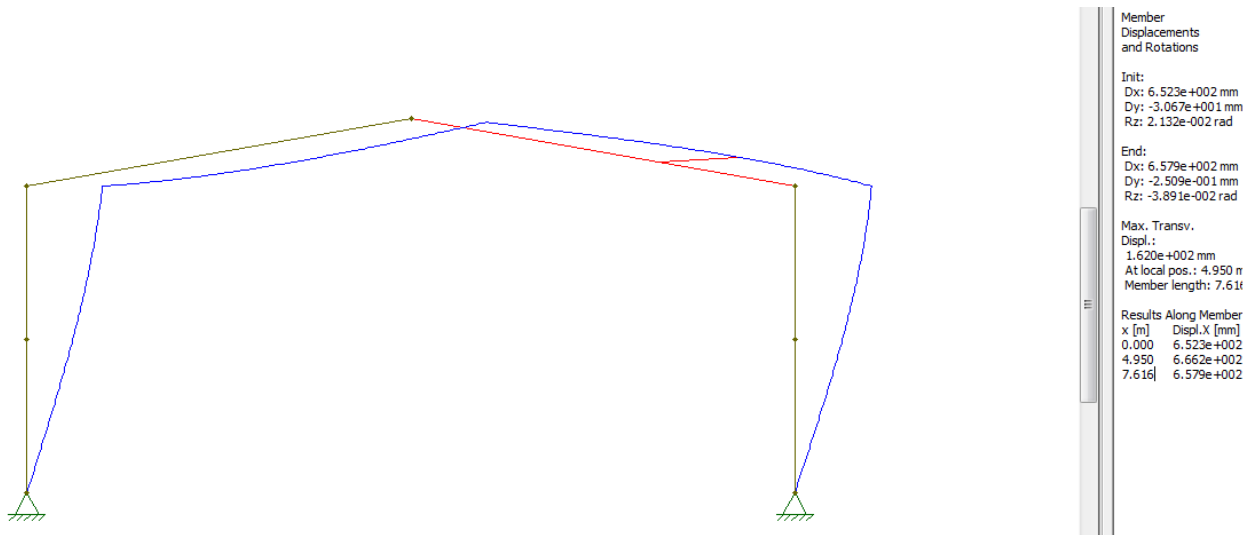


Figura 7.21 – Geometria deformada - Estrutura “It” – Combinação F_{D,2}

7.3 Resultados das Análises - Combinação F_{D,3}

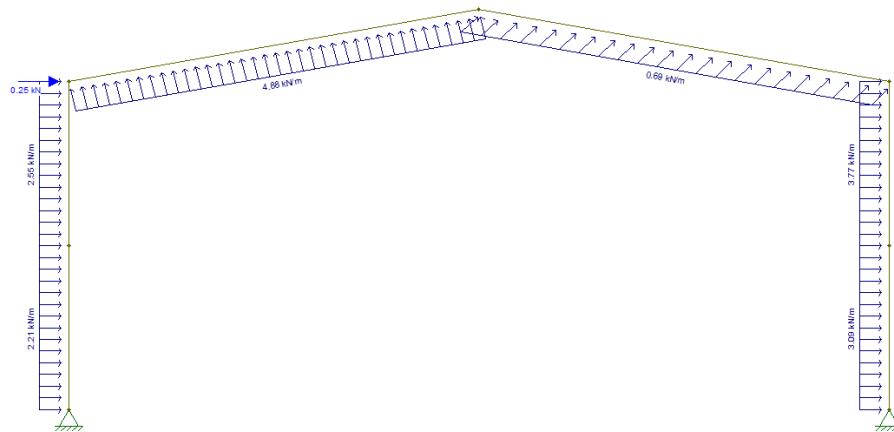


Figura 7.22 – Estrutura original com carregamentos – Combinação F_{D,3}

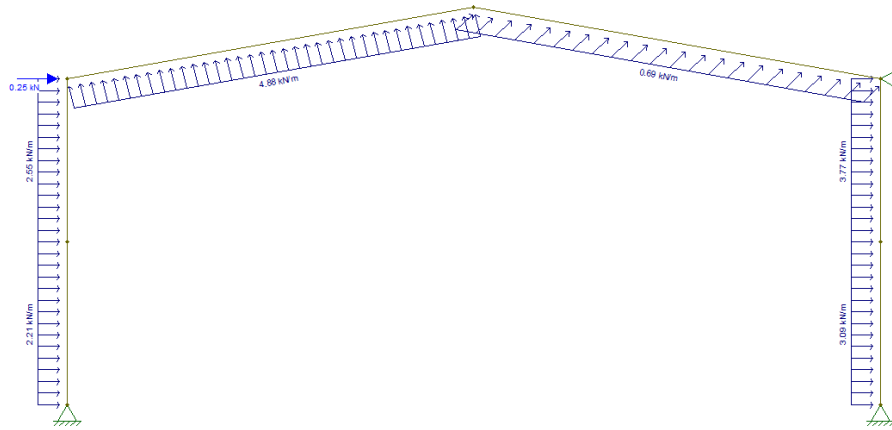


Figura 7.23 – Estrutura “nt” com carregamentos – Combinação $F_{D,3}$

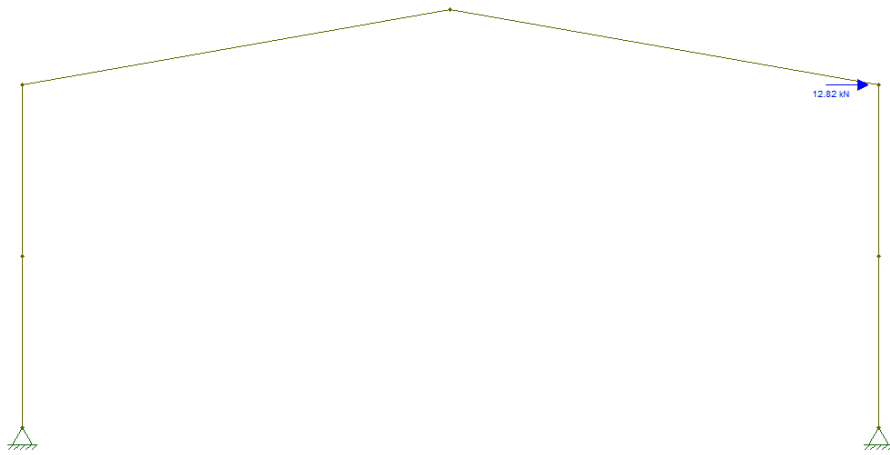


Figura 7.24 – Estrutura “lt” com carregamentos – Combinação $F_{D,3}$

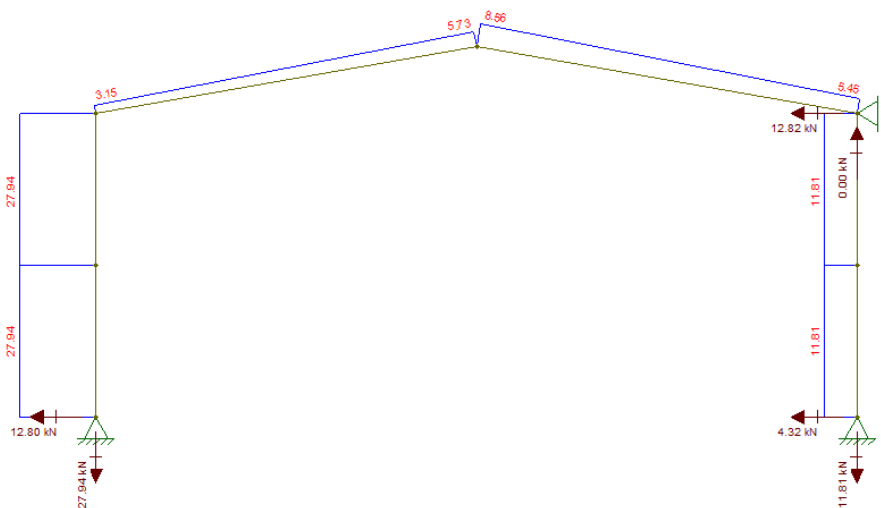


Figura 7.25 – Diagrama de esforços axiais - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,3}$

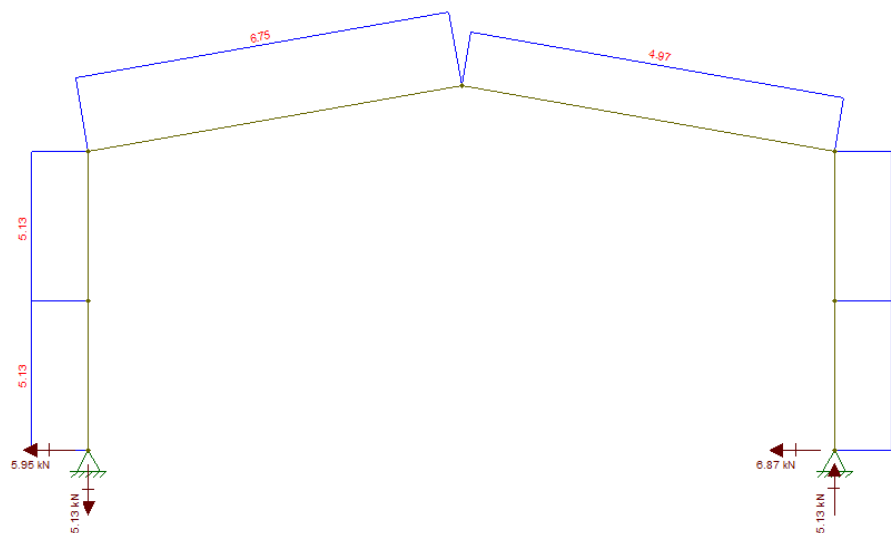


Figura 7.26 – Diagrama de esforços axiais - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,3}$

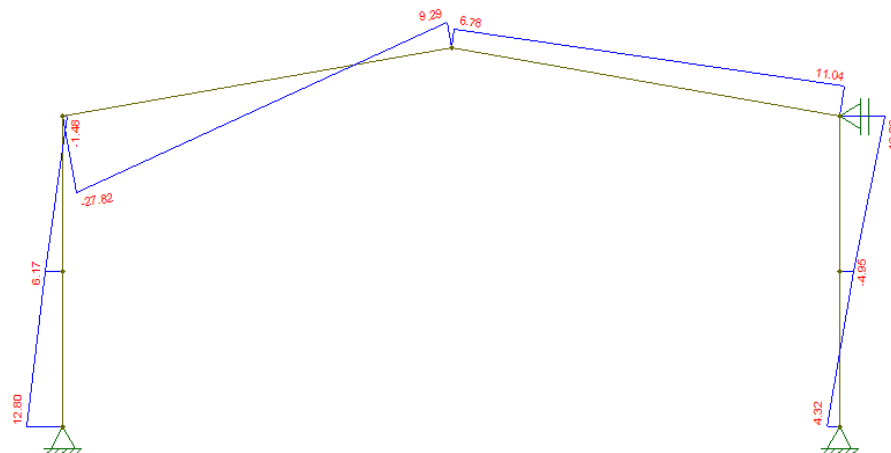


Figura 7.27 – Diagrama de esforços cortantes - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,3}$

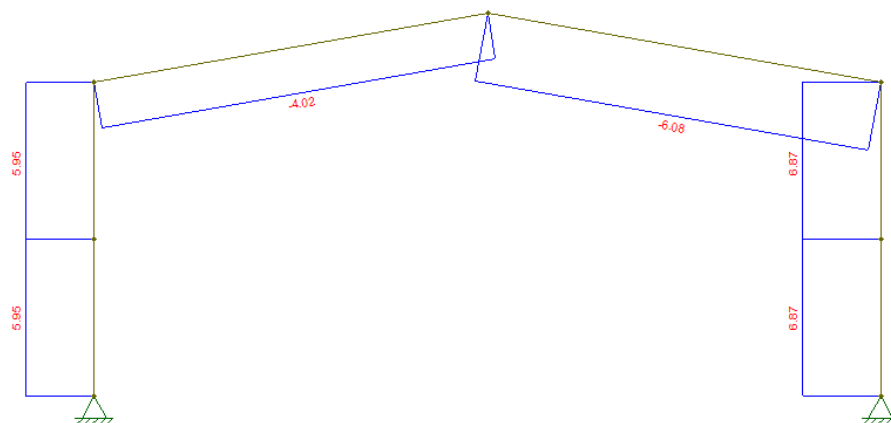


Figura 7.28 – Diagrama de esforços cortantes - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,3}$

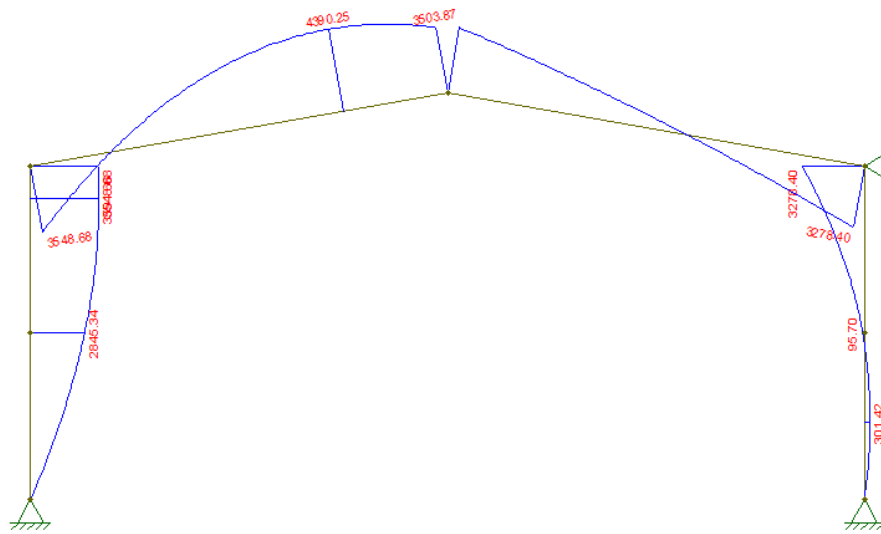


Figura 7.29 – Diagrama de momentos fletores - Estrutura “nt” – Combinação $F_{D,3}$

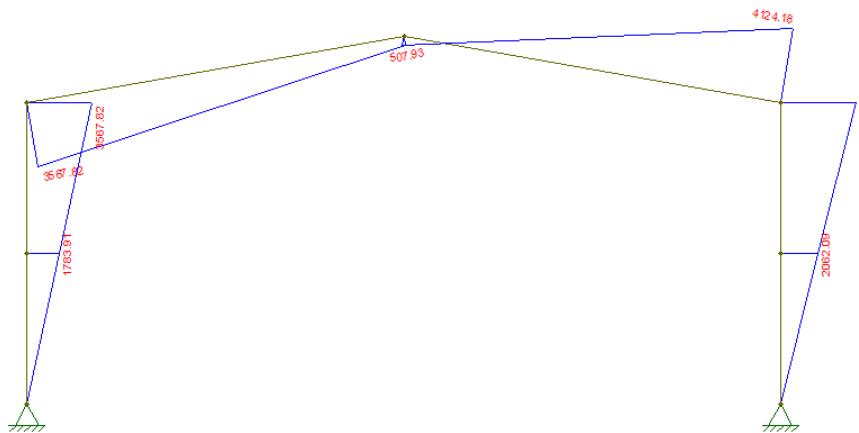


Figura 7.30 – Diagrama de momentos fletores - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,3}$

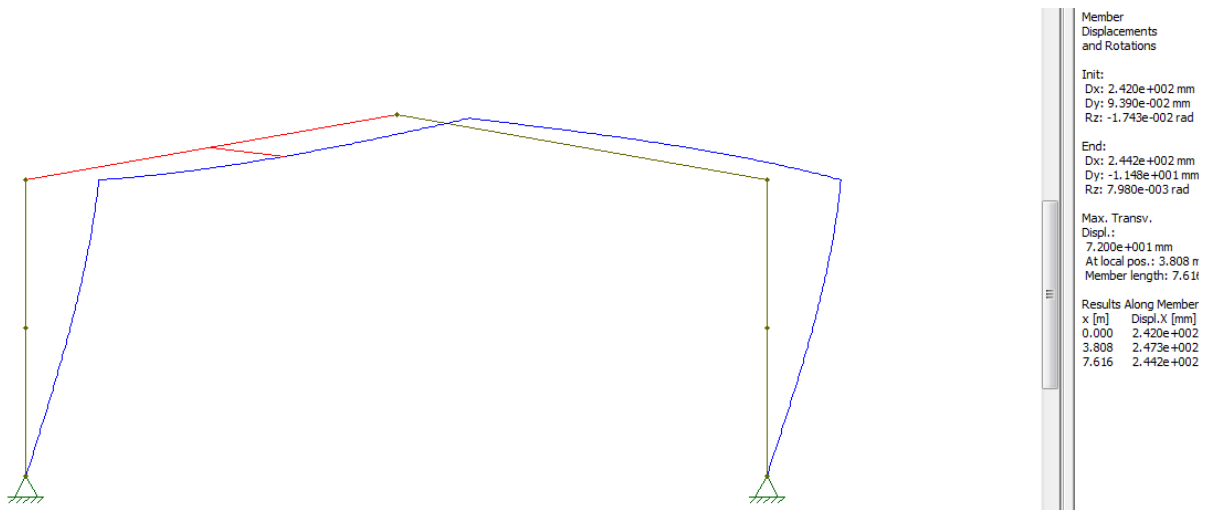


Figura 7.31 – Geometria deformada - Estrutura “lt” – Combinação $F_{D,3}$

7.4 Resumo dos Esforços nas Barras do Pórtico

Os dados apresentados nos subitens 7.1 a 7.3 foram processados na planilha eletrônica disponível no Anexo II do presente trabalho.

Como resultado do processamento, o resumo dos esforços nas barras é apresentado na tabela 7.1.

BARRA	NÓ	Tipo de Esforço	Combinação FD1 (Não-Linear)	Combinação FD2 (Não-Linear)	Combinação FD3 (Não-Linear)
A-B	A	N (kN)	-42,30	34,81	34,00
		M (kN.cm)	0,00	0,00	0,00
		V (kN)	-11,46	34,73	18,75
	B	N (kN)	-42,30	34,81	34,00
		M (kN.cm)	-6541,57	14201,54	7761,91
		V (kN)	-11,46	5,36	4,47
	M máx (kN.cm) - na barra		0,00	14201,54	7761,91
M mín (kN.cm) - na barra		-6541,57	0,00	0,00	
B-C	B	N (kN)	-18,32	13,92	11,12
		M (kN.cm)	-6682,66	14231,80	7761,91
		V (kN)	40,09	-30,92	-31,84
	C	N (kN)	-10,88	16,77	13,70
		M (kN.cm)	7705,43	-3029,78	-2904,06
		V (kN)	-2,13	-10,24	5,27
	M máx (kN.cm) - na barra		7805,28	14231,80	7761,91
M mín (kN.cm) - na barra		-6682,66	-3029,78	-2904,06	
C-D	C	N (kN)	-11,09	11,59	14,43
		M (kN.cm)	7705,72	-3010,38	-2904,06
		V (kN)	1,94	-14,24	0,70
	D	N (kN)	-18,53	8,74	11,32
		M (kN.cm)	-7538,91	-8166,40	-1591,84
		V (kN)	-40,29	6,45	4,96
	M máx (kN.cm) - na barra		7705,72	-2997,65	-1591,84
M mín (kN.cm) - na barra		-7538,91	-8166,40	-2904,06	
D-E	D	N (kN)	-43,45	4,95	5,75
		M (kN.cm)	7423,29	8195,98	1591,84
		V (kN)	11,72	-5,11	-9,39
	E	N (kN)	-43,45	4,95	5,75
		M (kN.cm)	0,00	0,00	0,00
		V (kN)	11,72	24,26	11,19
	M máx (kN.cm) - na barra		7423,29	8195,98	1591,84
M mín (kN.cm) - na barra		0,00	0,00	0,00	

Tabela 7.1 – Resumo dos Esforços nas Barras do Pórtico

8 VERIFICAÇÕES PARA OS PILARES – PERFIL SUGERIDO

Após análise da Tabela 7.1, concluiu-se que: para os dois pilares, os maiores esforços ocorrem na barra A-B quando submetida às ações da Combinação $F_{D,2}$:

$$M_{Sd} = 14.201,54 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$N_{t,Sd} = 34,81 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 5,36 \text{ kN}$$

Entretanto o maior esforço de compressão ocorre na barra D-E quando submetida às ações da Combinação $F_{D,1}$:

$$M_{Sd} = 7.423,29 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$N_{c,Sd} = -43,45 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 11,72 \text{ kN}$$

As verificações da barra serão realizadas na seguinte seqüência: verificação da esbeltez, verificação da capacidade à flexão simples pelo método da seção efetiva (MSE), verificação da capacidade à compressão (MSE) ou à tração e verificação da capacidade à flexão composta. Caso a barra se mostre adequada após todas as verificações citadas, será feita uma nova análise estrutural para refinar os esforços solicitantes. Após refazer as verificações pelo MSE com os esforços refinados, serão realizadas as mesmas verificações utilizando o método da largura efetiva (MLE). Para as verificações pelo MSE, o autor apresenta no Anexo III uma planilha eletrônica desenvolvida para automatizar as verificações normativas.

8.1 Verificação da Esbeltez de Barras Compostas Comprimidas

Verificação conforme item 9.7.4 da NBR 14762:2010:

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{600\text{cm}}{9,75\text{cm}} = 61,5 \therefore \frac{L_x}{r_x} < 100 \rightarrow Ok!$$

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{600\text{cm}}{6,82\text{cm}} = 88,0 \therefore \frac{L_y}{r_y} < 100 \rightarrow Ok!$$

8.2 Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE)

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)					
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.					
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO					
MSd	14201,54	kN.cm	MRd	4117,61	kN.cm
VSd	5,36	kN	VRd	38,89	kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO					
MSd/MRd	=	3,45	=>>	Não passou (> 1,0)	
VSd/VRd	=	0,14	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais					
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	11,91	=>>	Não passou (> 1,0)	
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA					
bw	250,00	mm			
bf	85,00	mm			
D	25,00	mm			
tn	2,25	mm			
tr	0,00	mm			
t	2,25	mm			
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL					
AreaCx	20,48	cm ²			
mCx	16,08	kg/m			
IxCx	1947,19	cm ⁴			
WxCx	155,78	cm ³			
rxCx	9,75	cm			
IyCx	951,94	cm ⁴			
WyCx	111,99	cm ³			
ryCx	6,82	cm			
ItCx	1830,72	cm ⁴			
CwCx	0,00	cm ⁶			
r0	11,90	cm			
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL					
fy	350,00	MPa	=>>	35,00 kN/cm ²	
fu	500,00	MPa	=>>	50,00 kN/cm ²	
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00 kN/cm ²	
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00 kN/cm ²	
v	0,30				

9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

bf nominal	85,00 mm		
bw nominal	250,00 mm		
D nominal	25,00 mm		
η	0,34	=>>	Ok!
μ	0,10	=>>	Ok!

Determinação do Kl para flexão em torno da maior inércia - Caso b

a	28,62
b	0
Kl	28,62

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

Wc	155,78 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
MI	6526,59 kN.cm	

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva

λ_p	0,914	=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	129,41 cm ³		

MRd 4117,61 kN.cm

9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

M_{max} 14201,54 kN.cm

Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-nt}	2329,61 kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	3666,96 kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-nt}	3902,94 kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-lt}	2382,96 kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	4765,91 kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-lt}	7148,87 kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Coefficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,000
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A 5147,90 kN.cm

M_B 9303,52 kN.cm

M_C 12357,78 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b 1,417

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y 1,00

L_y 600 cm

N_{ey} 521,96 kN

M_e 121589,45 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c 155,78 cm³ (p/ flexão em torno do eixo X-X)

λ_0 0,212 ==> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$

χ_{FLT} 1,000

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l 6526,59 kN.cm

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p 0,914 ==> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$

$W_{c,ef}$ 129,41 cm³

MRd 4117,61 kN.cm

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h	241,00	mm		(altura da parte plana da alma)
kv	5,0			
h/t	107,11			
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$	=		57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$	=		74,83	

VRd 38,89 kN

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO

Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Nt,Sd 34,81 kN Nt,Rd 651,78 kN

9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

Nt,Sd/Nt,Rd = 0,05 =>> Ok! ($\leq 1,0$)

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx 20,48 cm²

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy 350,00 MPa =>> 35,00 kN/cm²

fu 500,00 MPa =>> 50,00 kN/cm²

9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO

a) Para escoamento da seção bruta

Nt,Rd 651,78 kN

b) Para ruptura na seção líquida fora da região da ligação

Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)

c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação

Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas)
(soldas longitudinais associadas a soldas transversais)

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)

MSd	14201,54 kN.cm	MRd	4117,61 kN.cm	
NSd	34,81 kN	(TRAÇÃO)	NRd	651,78 kN

VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO

$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$ 11,90
∥
∨
Não passou (> 1,0)

8.3 Verificação da Barra - Flexão Simples com Compressão (MSE)

Verificação não será realizada, pois o perfil sugerido não passou nas verificações do item 8.2.

8.4 Verificação da Barra - Conclusão

Conclusão da verificação: o perfil sugerido não passou nas verificações e será necessário substituí-lo. Assim, será verificado um novo perfil cuja altura não seja muito maior que o perfil utilizado pelo manual de referência. Novo perfil escolhido: Cx 375x100x38x3,75.

9 VERIFICAÇÕES PARA OS PILARES – PERFIL Cx 375x100x38x3,75

9.1 Verificação da Esbeltez de Barras Compostas Comprimidas

Propriedades do novo perfil:

Cálculo de propriedades geométricas (NBR 6355:2012)			
Perfil U enrijecido / Perfil Caixa com 2 Ue			
<u>1) Dimensões principais do perfil Ue</u>		<u>3) Propriedades do Perfil Ue isolado</u>	
bw	375,00 mm	Area	2.348,80 mm ² 23,49 cm ²
bf	100,00 mm	m	18,44 kg/m
D	38,00 mm	xg	27,03 mm
tn	3,75 mm	x0	68,13 mm 6,81 cm
Aço zincado?	não	Ix	47.357.075,97 mm ⁴ 4.735,71 cm ⁴
		Wx	252,57 cm ³
		rx	14,20 cm
		Iy	3.080.945,29 mm ⁴ 308,09 cm ⁴
		Wy	42,22 cm ³
		ry	3,62 cm
		It (aprox.)	11.010,01 mm ⁶ 1,101 cm ⁴
		Cw	91.650.145.530,79 mm ⁶ 91.650,15 cm ⁶
		r0	16,16 cm
<u>2) Demais dimensões do perfil Ue</u>		<u>4) Propriedades Cx</u>	
a	360,00 mm	AreaCx	4.697,61 mm ² 46,98 cm ²
am	371,25 mm	mCx	36,88 kg/m
b	85,00 mm	IxCx	94.714.151,94 mm ⁴ 9.471,42 cm ⁴
bm	96,25 mm	WxCx	505,14 cm ³
c.	30,50 mm	rxCx	14,20 cm
cm	36,13 mm	IyCx	31.177.241,43 mm ⁴ 3.117,72 cm ⁴
rm	5,63 mm	WyCx	311,77 cm ³
u1.	8,84 mm	ryCx	8,15 cm
ri	3,75 mm	ItCx (aprox.)	67.946.814,50 mm ⁴ 6.794,68 cm ⁴
tr	- mm	CwCx (aprox.)	0,00 mm ⁶ 0,00 cm ⁶
t.	3,75 mm	r0	16,37 cm

Verificação conforme item 9.7.4 da NBR 14762:2010:

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{600cm}{14,20cm} = 42,25 \therefore \frac{L_x}{r_x} < 100 \rightarrow Ok!$$

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{600cm}{8,15cm} = 73,62 \therefore \frac{L_y}{r_y} < 100 \rightarrow Ok!$$

9.2 Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE)

Por simplificação, a barra será inicialmente verificada com os mesmos esforços solicitantes indicados nos itens 8.4 e 9.

Após determinação dos novos perfis para pilares e vigas, será feita uma nova análise estrutural, para refinar os esforços solicitantes. Planilha eletrônica disponível no Anexo IV.

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)					
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.					
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO					
MSd	14201,54	kN.cm	MRd	14626,15	kN.cm
VSd	5,36	kN	VRd	120,52	kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO					
MSd/MRd	=	0,97	=>>	Ok!	(≤ 1,0)
VSd/VRd	=	0,04	=>>	Ok!	(≤ 1,0)
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais					
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,94	=>>	Ok!	(≤ 1,0)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA					
bw	375,00	mm			
bf	100,00	mm			
D	38,00	mm			
tn	3,75	mm			
tr	0,00	mm			
t	3,75	mm			
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL					
AreaCx	46,98	cm ²			
mCx	36,88	kg/m			
IxCx	9471,42	cm ⁴			
WxCx	505,14	cm ³			
rxCx	14,20	cm			
IyCx	3117,72	cm ⁴			
WyCx	311,77	cm ³			
ryCx	8,15	cm			
ItCx	6794,68	cm ⁴			
CwCx	0,00	cm ⁶			
r0	16,37	cm			

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

f_y	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
f_u	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

bf nominal	100,00	mm		
bw nominal	375,00	mm		
D nominal	38,00	mm		
η	0,27		=>>	Ok!
μ	0,10		=>>	Ok!

Determinação do KI para flexão em torno da maior inércia - Caso b

a	30,66
b	0
KI	30,66

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

Wc	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
MI	27995,96	kN.cm	

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva

λ_p	0,795		=>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	459,68	cm ³	

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

M_{max} 14201,54 kN.cm

Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-nt}	2329,61	kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	3666,96	kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-nt}	3902,94	kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Estrutura It - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-It}	2382,96	kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-It}	4765,91	kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-It}	7148,87	kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Coefficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,000
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	5147,90 kN.cm
M_B	9303,52 kN.cm
M_C	12357,78 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b	1,417
-------	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00
L_y	600 cm
N_{ey}	1709,48 kN
M_e	423918,38 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,204	=>> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l	27995,96 kN.cm
-------	----------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795	=>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	459,68 cm ³	

MRd	14626,15 kN.cm
------------	----------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h	360,00	mm	(altura da parte plana da alma)
kv	5,0		
h/t	96,00		
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$	=	57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$	=	74,83	
VRd	120,52	kN	

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO

Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Nt,Sd	34,81	kN	Nt,Rd	1494,69	kN
-------	-------	----	-------	---------	----

9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,02	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
-------------	---	------	-----	--------------------

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
--------	-------	-----------------

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²

9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO

a) Para escoamento da seção bruta

Nt,Rd	1494,69	kN
--------------	---------	----

b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação

Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)

c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação

Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas)
(soldas longitudinais associadas a soldas transversais)

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	14201,54 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	34,81 kN (TRAÇÃO)	NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$			0,94
			⇓
			Ok! ($\leq 1,0$)

9.3 Verificação da Barra - Flexão Simples com Compressão (MSE)

Planilha eletrônica disponível no Anexo IV.

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
MSd	7423,29 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
VSd	11,72 kN	VRd	120,52 kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
MSd/MRd	=	0,51	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
VSd/VRd	=	0,10	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais			
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,27	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00 mm		
bf	100,00 mm		
D	38,00 mm		
tn	3,75 mm		
tr	0,00 mm		
t	3,75 mm		

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

bf nominal	100,00	mm
bw nominal	375,00	mm
D nominal	38,00	mm
η	0,27	=>> Ok!
μ	0,10	=>> Ok!

Determinação do KI para flexão em torno da maior inércia - Caso b

a	30,66
b	0
KI	30,66

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

Wc	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
MI	27995,96	kN.cm	

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva

λp	0,795	=>> Terá flambagem local: λp > 0,673
Wef	459,68	cm ³

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

M_{max} 7423,29 kN.cm

Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-nt} 2329,61 kN.cm (1o. Quarto do trecho)

M_{B-nt} 3666,96 kN.cm (Centro do trecho)

M_{C-nt} 3902,94 kN.cm (3o. Quarto do trecho)

Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-lt} 2382,96 kN.cm (1o. Quarto do trecho)

M_{B-lt} 4765,91 kN.cm (Centro do trecho)

M_{C-lt} 7148,87 kN.cm (3o. Quarto do trecho)

Coefficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1 1,000

B2 1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A 5147,90 kN.cm

M_B 9303,52 kN.cm

M_C 12357,78 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b 0,857

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y 1,00

L_y 600 cm

N_{ey} 1709,48 kN

M_e 256261,36 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c 505,14 cm³ (p/ flexão em torno do eixo X-X)

λ_0 0,263 ==> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$

χ_{FLT} 1,000

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

MI 27995,96 kN.cm

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p 0,795 => Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$

Wc,ef 459,68 cm³

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h 360,00 mm (altura da parte plana da alma)

kv 5,0

h/t 96,00

$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$ = 57,73

$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$ = 74,83

VRd 120,52 kN

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)

Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Nc,Sd 43,45 kN Nc,Rd 391,25 kN

VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

Nc,Sd/Nc,Rd = 0,11 => Ok! ($\leq 1,0$)

DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA

bw 375,00 mm

bf 100,00 mm

D 38,00 mm

tn 3,75 mm

tr 0,00 mm

t 3,75 mm

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	5193,28	kN
Ney	1709,48	kN
Nez	195227,23	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	1709,48	kN

Cálculo de χ

λ_0	0,981	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,669		

Determinação do KI para compressão centrada

bf nominal	100,00 mm		
bw nominal	375,00 mm		
D nominal	38,00 mm		
η	0,27	=>>	Ok!
D/bw	0,10	=>>	Ok!
KI	5,79		

Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)

NI 78,30 kN

Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)

λ_p 2,649 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$
Aef(1) 10,03 cm²

Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)

Aef 20,06 cm²

Nc,Rd 391,25 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)

MSd	7423,29 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm	
NSd	43,45 kN	(COMPRESSÃO)	NRd	391,25 kN

VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO

$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$ 0,27
⇓
Ok! ($\leq 1,0$)

9.4 Verificação da Barra - Conclusão

Conclusão da verificação: o perfil sugerido passou nas verificações do MSE. Este perfil poderá ser utilizado para uma nova análise estrutural, para refinar os esforços solicitantes.

10 VERIFICAÇÕES PARA AS VIGAS – PERFIL SUGERIDO

Após análise da Tabela 7.1, concluiu-se que: para as duas vigas, os maiores esforços ocorrem na barra B-C quando submetida às ações da Combinação $F_{D,2}$:

$$M_{Sd} = 14.231,80 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$N_{t,Sd} = 13,82 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 30,92 \text{ kN}$$

Entretanto o maior esforço de compressão ocorre na barra C-D quando submetida às ações da Combinação $F_{D,1}$:

$$M_{Sd} = 7.538,91 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$N_{c,Sd} = -18,53 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 40,29 \text{ kN}$$

As verificações da barra serão realizadas na mesma seqüência já indicada para o item 8.

10.1 Verificação da Esbeltez de Barras Compostas Comprimidas

No caso da viga, existirão dois comprimentos de flambagem diferentes. O comprimento de flambagem em torno do eixo 'x' é de 7.616 mm, ou seja, o comprimento total do perfil. Conforme feito pelo manual de referência, considerou-se que a viga está perfeitamente travada (não somente com terças), como se pode ver na Figura 10.1. Assim o comprimento de flambagem em torno do eixo 'y' e também o comprimento entre duas seções contidas à torção de 2.538,67 mm.

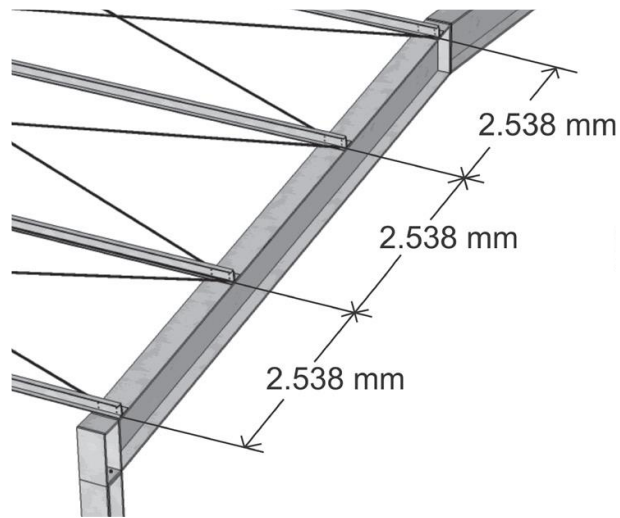


Figura 10.1 – Espaçamento entre seções travadas no perfil da viga

Verificação conforme item 9.7.4 da NBR 14762:2010:

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{761,6cm}{11,39cm} = 66,87 \therefore \frac{L_x}{r_x} < 100 \rightarrow Ok!$$

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{253,8cm}{7,04cm} = 36,05 \therefore \frac{L_y}{r_y} < 100 \rightarrow Ok!$$

10.2 Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE)

Verificou-se que o valor de μ é igual a 0,067 para o perfil sugerido. Este valor é menor que o mínimo indicado na tabela 12 da NBR 14762:2010.

10.3 Verificação da Barra - Flexão Simples com Compressão (MSE)

Verificação não será realizada, pois o perfil sugerido não passou nas verificações do item 10.2.

10.4 Verificação da Barra - Conclusão

Conclusão da verificação: o perfil sugerido não passou nas verificações e será necessário substituí-lo. Assim, será verificado um novo perfil: Cx 375x100x38x3,75 (perfil igual ao pilar proposto no item 9).

11 VERIFICAÇÕES PARA AS VIGAS – PERFIL Cx 375x100x38x3,75

11.1 Verificação da Esbeltez de Barras Compostas Comprimidas

As propriedades do novo perfil estão indicadas no item 9.1.

Verificação conforme item 9.7.4 da NBR 14762:2010:

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{761,6cm}{14,20cm} = 53,63 \therefore \frac{L_x}{r_x} < 100 \rightarrow Ok!$$

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{253,8cm}{8,15cm} = 31,14 \therefore \frac{L_y}{r_y} < 100 \rightarrow Ok!$$

11.2 Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE)

Por simplificação, a barra será inicialmente verificada com os mesmos esforços solicitantes indicados nos itens 8.4 e 11. Após determinação dos novos perfis para pilares e vigas, será feita uma nova análise estrutural, para refinar os esforços solicitantes. Planilha eletrônica disponível no Anexo V.

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
MSd	14231,8 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
VSd	30,92 kN	VRd	120,52 kN

9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO				
MSd/MRd	=	0,97	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
VSd/VRd	=	0,26	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais				
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	1,01	=>>	Não passou ($> 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA				
bw		375,00	mm	
bf		100,00	mm	
D		38,00	mm	
tn		3,75	mm	
tr		0,00	mm	
t		3,75	mm	
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL				
AreaCx		46,98	cm ²	
mCx		36,88	kg/m	
IxCx		9471,42	cm ⁴	
WxCx		505,14	cm ³	
rxCx		14,20	cm	
IyCx		3117,72	cm ⁴	
WyCx		311,77	cm ³	
ryCx		8,15	cm	
ItCx		6794,68	cm ⁴	
CwCx		0,00	cm ⁶	
r0		16,37	cm	
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL				
fy		350,00	MPa	=>> 35,00 kN/cm ²
fu		500,00	MPa	=>> 50,00 kN/cm ²
E		200000,00	MPa	=>> 20000,00 kN/cm ²
G		77000,00	MPa	=>> 7700,00 kN/cm ²
v		0,30		

9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

bf nominal	100,00 mm		
bw nominal	375,00 mm		
D nominal	38,00 mm		
η	0,27	=>>	Ok!
μ	0,10	=>>	Ok!

Determinação do Kl para flexão em torno da maior inércia - Caso b

a	30,66
b	0
Kl	30,66

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

Wc	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
MI	27995,96 kN.cm	

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva

λ_p	0,795	=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	459,68 cm ³		

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

M_{max} 14231,80 kN.cm

Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-nt}	424,19 kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	2792,22 kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-nt}	4175,67 kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Estrutura It - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-It}	7488,11 kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-It}	5444,40 kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-It}	3400,69 kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Coefficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,010
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	9284,49 kN.cm
M_B	9259,14 kN.cm
M_C	8239,36 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b	1,421
-------	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00
L_y	253,8 cm
N_{ey}	9553,98 kN
M_e	1004686,33 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,133	=>> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l	27995,96 kN.cm
-------	----------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795	=>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	459,68 cm ³	

MRd	14626,15 kN.cm
------------	----------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h	360,00 mm	(altura da parte plana da alma)
k_v	5,0	
h/t	96,00	
$1,08(E*k_v/f_y)^{0,5}$	=	57,73
$1,4(E*k_v/f_y)^{0,5}$	=	74,83

VRd	120,52 kN
------------	-----------

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nt,Sd	13,82 kN	Nt,Rd	1494,69 kN
9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,01	=>> OK! ($\leq 1,0$)
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL			
AreaCx	46,98 cm ²		
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL			
f _y	350,00 MPa	=>>	35,00 kN/cm ²
f _u	500,00 MPa	=>>	50,00 kN/cm ²
9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO			
a) Para escoamento da seção bruta			
Nt,Rd	1494,69 kN		
b) Para ruptura na seção líquida fora da região da ligação Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)			
c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas) (soldas longitudinais associadas a soldas transversais)			

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	14231,8 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	13,82 kN (TRAÇÃO)	NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,95	
		∥ ∨ ∨	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

11.3 Verificação da Barra - Flexão Simples com Compressão (MSE)

Planilha eletrônica disponível no Anexo V.

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)					
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.					
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO					
MSd	7538,91	kN.cm	MRd	14626,15	kN.cm
VSd	40,29	kN	VRd	120,52	kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO					
MSd/MRd	=	0,52	=>>	Ok!	(≤ 1,0)
VSd/VRd	=	0,33	=>>	Ok!	(≤ 1,0)
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais					
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,38	=>>	Ok!	(≤ 1,0)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA					
bw	375,00	mm			
bf	100,00	mm			
D	38,00	mm			
tn	3,75	mm			
tr	0,00	mm			
t	3,75	mm			
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL					
AreaCx	46,98	cm ²			
mCx	36,88	kg/m			
IxCx	9471,42	cm ⁴			
WxCx	505,14	cm ³			
rxCx	14,20	cm			
IyCx	3117,72	cm ⁴			
WyCx	311,77	cm ³			
ryCx	8,15	cm			
ItCx	6794,68	cm ⁴			
CwCx	0,00	cm ⁶			
r0	16,37	cm			
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL					
fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

bf nominal	100,00 mm		
bw nominal	375,00 mm		
D nominal	38,00 mm		
η	0,27	=>>	Ok!
μ	0,10	=>>	Ok!

Determinação do Kl para flexão em torno da maior inércia - Caso b

a	30,66
b	0
Kl	30,66

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

Wc	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
MI	27995,96 kN.cm	

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva

λ_p	0,795	=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	459,68 cm ³		

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

M_{max} 7538,91 kN.cm

Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-nt}	424,19 kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	2792,22 kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-nt}	4175,67 kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-lt}	7488,11 kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	5444,40 kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-lt}	3400,69 kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Coeficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,010
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	9284,49 kN.cm
M_B	9259,14 kN.cm
M_C	8239,36 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b 0,869

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y 1,00
 L_y 253,8 cm
 N_{ey} 9553,98 kN
 M_e 614312,63 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c 505,14 cm³ (p/ flexão em torno do eixo X-X)
 λ_0 0,170 =>> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
 χ_{FLT} 1,000

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l 27995,96 kN.cm

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p 0,795 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
 $W_{c,ef}$ 459,68 cm³

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h 360,00 mm (altura da parte plana da alma)
 k_v 5,0
 h/t 96,00
 $1,08(E*k_v/f_y)^{0,5}$ = 57,73
 $1,4(E*k_v/f_y)^{0,5}$ = 74,83

VRd 120,52 kN

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nc,Sd	18,53	kN	Nc,Rd 391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nc,Sd/Nc,Rd	=	0,05	=>> OK! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00	mm	
bf	100,00	mm	
D	38,00	mm	
tn	3,75	mm	
tr	0,00	mm	
t	3,75	mm	
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL			
AreaCx	46,98	cm ²	
mCx	36,88	kg/m	
IxCx	9471,42	cm ⁴	
WxCx	505,14	cm ³	
rxCx	14,20	cm	
IyCx	3117,72	cm ⁴	
WyCx	311,77	cm ³	
ryCx	8,15	cm	
ItCx	6794,68	cm ⁴	
CwCx	0,00	cm ⁶	
r0	16,37	cm	
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL			
fy	350,00	MPa	=>> 35,00 kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>> 50,00 kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>> 20000,00 kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>> 7700,00 kN/cm ²
v	0,30		

9.7.2) N_c, R_d :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

K_x	1,00
L_x	600 cm
K_y	1,00
L_y	600 cm
K_z	1,00
L_z	600 cm

N_{ex} 5193,28 kN

N_{ey} 1709,48 kN

N_{ez} 195227,23 kN

Portanto $N_e = \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez})$

N_e 1709,48 kN

Cálculo de χ

λ_0 0,981 ==> $\lambda_0 \leq 1,5$

χ 0,669

Determinação do K_I para compressão centrada

b_f nominal 100,00 mm

b_w nominal 375,00 mm

D nominal 38,00 mm

η 0,27 ==> Ok!

D/b_w 0,10 ==> Ok!

K_I 5,79

Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)

N_I 78,30 kN

Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)

λ_p 2,649 ==> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$

$A_{ef(1)}$ 10,03 cm²

Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)

A_{ef} 20,06 cm²

N_c, R_d 391,25 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)				
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)				
MSd	7538,91 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm	
NSd	18,53 kN	(COMPRESSÃO)	NRd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO				
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$			0,27	
			∥ ∨ ∨	
			Ok! ($\leq 1,0$)	

11.4 Verificação da Barra - Conclusão

Conclusão da verificação: o perfil Cx 375x100x38x3,75 não passou por ultrapassar 1% de sua resistência nas verificações do MSE. Espera-se uma redução nos valores dos esforços solicitantes, com a utilização de perfis mais rígidos do que os sugeridos inicialmente. Assim, este perfil será utilizado para uma nova análise estrutural, para refinar os esforços solicitantes.

12 RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTRUTURAIS – 2ª ITERAÇÃO

As análises estruturais apresentadas no item 7 foram refeitas utilizando as propriedades geométricas do novo perfil selecionado para os pilares e vigas: Cx 375x100x38x3,75.

Os carregamentos apresentados no item 6 foram utilizados para obter os esforços solicitantes apresentados na planilha eletrônica disponível no Anexo II do presente trabalho. Como resultado do processamento, o resumo dos esforços nas barras é apresentado na tabela 12.1.

BARRA	NÓ	Tipo de Esforço	Combinação FD1 (Não-Linear)	Combinação FD2 (Não-Linear)	Combinação FD3 (Não-Linear)
A-B	A	N (kN)	-42,73	33,47	33,97
		M (kN.cm)	0,00	0,00	0,00
		V (kN)	-13,48	36,21	20,32
	B	N (kN)	-42,73	33,47	33,97
		M (kN.cm)	-8016,21	13785,75	8219,22
		V (kN)	-13,48	6,84	6,04
	M máx (kN.cm) - na barra		0,00	13785,75	8219,22
M mín (kN.cm) - na barra		-8016,21	0,00	0,00	
B-C	B	N (kN)	-20,83	13,01	11,86
		M (kN.cm)	-8197,14	13832,59	8219,22
		V (kN)	39,79	-31,19	-32,21
	C	N (kN)	-13,04	15,86	14,45
		M (kN.cm)	6229,15	-2527,02	-2324,12
		V (kN)	-2,43	-10,51	4,90
	M máx (kN.cm) - na barra		6326,18	13832,59	8219,22
M mín (kN.cm) - na barra		-8197,14	-2527,02	-2369,12	
C-D	C	N (kN)	-13,42	11,14	15,19
		M (kN.cm)	6231,24	-2510,46	-2324,12
		V (kN)	2,34	-15,01	-0,23
	D	N (kN)	-20,87	8,29	12,07
		M (kN.cm)	-8390,03	-6564,41	-1090,79
		V (kN)	-39,88	5,67	4,03
	M máx (kN.cm) - na barra		6261,03	-2500,04	-1090,79
M mín (kN.cm) - na barra		-8390,03	-6564,41	-2324,12	
D-E	D	N (kN)	-43,02	6,29	5,78
		M (kN.cm)	8239,25	6602,11	1090,79
		V (kN)	13,59	-5,27	-9,31
	E	N (kN)	-43,02	6,29	5,78
		M (kN.cm)	0,00	0,00	0,00
		V (kN)	13,59	24,10	11,27
	M máx (kN.cm) - na barra		8239,25	6602,11	1320,90
M mín (kN.cm) - na barra		0,00	0,00	0,00	

Tabela 12.1 – Resumo dos Esforços nas Barras do Pórtico

13 VERIFICAÇÕES PARA OS PILARES E VIGAS – PERFIL Cx 375x100x38x3,75

Como um mesmo perfil foi utilizado para os pilares e as vigas do pórtico, será verificada apenas a barra com maior esforço.

Após análise da Tabela 12.1, concluiu-se que os maiores esforços ocorrem na barra B-C quando submetida às ações da Combinação $F_{D,2}$:

$$M_{Sd} = 13.832,59 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$N_{t,Sd} = 13,01 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 31,19 \text{ kN}$$

Entretanto o maior esforço de compressão ocorre na barra D-E quando submetida às ações da Combinação $F_{D,1}$:

$$M_{Sd} = 8.239,25 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$N_{c,Sd} = -43,02 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 13,59 \text{ kN}$$

As verificações da barra serão realizadas na seqüência indicada no item 8. As esbeltezas das barras já foram verificadas nos itens 9.1 e 11.1.

13.1 Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE)

A barra será novamente verificada com os esforços solicitantes indicados no item 13. Planilha eletrônica disponível no Anexo VI.

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
MSd	13832,59 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
VSd	31,19 kN	VRd	120,52 kN

9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

MSd/MRd	=	0,95	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
VSd/VRd	=	0,26	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)

Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais

$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,96	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
-----------------------------	---	------	-----	--------------------

DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA

bw	375,00	mm
bf	100,00	mm
D	38,00	mm
tn	3,75	mm
tr	0,00	mm
t	3,75	mm

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

bf nominal	100,00	mm	
bw nominal	375,00	mm	
D nominal	38,00	mm	
η	0,27	=>>	Ok!
μ	0,10	=>>	Ok!

Determinação do KI para flexão em torno da maior inércia - Caso b

a	30,66
b	0
KI	30,66

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

Wc	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
MI	27995,96 kN.cm	

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva

λ_p	0,795	=>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	459,68 cm ³	

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

M_{max} 13832,59 kN.cm

Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-nt}	550,12 kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	-1861,42 kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-nt}	-3288,37 kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Estrutura It - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-It}	7254,94 kN.cm	(1o. Quarto do trecho)
M_{B-It}	5304,28 kN.cm	(Centro do trecho)
M_{C-It}	3253,63 kN.cm	(3o. Quarto do trecho)

Coefficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,010
B2	1,046

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	8144,29 kN.cm
M_B	3668,24 kN.cm
M_C	82,04 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

Cb	2,339
----	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00
L_y	253,8 cm
N_{ey}	9553,98 kN
M_e	1653463,48 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,103	=>> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l	27995,96 kN.cm
-------	----------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795	=>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	459,68 cm ³	

MRd	14626,15 kN.cm
------------	----------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h	360,00 mm	(altura da parte plana da alma)
k_v	5,0	
h/t	96,00	
$1,08(E*k_v/f_y)^{0,5}$	=	57,73
$1,4(E*k_v/f_y)^{0,5}$	=	74,83

VRd	120,52 kN
------------	-----------

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nt,Sd	13,01	kN	Nt,Rd 1494,69 kN
9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,01	=>> OK! ($\leq 1,0$)
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL			
AreaCx	46,98	cm ²	
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL			
f _y	350,00	MPa	=>> 35,00 kN/cm ²
f _u	500,00	MPa	=>> 50,00 kN/cm ²
9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO			
a) Para escoamento da seção bruta			
Nt,Rd	1494,69 kN		
b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)			
c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas) (soldas longitudinais associadas a soldas transversais)			

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	13832,59 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	13,01 kN (TRAÇÃO)	NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$			0,89
			⇓
			Ok! ($\leq 1,0$)

13.2 Verificação da Barra - Flexão Simples com Compressão (MSE)

Planilha eletrônica disponível no Anexo VI.

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
MSd	8239,25 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
VSd	13,59 kN	VRd	120,52 kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
MSd/MRd	=	0,56	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
VSd/VRd	=	0,11	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais			
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,33	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00 mm		
bf	100,00 mm		
D	38,00 mm		
tn	3,75 mm		
tr	0,00 mm		
t	3,75 mm		

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

bf nominal	100,00	mm
bw nominal	375,00	mm
D nominal	38,00	mm
η	0,27	=>> Ok!
μ	0,10	=>> Ok!

Determinação do KI para flexão em torno da maior inércia - Caso b

a	30,66
b	0
KI	30,66

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

Wc	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
MI	27995,96	kN.cm	

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva

λp	0,795	=>> Terá flambagem local: λp > 0,673
Wef	459,68	cm ³

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

M_{max} 8239,25 kN.cm

Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-nt} 5491,43 kN.cm (1o. Quarto do trecho)

M_{B-nt} 3660,94 kN.cm (Centro do trecho)

M_{C-nt} 1830,48 kN.cm (3o. Quarto do trecho)

Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado

M_{A-lt} 624,74 kN.cm (1o. Quarto do trecho)

M_{B-lt} 416,49 kN.cm (Centro do trecho)

M_{C-lt} 208,25 kN.cm (3o. Quarto do trecho)

Coefficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1 1,010

B2 1,101

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A 6234,18 kN.cm

M_B 4156,10 kN.cm

M_C 2078,07 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b 1,657

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y 1,00

L_y 600 cm

N_{ey} 1709,48 kN

M_e 495511,76 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c 505,14 cm³ (p/ flexão em torno do eixo X-X)

λ_0 0,189 ==> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$

χ_{FLT} 1,000

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l 27995,96 kN.cm

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida
 λ_p 0,795 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
 $W_{c,ef}$ 459,68 cm³

MRd 14626,15 kN.cm

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h 360,00 mm (altura da parte plana da alma)
 k_v 5,0
 h/t 96,00
 $1,08(E \cdot k_v / f_y)^{0,5}$ = 57,73
 $1,4(E \cdot k_v / f_y)^{0,5}$ = 74,83

VRd 120,52 kN

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)

Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

$N_{c,Sd}$ 43,02 kN $N_{c,Rd}$ 391,25 kN

VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

$N_{c,Sd} / N_{c,Rd}$ = 0,11 =>> OK! ($\leq 1,0$)

DIMENSÕES DO PERFIL U_e QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA

b_w 375,00 mm
 b_f 100,00 mm
 D 38,00 mm
 t_n 3,75 mm
 t_r 0,00 mm
 t 3,75 mm

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	5193,28	kN
Ney	1709,48	kN
Nez	195227,23	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	1709,48	kN

Cálculo de χ

λ_0	0,981	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,669		

Determinação do Kl para compressão centrada			
bf nominal	100,00 mm		
bw nominal	375,00 mm		
D nominal	38,00 mm		
η	0,27	=>>	Ok!
D/bw	0,10	=>>	Ok!
Kl	5,79		
Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)			
NI	78,30 kN		
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)			
λp	2,649	=>>	Terá flambagem local: λp > 0,776
Aef(1)	10,03 cm ²		
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)			
Aef	20,06 cm ²		
Nc,Rd	391,25 kN		

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)				
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)				
MSd	8239,25 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm	
NSd	43,02 kN	(COMPRESSÃO)	NRd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO				
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,33		
		⇓		
		Ok! (≤ 1,0)		

13.3 Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MLE)

Comparando as verificações apresentadas nos itens 13.1 e 13.2, constatou-se que os esforços solicitantes do item 13.1 são os maiores para o estudo em questão. Assim, a verificação pelo

método da largura efetiva (MLE) será feita apenas para a barra B-C quando submetida às ações da Combinação $F_{D,2}$:

$$M_{Sd} = 13.832,59 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$N_{t,Sd} = 13,01 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 31,19 \text{ kN}$$

13.3.1 Tração

Verificação realizada no item 13.1:

$$N_{t,Sd} = 13,01 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 1494,69 \text{ kN}$$

$$N_{t,Sd} / N_{t,Rd} = 0,01 \rightarrow \text{Ok!}$$

13.3.2 Flexão Simples – Início do Escoamento da Seção Efetiva

Serão verificados os três elementos de um perfil Ue que compõe o perfil caixa (Figura 13.1). O momento fletor resistente de cálculo será determinado multiplicando-se o resultado por 2.

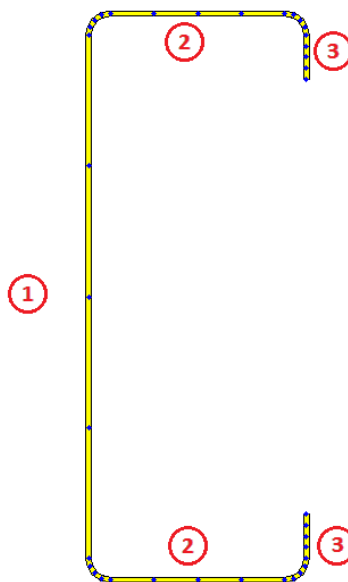


Figura 13.1 – Elementos do perfil Ue

a) Verificação do Flange Comprimido (2)

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

Sabe-se que o elemento 2 inferior está tracionado e o superior está comprimido. A tensão no elemento 2 inferior é a tensão de escoamento pois além do momento fletor, a barra está sendo tracionada. Assim a tensão atuante no elemento 2 superior será ligeiramente menor visto que a tensão causada pela força axial de tração é pouca significativa comparando-se à tensão causada pelo momento fletor. Colocadas estas observações, à favor da segurança, a tensão do elemento superior será considerada igual à tensão de escoamento: $\sigma = 35 \text{ kN/cm}^2$.

Assim calcula-se λ_{p0} :

$$\lambda_{p0} = \frac{8,5/0,375}{0,623(20000/35)} = 0,064 \therefore \lambda_{p0} < 0,673 \rightarrow \text{Não flamba localmente!}$$

Assim, conforme item 9.2.3.1 da NBR14762:2010:

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

$$d_s = d_{ef}$$

O valor de d_{ef} será calculado no item seguinte.

b) Verificação do Enrijecedor de Borda (3)

$$d = 3,8 - 2 \times t = 3,80 - (2 \times 0,375) = 3,05 \text{ cm}$$

Assim calcula-se λ_p :

$$\lambda_p = \frac{3,05/0,375}{0,95(0,43 \times 20000/35)} = 0,035 \therefore \lambda_p < 0,673 \rightarrow \text{Não flamba localmente!}$$

Assim, conforme item 9.2.2.1 da NBR14762:2010:

$$d_{ef} = d = 3,05 \text{ cm}$$

Conforme determinado no item (a) acima:

$$d_s = d_{ef} = d = 3,05 \text{ cm}$$

c) Verificação da Alma (1) - 1ª. iteração

$$b = 37,5 - 4 \times t = 37,5 - (4 \times 0,375) = 36,0 \text{ cm}$$

Como o flange comprimido não flambou e sua largura efetiva é igual a do flange inferior, a posição da linha neutra da seção não é alterada. Assim a tensão de compressão é igual a tensão de tração: $\sigma_1 = -35 \text{ kN/cm}^2$; $\sigma_2 = 35 \text{ kN/cm}^2$

$$\Psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{-35}{35} = -1$$

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

$$\lambda_p = \frac{36,0/0,375}{0,95(24 \times 20000/35)} = 0,007 \therefore \lambda_p < 0,673 \rightarrow \text{Não flamba localmente!}$$

Assim, conforme item 9.2.2.1 da NBR14762:2010:

$$b_{ef} = b = 36,0 \text{ cm}$$

Como a alma não tem área inefetiva, a posição da linha neutra não altera e não será necessário efetuar a 2ª. iteração.

Assim, o módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida é calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme segue:

$$W_{ef} = \frac{I_x}{y_{cg}} = \frac{4.735,71}{18,75} = 252,57 \text{ cm}^3$$

Sendo assim, o momento fletor resistente do perfil Ue é calculado com a seguinte expressão:

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \times f_y}{\gamma} = \frac{252,57 \times 35}{1,1} = 8.036,32 \text{ kN} \times \text{cm}$$

O momento fletor resistente de cálculo do perfil caixa é o dobro:

$$M_{Rd} = 16.072,64 \text{ kN} \times \text{cm}$$

13.3.3 Flexão Simples – Flambagem Lateral com Torção

Para o perfil caixa já foram calculados no item 13.1 os valores de C_b , M_e e χ_{FLT} :

$$\chi_{FLT} = 1,0$$

Assim, para efetuar os cálculos do MLE, será utilizada a seguinte tensão:

$$\sigma = \chi_{FLT} \times f_y = 35 \text{ kN/m}^2$$

Como a tensão atuante igual ao item 13.3.2, o momento fletor resistente de cálculo do perfil caixa é será igual ao já calculado:

$$M_{Rd} = 16.072,64 \text{ kN} \times \text{cm}$$

13.4 Verificação da Barra - Conclusão

Conclusão da verificação: o perfil Cx 375x100x38x3,75 passou nas verificações pelos dois métodos: MSE e MLE.

14 VERIFICAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS

14.1 Deslocamento Vertical

O deslocamento vertical do pórtico é determinado computacionalmente com a combinação dada por:

$$F_{\text{ser},1} = F_{G,k} + (0,6) \cdot F_{Q,k}$$

$$F_{\text{ser},1} = (2,7 \text{ kN/m}) + (0,6) \cdot (1,5 \text{ kN/m}) = 3,6 \text{ kN/m}$$

O limite dado pela Tabela A.1 do Anexo A da ABNT NBR 14762:2010 é de $L/250$ para vigas de cobertura. Assim, o limite permitido é de 60 mm ($1500 \text{ mm} / 250$). Como o valor do deslocamento vertical máximo obtido foi de 39,46 mm, conclui-se que o perfil caixa utilizado é adequado.

14.2 Deslocamento Horizontal

O deslocamento lateral do pórtico no topo das colunas, para a pior situação das combinações frequentes de serviço, pode ser calculado computacionalmente, com a combinação de estado limite de utilização dada por apenas o carregamento nominal do vento fornecido pela combinação $F_{D,2}$ das ações finais de vento:

$$F_{\text{ser},3} = (0,3) \cdot F_{w,k}$$

Ação vertical na viga da esquerda da cobertura:

$$F_{\text{ser},3} = - (0,3) \cdot (5,38 \text{ kN/m} \cdot \cos(10^\circ)) = -1,59 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na viga da esquerda da cobertura:

$$F_{\text{ser},3} = - (0,3) \cdot (5,38 \text{ kN/m} \cdot \sin(10^\circ)) = -0,28 \text{ kN/m}$$

Ação vertical na viga da direita da cobertura:

$$F_{\text{ser},3} = - (0,3) \cdot (2,30 \text{ kN/m} \cdot \cos(10^\circ)) = -0,68 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na viga da direita da cobertura:

$$F_{\text{ser},3} = - (0,3) \cdot (2,30 \text{ kN/m} \cdot \sin(10^\circ)) = -0,12 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na parte superior do pilar da esquerda ($h > 3\text{m}$):

$$F_{\text{ser},3} = (0,3) \cdot (1,82 \text{ kN/m}) = 0,55 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na parte inferior do pilar da esquerda ($h < 3\text{m}$):

$$F_{\text{ser},3} = (0,3) \cdot (1,58 \text{ kN/m}) = 0,48 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na parte superior do pilar da direita ($h > 3\text{m}$):

$$F_{\text{ser},3} = (0,3) \cdot (2,69 \text{ kN/m}) = 0,81 \text{ kN/m}$$

Ação horizontal na parte inferior do pilar da direita ($h < 3\text{m}$):

$$F_{\text{ser},3} = (0,3) \cdot (2,21 \text{ kN/m}) = 0,67 \text{ kN/m}$$

O estado limite de deformação horizontal para galpões em geral é de 1/300 da altura da coluna em relação à base – segundo a Tabela A.1 do Anexo A da ABNT NBR 14762:2010. Assim, o limite permitido é de 20 mm (6000 mm / 300). Como o valor do deslocamento vertical máximo obtido foi de 12,83 mm, conclui-se que o perfil caixa utilizado é adequado.

15 CONCLUSÃO

Conforme as verificações feitas, mostra-se que o perfil caixa Cx 375x100x38x3,75 tem suficiente capacidade para atender às solicitações de projeto.

Finalmente, comparando o peso unitário do perfil caixa com o perfil laminado proposto no manual de referência, obteve-se uma redução de 38,7 kg/m para 36,9 kg/m, ou seja, 4,6% de redução.

Esta redução poderia ser maior se o autor tivesse optado por um perfil caixa de maior altura e menor espessura da chapa.

16 NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS

- NBR-6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações.
- NBR-6355:2012 – Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização.
- NBR-8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.
- NBR-14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.
- Galpões para usos gerais /Instituto Aço Brasil, Zacarias M.Chamberlain Pravia (revs.), Gilnei Artur Drehmer e Enio Mesacasa Júnior. - Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.
- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – Dimensionamento Básico de Elementos de Estruturas de Aço – Versão 3 – Prof. Ricardo Hallal – Impressão de março de 2009.

17 ANEXOS

17.1 Anexo I

Planilha para calcular as propriedades geométricas do perfil U enrijecido (Ue) desejado e do perfil Caixa (Cx) resultante da conexão longitudinal de dois perfis Ue.

Cálculo de propriedades geométricas (NBR 6355:2012)			
Perfil U enrijecido / Perfil Caixa com 2 Ue			
<u>1) Dimensões principais do perfil Ue</u>		<u>3) Propriedades do Perfil Ue isolado</u>	
bw	250,00 mm	Area	1.024,22 mm ² 10,24 cm ²
bf	85,00 mm	m	8,04 kg/m
D	25,00 mm	xg	24,32 mm
tn	2,25 mm	x0	60,62 mm 6,06 cm
		Ix	9.735.939,04 mm ⁴ 973,59 cm ⁴
		Wx	77,89 cm ³
		rx	9,75 cm
Aço zincado?	não	Iy	988.666,88 mm ⁴ 98,87 cm ⁴
		Wy	16,29 cm ³
		ry	3,11 cm
		It (aprox.)	1.728,37 mm ⁶ 0,173 cm ⁴
		Cw	12.755.844.259,00 mm ⁶ 12.755,84 cm ⁶
		r0	11,89 cm
<u>2) Demais dimensões do perfil Ue</u>		<u>4) Propriedades Cx</u>	
a	241,00 mm	AreaCx	2.048,44 mm ² 20,48 cm ²
am	247,75 mm	mCx	16,08 kg/m
b	76,00 mm	IxCx	19.471.878,08 mm ⁴ 1.947,19 cm ⁴
bm	82,75 mm	WxCx	155,78 cm ³
c.	20,50 mm	rxCx	9,75 cm
cm	23,88 mm	IyCx	9.519.434,11 mm ⁴ 951,94 cm ⁴
rm	3,38 mm	WyCx	111,99 cm ³
u1.	5,30 mm	ryCx	6,82 cm
ri	2,25 mm	ItCx (aprox.)	18.307.244,18 mm ⁴ 1.830,72 cm ⁴
tr	- mm	CwCx (aprox.)	0,00 mm ⁶ 0,00 cm ⁶
t.	2,25 mm	r0	11,90 cm

17.2 Anexo II

Planilha para determinação dos esforços solicitantes pelo método MAES (1ª. Iteração)

FD1		ESTRUTURA NT					ESTRUTURA LT				
BARRA	NÓ	Nnt (kN)	Vnt (kN)	Mnt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mnt (kN.cm) MÁX./MÍN da barra	Nlt (kN)	Vlt (kN)	Mlt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mlt (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.
A-B	A	-43,80	-12,65	0,00	0,00	0,00	1,02	1,19	0,00	0,00	0,00
	B	-43,80	-12,65	-7592,47	7592,47	-7592,47	1,02	1,19	712,45	712,45	712,45
B-C	B	-20,31	40,89	-7592,47	7592,47	7488,05	1,35	-0,80	712,45	712,45	120,73
	C	-12,87	-1,33	7472,06	7472,06	-7592,47	1,35	-0,80	101,43	101,43	712,45
C-D	C	-12,55	3,15	7472,06	7472,06	7472,06	0,99	-1,21	101,43	101,43	101,43
	D	-19,99	-39,08	-6208,51	6208,51	-6208,51	0,99	-1,21	-823,55	823,55	-823,55
D-E	D	-41,95	10,35	6208,51	6208,51	6208,51	-1,02	1,37	823,55	823,55	823,55
	E	-41,95	10,35	0,00	0,00	0,00	-1,02	1,37	0,00	0,00	0,00

FD1		ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO												
BARRA	NÓ	tem força transversal?	Cm	comprimento da barra (cm)	NSd1 (kN)	Ixx (cm ⁴)	Ne (kN)	B1	B2	Nsd (kN)	Vsd (kN)	Msd (kN.cm) Nó	Msd (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.	Msd (kN.cm) MÁX./MÍN. da barra
A-B	A	não	0,60	600,00	-42,78	1.947,20	854,14	1,00	1,475	-42,30	-11,46	0,00	0,00	0,00
	B	não	0,60	600,00	-42,78	1.947,20	854,14	1,00	1,475	-42,30	-11,46	-6.541,57	-6541,57	-6541,57
B-C	B	sim	1,00	761,60	-18,96	3.817,30	1.039,26	1,02	1,475	-18,32	40,09	-6.682,66	7805,28	7805,28
	C	sim	1,00	761,60	-11,52	3.817,30	1.039,26	1,01	1,475	-10,88	-2,13	7.705,43	-6626,68	-6682,66
C-D	C	sim	1,00	761,60	-11,56	3.817,30	1.039,26	1,01	1,475	-11,09	1,94	7.705,72	7705,72	7705,72
	D	sim	1,00	761,60	-19,00	3.817,30	1.039,26	1,02	1,475	-18,53	-40,29	-7.538,91	-7538,91	-7538,91
D-E	D	não	0,60	600,00	-42,97	1.947,20	854,14	1,00	1,475	-43,45	11,72	7.423,29	7423,29	7423,29
	E	não	0,60	600,00	-42,97	1.947,20	854,14	1,00	1,475	-43,45	11,72	0,00	0,00	0,00

CÁLCULO DO COEFICIENTE B2						
Andar i	Δx_i (mm)	Δh (cm)	h (cm)	ΣN_{sd} (kN)	ΣH_{sd} (kN)	B2
1	4,98E+01	4,98	600	84,45	2,56	1,475
2	N.A.					

Como o maior coeficiente B2 é igual a 1,475 (menor que 1,55 - valor correspondente ao limite de 1,40 quando utiliza-se E igual a 160.000 MPa ao invés de 200.000 MPa), a estrutura é classificada pela NBR8800:2008 como de média deslocabilidade. Portanto, o procedimento de cálculo utilizado é válido.

FD2		ESTRUTURA NT					ESTRUTURA LT				
BARRA	NÓ	Nnt (kN)	Vnt (kN)	Mnt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mnt (kN.cm) MÁX./MÍN da barra	Nlt (kN)	Vlt (kN)	Mlt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mlt (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.
A-B	A	18,61	18,84	0,00	0,00	3959,26	13,70	15,89	0,00	0,00	6421,27
	B	18,61	-10,53	2928,42	2928,42	0,00	13,70	15,89	9531,82	9531,82	0,00
B-C	B	-7,39	-20,19	2928,42	2928,42	2928,42	18,02	-10,73	9531,82	9531,82	9531,82
	C	-4,54	0,49	-4574,56	4574,56	-4578,97	18,02	-10,73	1357,00	1357,00	1550,87
C-D	C	-4,10	2,01	-4574,56	4574,56	4835,05	13,27	-16,25	1357,00	1357,00	-11018,20
	D	-6,95	22,70	4835,05	4835,05	-4574,56	13,27	-16,25	-11018,20	11018,20	1357,00
D-E	D	21,15	-23,47	-4835,05	4835,05	394,55	-13,70	18,36	11018,20	11018,20	2457,06
	E	21,15	5,90	0,00	0,00	-4835,05	-13,70	18,36	0,00	0,00	11018,20

FD2		ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO												
BARRA	NÓ	tem força transversal?	Cm	comprimento da barra (cm)	Nsd1 (kN)	Ixx (cm4)	Ne (kN)	B1	B2	Nsd (kN)	Vsd (kN)	Msd (kN.cm) Nó	Msd (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.	Msd (kN.cm) MÁX./MÍN. da barra
A-B	A	sim	1,00	600,00	32,31	1.947,20	854,14	1,00	1,183	34,81	34,73	0,00	11553,58	14201,54
	B	sim	1,00	600,00	32,31	1.947,20	854,14	1,00	1,183	34,81	5,36	14.201,54	0,00	0,00
B-C	B	sim	1,00	761,60	10,63	3.817,30	1.039,26	1,01	1,183	13,92	-30,92	14.231,80	14231,80	14231,80
	C	sim	1,00	761,60	13,48	3.817,30	1.039,26	1,01	1,183	16,77	-10,24	-3.029,78	-2804,96	-3029,78
C-D	C	sim	1,00	761,60	9,17	3.817,30	1.039,26	1,01	1,183	11,59	-14,24	-3.010,38	-8152,94	-2997,65
	D	sim	1,00	761,60	6,32	3.817,30	1.039,26	1,01	1,183	8,74	6,45	-8.166,40	-2997,65	-8166,40
D-E	D	sim	1,00	600,00	7,45	1.947,20	854,14	1,00	1,183	4,95	-5,11	8.195,98	3300,47	8195,98
	E	sim	1,00	600,00	7,45	1.947,20	854,14	1,00	1,183	4,95	24,26	0,00	8195,98	0,00

CÁLCULO DO COEFICIENTE B2						
Andar i	Δx_i (mm)	Δh (cm)	h (cm)	ΣN_{sd} (kN)	ΣH_{sd} (kN)	B2
1	6,66E+02	66,62	600	40,5	34,25	1,183
2	N.A.					

Como o maior coeficiente B2 é igual a 1,183 (menor que 1,55 - valor correspondente ao limite de 1,40 quando utiliza-se E igual a 160.000 MPa ao invés de 200.000 MPa), a estrutura é classificada pela NBR8800:2008 como de média deslocabilidade. Portanto, o procedimento de cálculo utilizado é válido.

FD3		ESTRUTURA NT					ESTRUTURA LT				
BARRA	NÓ	Nnt (kN)	Vnt (kN)	Mnt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mnt (kN.cm) MÁX./MÍN da barra	Nlt (kN)	Vlt (kN)	Mlt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mlt (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.
A-B	A	27,94	12,80	0,00	0,00	3591,66	5,13	5,95	0,00	0,00	3222,34
	B	27,94	-1,48	3548,68	3548,68	0,00	5,13	5,95	3567,82	3567,82	0,00
B-C	B	3,15	-27,82	3548,68	3548,68	3548,68	6,75	-4,02	3567,82	3567,82	3567,82
	C	5,73	9,29	-3503,87	3503,87	-4390,25	6,75	-4,02	507,93	507,93	1274,40
C-D	C	8,56	6,78	-3503,87	3503,87	3278,40	4,97	-6,08	507,93	507,93	-4124,18
	D	5,45	11,04	3278,40	3278,40	-3503,87	4,97	-6,08	-4124,18	4124,18	507,93
D-E	D	11,81	-16,26	-3278,40	3278,40	301,42	-5,13	6,87	4124,18	4124,18	960,25
	E	11,81	4,32	0,00	0,00	-3278,40	-5,13	6,87	0,00	0,00	4124,18

FD3		ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO												
BARRA	NÓ	tem força transversal?	Cm	comprimento da barra (cm)	Nsd1 (kN)	Ixx (cm ⁴)	Ne (kN)	B1	B2	Nsd (kN)	Vsd (kN)	Msd (kN.cm) Nó	Msd (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.	Msd (kN.cm) MÁX./MÍN. da barra
A-B	A	sim	1,00	600,00	33,07	1.947,20	854,14	1,00	1,181	34,00	18,75	0,00	7396,91	7761,91
	B	sim	1,00	600,00	33,07	1.947,20	854,14	1,00	1,181	34,00	4,47	7.761,91	0,00	0,00
B-C	B	sim	1,00	761,60	9,90	3.817,30	1.039,26	1,00	1,181	11,12	-31,84	7.761,91	7761,91	7761,91
	C	sim	1,00	761,60	12,48	3.817,30	1.039,26	1,00	1,181	13,70	5,27	-2.904,06	-2885,31	-2904,06
C-D	C	sim	1,00	761,60	13,53	3.817,30	1.039,26	1,00	1,181	14,43	0,70	-2.904,06	-1591,84	-1591,84
	D	sim	1,00	761,60	10,42	3.817,30	1.039,26	1,00	1,181	11,32	4,96	-1.591,84	-2904,06	-2904,06
D-E	D	sim	1,00	600,00	6,68	1.947,20	854,14	1,00	1,181	5,75	-9,39	1.591,84	1435,38	1591,84
	E	sim	1,00	600,00	6,68	1.947,20	854,14	1,00	1,181	5,75	11,19	0,00	1591,84	0,00

CÁLCULO DO COEFICIENTE B2						
Andar i	Δx_i (mm)	Δh (cm)	h (cm)	ΣN_{sd} (kN)	ΣH_{sd} (kN)	B2
1	2,47E+02	24,73	600	40,5	12,82	1,181
2	N.A.					

Como o maior coeficiente B2 é igual a 1,181 (menor que 1,55 - valor correspondente ao limite de 1,40 quando utiliza-se E igual a 160.000 MPa ao invés de 200.000 MPa), a estrutura é classificada pela NBR8800:2008 como de média deslocabilidade. Portanto, o procedimento de cálculo utilizado é válido.

BARRA	NÓ	Tipo de Esforço	Combinação FD1 (Não-Linear)	Combinação FD2 (Não-Linear)	Combinação FD3 (Não-Linear)
A-B	A	N (kN)	-42,30	34,81	34,00
		M (kN.cm)	0,00	0,00	0,00
		V (kN)	-11,46	34,73	18,75
	B	N (kN)	-42,30	34,81	34,00
		M (kN.cm)	-6541,57	14201,54	7761,91
		V (kN)	-11,46	5,36	4,47
	M máx (kN.cm) - na barra		0,00	14201,54	7761,91
M mín (kN.cm) - na barra		-6541,57	0,00	0,00	
B-C	B	N (kN)	-18,32	13,92	11,12
		M (kN.cm)	-6682,66	14231,80	7761,91
		V (kN)	40,09	-30,92	-31,84
	C	N (kN)	-10,88	16,77	13,70
		M (kN.cm)	7705,43	-3029,78	-2904,06
		V (kN)	-2,13	-10,24	5,27
	M máx (kN.cm) - na barra		7805,28	14231,80	7761,91
M mín (kN.cm) - na barra		-6682,66	-3029,78	-2904,06	
C-D	C	N (kN)	-11,09	11,59	14,43
		M (kN.cm)	7705,72	-3010,38	-2904,06
		V (kN)	1,94	-14,24	0,70
	D	N (kN)	-18,53	8,74	11,32
		M (kN.cm)	-7538,91	-8166,40	-1591,84
		V (kN)	-40,29	6,45	4,96
	M máx (kN.cm) - na barra		7705,72	-2997,65	-1591,84
M mín (kN.cm) - na barra		-7538,91	-8166,40	-2904,06	
D-E	D	N (kN)	-43,45	4,95	5,75
		M (kN.cm)	7423,29	8195,98	1591,84
		V (kN)	11,72	-5,11	-9,39
	E	N (kN)	-43,45	4,95	5,75
		M (kN.cm)	0,00	0,00	0,00
		V (kN)	11,72	24,26	11,19
	M máx (kN.cm) - na barra		7423,29	8195,98	1591,84
M mín (kN.cm) - na barra		0,00	0,00	0,00	

Planilha para determinação dos esforços solicitantes pelo método MAES (2ª. Iteração)

FD1		ESTRUTURA NT					ESTRUTURA LT				
BARRA	NÓ	Nnt (kN)	Vnt (kN)	Mnt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mnt (kN.cm) MÁX./MÍN da barra	Nlt (kN)	Vlt (kN)	Mlt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mlt (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.
A-B	A	-43,85	-14,65	0,00	0,00	0,00	1,02	1,17	0,00	0,00	0,00
	B	-43,85	-14,65	-8790,44	8790,44	-8790,44	1,02	1,17	703,02	703,02	703,02
B-C	B	-22,29	40,60	-8790,44	8790,44	6076,15	1,33	-0,81	703,02	703,02	113,47
	C	-14,50	-1,62	6052,44	6052,44	-8790,44	1,33	-0,81	89,92	89,92	703,02
C-D	C	-14,50	3,55	6052,44	6052,44	6166,14	0,98	-1,21	89,92	89,92	12,36
	D	-21,95	-38,67	-7321,89	7321,89	-7321,89	0,98	-1,21	-832,98	832,98	-832,98
D-E	D	-41,90	12,20	7321,89	7321,89	7321,89	-1,02	1,39	832,98	832,98	832,98
	E	-41,90	12,20	0,00	0,00	0,00	-1,02	1,39	0,00	0,00	0,00

FD1		ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO												
BARRA	NÓ	tem força transversal?	Cm	comprimento da barra (cm)	Nsd1 (kN)	Ixx (cm4)	Ne (kN)	B1	B2	Nsd (kN)	Vsd (kN)	Msd (kN.cm) Nó	Msd (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.	Msd (kN.cm) MÁX./MÍN. da barra
A-B	A	não	0,60	600,00	-42,83	1.947,20	854,14	1,00	1,101	-42,73	-13,48	0,00	0,00	0,00
	B	não	0,60	600,00	-42,83	1.947,20	854,14	1,00	1,101	-42,73	-13,48	-8.016,21	-8016,21	-8016,21
B-C	B	sim	1,00	761,60	-20,96	3.817,30	1.039,26	1,02	1,101	-20,83	39,79	-8.197,14	6326,18	6326,18
	C	sim	1,00	761,60	-13,17	3.817,30	1.039,26	1,01	1,101	-13,04	-2,43	6.229,15	-8129,03	-8197,14
C-D	C	sim	1,00	761,60	-13,52	3.817,30	1.039,26	1,01	1,101	-13,42	2,34	6.231,24	6261,03	6261,03
	D	sim	1,00	761,60	-20,97	3.817,30	1.039,26	1,02	1,101	-20,87	-39,88	-8.390,03	-8390,03	-8390,03
D-E	D	não	0,60	600,00	-42,92	1.947,20	854,14	1,00	1,101	-43,02	13,59	8.239,25	8239,25	8239,25
	E	não	0,60	600,00	-42,92	1.947,20	854,14	1,00	1,101	-43,02	13,59	0,00	0,00	0,00

CÁLCULO DO COEFICIENTE B2						
Andar i	Δx_i (mm)	Δh (cm)	h (cm)	ΣN_{sd} (kN)	ΣH_{sd} (kN)	B2
1	1,42E+01	1,42	600	84,45	2,56	1,101
2	N.A.					

Como o maior coeficiente B2 é igual a 1,101 (menor que 1,13 - valor correspondente ao limite de 1,10 quando utiliza-se E igual a 160.000 MPa ao invés de 200.000 MPa), a estrutura é classificada pela NBR8800:2008 como de pequena deslocabilidade. Portanto, o procedimento de cálculo utilizado é válido.

FD2		ESTRUTURA NT					ESTRUTURA LT				
BARRA	NÓ	Nnt (kN)	Vnt (kN)	Mnt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mnt (kN.cm) MÁX./MÍN da barra	Nlt (kN)	Vlt (kN)	Mlt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mlt (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.
A-B	A	19,14	20,53	0,00	0,00	4671,75	13,70	15,68	0,00	0,00	6831,60
	B	19,14	-8,84	3946,23	3946,23	0,00	13,70	15,68	9405,60	9405,60	0,00
B-C	B	-5,63	-20,42	3946,23	3946,23	3946,23	17,82	-10,77	9405,60	9405,60	9405,60
	C	-2,78	0,26	-3730,70	3730,70	-3732,01	17,82	-10,77	1202,97	1202,97	1307,04
C-D	C	-2,52	1,20	-3730,70	3730,70	5056,43	13,06	-16,21	1202,97	1202,97	-11144,40
	D	-5,37	21,88	5056,43	5056,43	-3730,70	13,06	-16,21	-11144,40	11144,40	1202,97
D-E	D	20,62	-23,84	-5056,43	5056,43	346,74	-13,70	18,57	11144,40	11144,40	2329,18
	E	20,62	5,53	0,00	0,00	-5056,43	-13,70	18,57	0,00	0,00	11144,40

FD2		ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO												
BARRA	NÓ	tem força transversal?	Cm	comprimento da barra (cm)	Nsd1 (kN)	Ixx (cm4)	Ne (kN)	B1	B2	Nsd (kN)	Vsd (kN)	Msd (kN.cm) Nó	Msd (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.	Msd (kN.cm) MÁX./MÍN. da barra
A-B	A	sim	1,00	600,00	32,84	1.947,20	854,14	1,00	1,046	33,47	36,21	0,00	11818,52	13785,75
	B	sim	1,00	600,00	32,84	1.947,20	854,14	1,00	1,046	33,47	6,84	13.785,75	0,00	0,00
B-C	B	sim	1,00	761,60	12,19	3.817,30	1.039,26	1,01	1,046	13,01	-31,19	13.832,59	13832,59	13832,59
	C	sim	1,00	761,60	15,04	3.817,30	1.039,26	1,01	1,046	15,86	-10,51	-2.527,02	-2419,47	-2527,02
C-D	C	sim	1,00	761,60	10,54	3.817,30	1.039,26	1,01	1,046	11,14	-15,01	-2.510,46	-6550,30	-2500,04
	D	sim	1,00	761,60	7,69	3.817,30	1.039,26	1,01	1,046	8,29	5,67	-6.564,41	-2500,04	-6564,41
D-E	D	sim	1,00	600,00	6,92	1.947,20	854,14	1,00	1,046	6,29	-5,27	6.602,11	2783,37	6602,11
	E	sim	1,00	600,00	6,92	1.947,20	854,14	1,00	1,046	6,29	24,10	0,00	6602,11	0,00

CÁLCULO DO COEFICIENTE B2						
Andar i	Δx_i (mm)	Δh (cm)	h (cm)	ΣN_{sd} (kN)	ΣH_{sd} (kN)	B2
1	1,90E+02	19,02	600	40,5	34,25	1,046
2	N.A.					

Como o maior coeficiente B2 é igual a 1,046 (menor que 1,13 - valor correspondente ao limite de 1,10 quando utiliza-se E igual a 160.000 MPa ao invés de 200.000 MPa), a estrutura é classificada pela NBR8800:2008 como de pequena deslocabilidade. Portanto, o procedimento de cálculo utilizado é válido.

FD3		ESTRUTURA NT					ESTRUTURA LT				
BARRA	NÓ	Nnt (kN)	Vnt (kN)	Mnt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mnt (kN.cm) MÁX./MÍN da barra	Nlt (kN)	Vlt (kN)	Mlt(kN.cm) Nó	Mnt (v. absl.)	Mlt (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.
A-B	A	28,60	14,45	0,00	0,00	4536,25	5,13	5,87	0,00	0,00	3520,58
	B	28,60	0,17	4536,25	4536,25	0,00	5,13	5,87	3520,58	3520,58	0,00
B-C	B	4,88	-28,18	4536,25	4536,25	4536,25	6,67	-4,03	3520,58	3520,58	3520,58
	C	7,47	8,93	-2795,17	2795,17	-3613,09	6,67	-4,03	450,28	450,28	1189,12
C-D	C	10,07	5,84	-2795,17	2795,17	3273,04	4,89	-6,07	450,28	450,28	-4171,42
	D	6,95	10,10	3273,04	3273,04	-2795,17	4,89	-6,07	-4171,42	4171,42	450,28
D-E	D	11,15	-16,26	-3273,04	3273,04	302,67	-5,13	6,95	4171,42	4171,42	973,33
	E	11,15	4,32	0,00	0,00	-3273,04	-5,13	6,95	0,00	0,00	4171,42

FD3		ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO												
BARRA	NÓ	tem força transversal?	Cm	comprimento da barra (cm)	Nsd1 (kN)	Ixx (cm4)	Ne (kN)	B1	B2	Nsd (kN)	Vsd (kN)	Msd (kN.cm) Nó	Msd (kN.cm) da barra no ponto de Mnt MÁX./MÍN.	Msd (kN.cm) MÁX./MÍN. da barra
A-B	A	sim	1,00	600,00	33,73	1.947,20	854,14	1,00	1,046	33,97	20,32	0,00	8219,22	8219,22
	B	sim	1,00	600,00	33,73	1.947,20	854,14	1,00	1,046	33,97	6,04	8.219,22	0,00	0,00
B-C	B	sim	1,00	761,60	11,55	3.817,30	1.039,26	1,00	1,046	11,86	-32,21	8.219,22	8219,22	8219,22
	C	sim	1,00	761,60	14,14	3.817,30	1.039,26	1,00	1,046	14,45	4,90	-2.324,12	-2369,12	-2369,12
C-D	C	sim	1,00	761,60	14,96	3.817,30	1.039,26	1,00	1,046	15,19	-0,23	-2.324,12	-1090,79	-1090,79
	D	sim	1,00	761,60	11,84	3.817,30	1.039,26	1,00	1,046	12,07	4,03	-1.090,79	-2324,12	-2324,12
D-E	D	sim	1,00	600,00	6,02	1.947,20	854,14	1,00	1,046	5,78	-9,31	1.090,79	1320,90	1320,90
	E	sim	1,00	600,00	6,02	1.947,20	854,14	1,00	1,046	5,78	11,27	0,00	1090,79	0,00

CÁLCULO DO COEFICIENTE B2						
Andar i	Δx_i (mm)	Δh (cm)	h (cm)	ΣN_{sd} (kN)	ΣH_{sd} (kN)	B2
1	7,12E+01	7,12	600	40,5	12,82	1,046
2	N.A.					

Como o maior coeficiente B2 é igual a 1,046 (menor que 1,13 - valor correspondente ao limite de 1,10 quando utiliza-se E igual a 160.000 MPa ao invés de 200.000 MPa), a estrutura é classificada pela NBR8800:2008 como de pequena deslocabilidade. Portanto, o procedimento de cálculo utilizado é válido.

BARRA	NÓ	Tipo de Esforço	Combinação FD1 (Não-Linear)	Combinação FD2 (Não-Linear)	Combinação FD3 (Não-Linear)
A-B	A	N (kN)	-42,73	33,47	33,97
		M (kN.cm)	0,00	0,00	0,00
		V (kN)	-13,48	36,21	20,32
	B	N (kN)	-42,73	33,47	33,97
		M (kN.cm)	-8016,21	13785,75	8219,22
		V (kN)	-13,48	6,84	6,04
	M máx (kN.cm) - na barra		0,00	13785,75	8219,22
M mín (kN.cm) - na barra		-8016,21	0,00	0,00	
B-C	B	N (kN)	-20,83	13,01	11,86
		M (kN.cm)	-8197,14	13832,59	8219,22
		V (kN)	39,79	-31,19	-32,21
	C	N (kN)	-13,04	15,86	14,45
		M (kN.cm)	6229,15	-2527,02	-2324,12
		V (kN)	-2,43	-10,51	4,90
	M máx (kN.cm) - na barra		6326,18	13832,59	8219,22
M mín (kN.cm) - na barra		-8197,14	-2527,02	-2369,12	
C-D	C	N (kN)	-13,42	11,14	15,19
		M (kN.cm)	6231,24	-2510,46	-2324,12
		V (kN)	2,34	-15,01	-0,23
	D	N (kN)	-20,87	8,29	12,07
		M (kN.cm)	-8390,03	-6564,41	-1090,79
		V (kN)	-39,88	5,67	4,03
	M máx (kN.cm) - na barra		6261,03	-2500,04	-1090,79
M mín (kN.cm) - na barra		-8390,03	-6564,41	-2324,12	
D-E	D	N (kN)	-43,02	6,29	5,78
		M (kN.cm)	8239,25	6602,11	1090,79
		V (kN)	13,59	-5,27	-9,31
	E	N (kN)	-43,02	6,29	5,78
		M (kN.cm)	0,00	0,00	0,00
		V (kN)	13,59	24,10	11,27
	M máx (kN.cm) - na barra		8239,25	6602,11	1320,90
M mín (kN.cm) - na barra		0,00	0,00	0,00	

17.3 Anexo III

Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE) – item 8.2

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)					
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.					
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO					
MSd	14201,54	kN.cm	MRd	4117,61	kN.cm
VSd	5,36	kN	VRd	38,89	kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO					
MSd/MRd	=	3,45	=>>	Não passou (> 1,0)	
VSd/VRd	=	0,14	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais					
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	11,91	=>>	Não passou (> 1,0)	
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA					
bw	250,00	mm			
bf	85,00	mm			
D	25,00	mm			
tn	2,25	mm			
tr	0,00	mm			
t	2,25	mm			
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL					
AreaCx	20,48	cm ²			
mCx	16,08	kg/m			
IxCx	1947,19	cm ⁴			
WxCx	155,78	cm ³			
rxCx	9,75	cm			
IyCx	951,94	cm ⁴			
WyCx	111,99	cm ³			
ryCx	6,82	cm			
ItCx	1830,72	cm ⁴			
CwCx	0,00	cm ⁶			
r0	11,90	cm			

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL				
f_y	350,00	MPa	=>>	35,00 kN/cm ²
f_u	500,00	MPa	=>>	50,00 kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00 kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00 kN/cm ²
ν	0,30			
9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA				
bf nominal	85,00	mm		
bw nominal	250,00	mm		
D nominal	25,00	mm		
η	0,34		=>>	Ok!
μ	0,10		=>>	Ok!
Determinação do Kl para flexão em torno da maior inércia - Caso b				
a	28,62			
b	0			
Kl	28,62			
Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica				
Wc	155,78	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)	
MI	6526,59	kN.cm		
Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva				
λ_p	0,914		=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	129,41	cm ³		
MRd	4117,61	kN.cm		
9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO				
M_{max}	14201,54	kN.cm		
Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-nt}	2329,61	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	3666,96	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-nt}	3902,94	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)
Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-lt}	2382,96	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	4765,91	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-lt}	7148,87	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)

Coeficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,000
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	5147,90 kN.cm
M_B	9303,52 kN.cm
M_C	12357,78 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b	1,417
-------	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00
L_y	600 cm
N_{ey}	521,96 kN
M_e	121589,45 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	155,78 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,212	=>> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l	6526,59 kN.cm
-------	---------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,914	=>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	129,41 cm ³	

MRd	4117,61 kN.cm
------------	---------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)			
h	241,00	mm	(altura da parte plana da alma)
kv	5,0		
h/t	107,11		
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$	=	57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$	=	74,83	
VRd		38,89	kN

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nt,Sd	34,81	kN	Nt,Rd 651,78 kN
9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,05	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL			
AreaCx	20,48	cm ²	
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL			
fy	350,00	MPa	=>> 35,00 kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>> 50,00 kN/cm ²
9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO			
a) Para escoamento da seção bruta			
Nt,Rd		651,78	kN
b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)			
c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas) (soldas longitudinais associadas a soldas transversais)			

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	14201,54 kN.cm	MRd	4117,61 kN.cm
NSd	34,81 kN	(TRAÇÃO) NRd	651,78 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$			11,90
		⇓	
		⇓	
		⇓	
			Não passou (> 1,0)

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nc,Sd	0 kN	Nc,Rd	140,31 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nc,Sd/Nc,Rd	=	0,00	=> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	250,00 mm		
bf	85,00 mm		
D	25,00 mm		
tn	2,25 mm		
tr	0,00 mm		
t	2,25 mm		

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	20,48	cm ²
mCx	16,08	kg/m
IxCx	1947,19	cm ⁴
WxCx	155,78	cm ³
rxCx	9,75	cm
IyCx	951,94	cm ⁴
WyCx	111,99	cm ³
ryCx	6,82	cm
ItCx	1830,72	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	11,90	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	1067,67	kN
Ney	521,96	kN
Nez	99602,15	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	521,96	kN

Cálculo de χ

λ_0	1,172	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,563		

Determinação do KI para compressão centrada

bf nominal	85,00	mm
bw nominal	250,00	mm

D nominal	25,00 mm
η	0,34 ==> Ok!
D/bw	0,10 ==> Ok!
Kl	5,66
Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)	
NI	27,00 kN
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)	
λ_p	2,734 ==> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$
Aef(1)	4,27 cm ²
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)	
Aef	8,55 cm ²
Nc,Rd	140,31 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	14201,54 kN.cm	MRd	4117,61 kN.cm
NSd	0 kN	(COMPRESSÃO) NRd	140,31 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		11,90	
		 v v	
		Não passou (> 1,0)	

17.4 Anexo IV

Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE) – item 9.2

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)					
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.					
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO					
MSd	14201,54	kN.cm	MRd	14626,15	kN.cm
VSd	5,36	kN	VRd	120,52	kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO					
MSd/MRd	=	0,97	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
VSd/VRd	=	0,04	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais					
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,94	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA					
bw	375,00	mm			
bf	100,00	mm			
D	38,00	mm			
tn	3,75	mm			
tr	0,00	mm			
t	3,75	mm			
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL					
AreaCx	46,98	cm ²			
mCx	36,88	kg/m			
IxCx	9471,42	cm ⁴			
WxCx	505,14	cm ³			
rxCx	14,20	cm			
IyCx	3117,72	cm ⁴			
WyCx	311,77	cm ³			
ryCx	8,15	cm			
ItCx	6794,68	cm ⁴			
CwCx	0,00	cm ⁶			
r0	16,37	cm			

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL				
f_y	350,00	MPa	=>>	35,00 kN/cm ²
f_u	500,00	MPa	=>>	50,00 kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00 kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00 kN/cm ²
ν	0,30			
9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA				
bf nominal	100,00	mm		
bw nominal	375,00	mm		
D nominal	38,00	mm		
η	0,27		=>>	Ok!
μ	0,10		=>>	Ok!
Determinação do Kl para flexão em torno da maior inércia - Caso b				
a	30,66			
b	0			
Kl	30,66			
Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica				
Wc	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)	
MI	27995,96	kN.cm		
Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva				
λ_p	0,795		=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	459,68	cm ³		
MRd	14626,15	kN.cm		
9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO				
M_{max}	14201,54	kN.cm		
Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-nt}	2329,61	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	3666,96	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-nt}	3902,94	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)
Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-lt}	2382,96	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	4765,91	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-lt}	7148,87	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)

Coeficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,000
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	5147,90 kN.cm
M_B	9303,52 kN.cm
M_C	12357,78 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b	1,417
-------	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00
L_y	600 cm
N_{ey}	1709,48 kN
M_e	423918,38 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,204 =>>	Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l	27995,96 kN.cm
-------	----------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795 =>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	459,68 cm ³	

MRd	14626,15 kN.cm
------------	----------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)			
h	360,00	mm	(altura da parte plana da alma)
kv	5,0		
h/t	96,00		
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$	=	57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$	=	74,83	
VRd		120,52	kN

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nt,Sd	34,81	kN	Nt,Rd 1494,69 kN
9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,02	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL			
AreaCx	46,98	cm ²	
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL			
fy	350,00	MPa	=>> 35,00 kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>> 50,00 kN/cm ²
9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO			
a) Para escoamento da seção bruta			
Nt,Rd		1494,69	kN
b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)			
c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas) (soldas longitudinais associadas a soldas transversais)			

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	14201,54 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	34,81 kN	(TRAÇÃO) NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$			0,94
		∥ ∨ ∨	
			Ok! ($\leq 1,0$)

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nc,Sd	0 kN	Nc,Rd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nc,Sd/Nc,Rd	=	0,00	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00 mm		
bf	100,00 mm		
D	38,00 mm		
tn	3,75 mm		
tr	0,00 mm		
t	3,75 mm		

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	5193,28	kN
Ney	1709,48	kN
Nez	195227,23	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	1709,48	kN

Cálculo de χ

λ_0	0,981	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,669		

Determinação do KI para compressão centrada

bf nominal	100,00	mm
bw nominal	375,00	mm

D nominal	38,00 mm
η	0,27 =>> Ok!
D/bw	0,10 =>> Ok!
Kl	5,79
Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)	
NI	78,30 kN
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)	
λ_p	2,649 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$
Aef(1)	10,03 cm ²
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)	
Aef	20,06 cm ²
Nc,Rd	391,25 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	14201,54 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	0 kN	(COMPRESSÃO) NRd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,94	
		⇓	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE) – item 9.3

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)					
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.					
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO					
MSd	7423,29	kN.cm	MRd	14626,15	kN.cm
VSd	11,72	kN	VRd	120,52	kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO					
MSd/MRd	=	0,51	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
VSd/VRd	=	0,10	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais					
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,27	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA					
bw	375,00	mm			
bf	100,00	mm			
D	38,00	mm			
tn	3,75	mm			
tr	0,00	mm			
t	3,75	mm			
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL					
AreaCx	46,98	cm ²			
mCx	36,88	kg/m			
IxCx	9471,42	cm ⁴			
WxCx	505,14	cm ³			
rxCx	14,20	cm			
IyCx	3117,72	cm ⁴			
WyCx	311,77	cm ³			
ryCx	8,15	cm			
ItCx	6794,68	cm ⁴			
CwCx	0,00	cm ⁶			
r0	16,37	cm			

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL				
f_y	350,00	MPa	=>>	35,00 kN/cm ²
f_u	500,00	MPa	=>>	50,00 kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00 kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00 kN/cm ²
ν	0,30			
9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA				
bf nominal	100,00	mm		
bw nominal	375,00	mm		
D nominal	38,00	mm		
η	0,27		=>>	Ok!
μ	0,10		=>>	Ok!
Determinação do Kl para flexão em torno da maior inércia - Caso b				
a	30,66			
b	0			
Kl	30,66			
Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica				
Wc	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)	
MI	27995,96	kN.cm		
Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva				
λ_p	0,795		=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	459,68	cm ³		
MRd	14626,15	kN.cm		
9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO				
M_{max}	7423,29	kN.cm		
Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-nt}	2329,61	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	3666,96	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-nt}	3902,94	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)
Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-lt}	2382,96	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	4765,91	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-lt}	7148,87	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)

Coeficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,000
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M _A	5147,90 kN.cm
M _B	9303,52 kN.cm
M _C	12357,78 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C _b	0,857
----------------	-------

Cálculo de Me para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K _y	1,00
L _y	600 cm
N _{ey}	1709,48 kN
M _e	256261,36 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W _c	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,263 =>>	Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M _I	27995,96 kN.cm
----------------	----------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795 =>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
W _{c,ef}	459,68 cm ³	

MRd	14626,15 kN.cm
------------	----------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)			
h	360,00	mm	(altura da parte plana da alma)
kv	5,0		
h/t	96,00		
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$	=	57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$	=	74,83	
VRd		120,52	kN

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nt,Sd	0	kN	Nt,Rd 1494,69 kN
9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,00	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL			
AreaCx	46,98	cm ²	
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL			
fy	350,00	MPa	=>> 35,00 kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>> 50,00 kN/cm ²
9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO			
a) Para escoamento da seção bruta			
Nt,Rd		1494,69	kN
b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)			
c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas) (soldas longitudinais associadas a soldas transversais)			

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	7423,29 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	0 kN	(TRAÇÃO) NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$			0,26
		⇓	
		⇓	
		⇓	
			Ok! ($\leq 1,0$)

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nc,Sd	43,45 kN	Nc,Rd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nc,Sd/Nc,Rd	=	0,11	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00 mm		
bf	100,00 mm		
D	38,00 mm		
tn	3,75 mm		
tr	0,00 mm		
t	3,75 mm		

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	5193,28	kN
Ney	1709,48	kN
Nez	195227,23	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	1709,48	kN

Cálculo de χ

λ_0	0,981	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,669		

Determinação do KI para compressão centrada

bf nominal	100,00	mm
bw nominal	375,00	mm

D nominal	38,00 mm
η	0,27 =>> Ok!
D/bw	0,10 =>> Ok!
Kl	5,79
Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)	
NI	78,30 kN
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)	
λ_p	2,649 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$
Aef(1)	10,03 cm ²
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)	
Aef	20,06 cm ²
Nc,Rd	391,25 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	7423,29 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	43,45 kN	(COMPRESSÃO) NRd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,27	
		 v v	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

17.5 Anexo V

Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE) – item 11.2

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)					
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.					
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO					
MSd	14231,8	kN.cm	MRd	14626,15	kN.cm
VSd	30,92	kN	VRd	120,52	kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO					
MSd/MRd	=	0,97	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
VSd/VRd	=	0,26	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais					
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	1,01	=>>	Não passou ($> 1,0$)	
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA					
bw	375,00	mm			
bf	100,00	mm			
D	38,00	mm			
tn	3,75	mm			
tr	0,00	mm			
t	3,75	mm			
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL					
AreaCx	46,98	cm ²			
mCx	36,88	kg/m			
IxCx	9471,42	cm ⁴			
WxCx	505,14	cm ³			
rxCx	14,20	cm			
IyCx	3117,72	cm ⁴			
WyCx	311,77	cm ³			
ryCx	8,15	cm			
ItCx	6794,68	cm ⁴			
CwCx	0,00	cm ⁶			
r0	16,37	cm			

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL				
f_y	350,00	MPa	=>>	35,00 kN/cm ²
f_u	500,00	MPa	=>>	50,00 kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00 kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00 kN/cm ²
ν	0,30			
9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA				
bf nominal	100,00	mm		
bw nominal	375,00	mm		
D nominal	38,00	mm		
η	0,27		=>>	Ok!
μ	0,10		=>>	Ok!
Determinação do K_l para flexão em torno da maior inércia - Caso b				
a	30,66			
b	0			
K_l	30,66			
Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica				
W_c	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)	
MI	27995,96	kN.cm		
Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva				
λ_p	0,795		=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
W_{ef}	459,68	cm ³		
MRd	14626,15	kN.cm		
9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO				
M_{max}	14231,80	kN.cm		
Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-nt}	424,19	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	2792,22	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-nt}	4175,67	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)
Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-lt}	7488,11	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	5444,40	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-lt}	3400,69	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)

Coeficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,010
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	9284,49 kN.cm
M_B	9259,14 kN.cm
M_C	8239,36 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b	1,421
-------	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00
L_y	253,8 cm
N_{ey}	9553,98 kN
M_e	1004686,33 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,133 =>>	Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_I	27995,96 kN.cm
-------	----------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795 =>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	459,68 cm ³	

MRd	14626,15 kN.cm
------------	----------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM
DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h	360,00	mm		(altura da parte plana da alma)
kv	5,0			
h/t	96,00			
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$		=	57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$		=	74,83	
VRd			120,52	kN

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO

Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Nt,Sd	13,82	kN	Nt,Rd	1494,69	kN
-------	-------	----	-------	---------	----

9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,01	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
-------------	---	------	-----	--------------------

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
--------	-------	-----------------

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²

9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO

a) Para escoamento da seção bruta

Nt,Rd	1494,69	kN
--------------	---------	----

b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação

Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)

c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação

Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas)
(soldas longitudinais associadas a soldas transversais)

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	14231,8 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	13,82 kN	(TRAÇÃO) NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,95	
		⇓	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nc,Sd	0 kN	Nc,Rd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nc,Sd/Nc,Rd	=	0,00	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00 mm		
bf	100,00 mm		
D	38,00 mm		
tn	3,75 mm		
tr	0,00 mm		
t	3,75 mm		

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	5193,28	kN
Ney	1709,48	kN
Nez	195227,23	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	1709,48	kN

Cálculo de χ

λ_0	0,981	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,669		

Determinação do KI para compressão centrada

bf nominal	100,00	mm
bw nominal	375,00	mm

D nominal	38,00 mm
η	0,27 =>> Ok!
D/bw	0,10 =>> Ok!
Kl	5,79
Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)	
NI	78,30 kN
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)	
λ_p	2,649 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$
Aef(1)	10,03 cm ²
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)	
Aef	20,06 cm ²
Nc,Rd	391,25 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	14231,8 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	0 kN	(COMPRESSÃO) NRd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,95	
		 v v	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE) – item 11.3

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)				
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.				
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO				
MSd	7538,91	kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
VSd	40,29	kN	VRd	120,52 kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO				
MSd/MRd	=	0,52	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
VSd/VRd	=	0,33	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais				
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,38	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA				
bw	375,00	mm		
bf	100,00	mm		
D	38,00	mm		
tn	3,75	mm		
tr	0,00	mm		
t	3,75	mm		
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL				
AreaCx	46,98	cm ²		
mCx	36,88	kg/m		
IxCx	9471,42	cm ⁴		
WxCx	505,14	cm ³		
rxCx	14,20	cm		
IyCx	3117,72	cm ⁴		
WyCx	311,77	cm ³		
ryCx	8,15	cm		
ItCx	6794,68	cm ⁴		
CwCx	0,00	cm ⁶		
r0	16,37	cm		

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL				
f_y	350,00	MPa	=>>	35,00 kN/cm ²
f_u	500,00	MPa	=>>	50,00 kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00 kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00 kN/cm ²
ν	0,30			
9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA				
bf nominal	100,00	mm		
bw nominal	375,00	mm		
D nominal	38,00	mm		
η	0,27		=>>	Ok!
μ	0,10		=>>	Ok!
Determinação do Kl para flexão em torno da maior inércia - Caso b				
a	30,66			
b	0			
Kl	30,66			
Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica				
Wc	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)	
MI	27995,96	kN.cm		
Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva				
λ_p	0,795		=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
Wef	459,68	cm ³		
MRd	14626,15	kN.cm		
9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO				
M_{max}	7538,91	kN.cm		
Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-nt}	424,19	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	2792,22	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-nt}	4175,67	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)
Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-lt}	7488,11	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	5444,40	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-lt}	3400,69	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)

Coeficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,010
B2	1,183

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	9284,49 kN.cm
M_B	9259,14 kN.cm
M_C	8239,36 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b	0,869
-------	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00
L_y	253,8 cm
N_{ey}	9553,98 kN
M_e	614312,63 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,170	=>> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l	27995,96 kN.cm
-------	----------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795	=>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	459,68 cm ³	

MRd	14626,15 kN.cm
------------	----------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM
DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h	360,00	mm	(altura da parte plana da alma)
kv	5,0		
h/t	96,00		
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$	=	57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$	=	74,83	
VRd	120,52	kN	

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO

Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Nt,Sd	0	kN	Nt,Rd	1494,69	kN
-------	---	----	-------	---------	----

9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,00	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
-------------	---	------	-----	--------------------

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
--------	-------	-----------------

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²

9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO

a) Para escoamento da seção bruta

Nt,Rd	1494,69	kN
--------------	---------	----

b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação

Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)

c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação

Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas)
(soldas longitudinais associadas a soldas transversais)

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	7538,91 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	0 kN	(TRAÇÃO) NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,27	
		⇓	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nc,Sd	18,53 kN	Nc,Rd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nc,Sd/Nc,Rd	=	0,05	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00 mm		
bf	100,00 mm		
D	38,00 mm		
tn	3,75 mm		
tr	0,00 mm		
t	3,75 mm		

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	5193,28	kN
Ney	1709,48	kN
Nez	195227,23	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	1709,48	kN

Cálculo de χ

λ_0	0,981	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,669		

Determinação do KI para compressão centrada

bf nominal	100,00	mm
bw nominal	375,00	mm

D nominal	38,00 mm
η	0,27 =>> Ok!
D/bw	0,10 =>> Ok!
Kl	5,79
Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)	
NI	78,30 kN
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)	
λ_p	2,649 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$
Aef(1)	10,03 cm ²
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)	
Aef	20,06 cm ²
Nc,Rd	391,25 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	7538,91 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	18,53 kN	(COMPRESSÃO) NRd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,27	
		⇓	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

17.6 Anexo VI

Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE) – item 13.1

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)					
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.					
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO					
MSd	13832,59	kN.cm	MRd	14626,15	kN.cm
VSd	31,19	kN	VRd	120,52	kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO					
MSd/MRd	=	0,95	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
VSd/VRd	=	0,26	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais					
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,96	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)	
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA					
bw	375,00	mm			
bf	100,00	mm			
D	38,00	mm			
tn	3,75	mm			
tr	0,00	mm			
t	3,75	mm			
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL					
AreaCx	46,98	cm ²			
mCx	36,88	kg/m			
IxCx	9471,42	cm ⁴			
WxCx	505,14	cm ³			
rxCx	14,20	cm			
IyCx	3117,72	cm ⁴			
WyCx	311,77	cm ³			
ryCx	8,15	cm			
ItCx	6794,68	cm ⁴			
CwCx	0,00	cm ⁶			
r0	16,37	cm			

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL				
f_y	350,00	MPa	=>>	35,00 kN/cm ²
f_u	500,00	MPa	=>>	50,00 kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00 kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00 kN/cm ²
ν	0,30			
9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA				
bf nominal	100,00	mm		
bw nominal	375,00	mm		
D nominal	38,00	mm		
η	0,27		=>>	Ok!
μ	0,10		=>>	Ok!
Determinação do K_l para flexão em torno da maior inércia - Caso b				
a	30,66			
b	0			
K_l	30,66			
Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica				
W_c	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)	
MI	27995,96	kN.cm		
Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva				
λ_p	0,795		=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
W_{ef}	459,68	cm ³		
MRd	14626,15	kN.cm		
9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO				
M_{max}	13832,59	kN.cm		
Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-nt}	550,12	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	-1861,42	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-nt}	-3288,37	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)
Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-lt}	7254,94	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	5304,28	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-lt}	3253,63	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)

Coeficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,010
B2	1,046

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	8144,29	kN.cm
M_B	3668,24	kN.cm
M_C	82,04	kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b	2,339
-------	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00	
L_y	253,8	cm
N_{ey}	9553,98	kN
M_e	1653463,48	kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,103	=>>	Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000		

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l	27995,96	kN.cm
-------	----------	-------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795	=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	459,68	cm ³	

MRd	14626,15	kN.cm
------------	----------	-------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM
DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h	360,00	mm	(altura da parte plana da alma)
kv	5,0		
h/t	96,00		
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$	=	57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$	=	74,83	
VRd	120,52	kN	

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO

Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Nt,Sd	13,01	kN	Nt,Rd	1494,69	kN
-------	-------	----	-------	---------	----

9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,01	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
-------------	---	------	-----	--------------------

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
--------	-------	-----------------

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²

9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO

a) Para escoamento da seção bruta

Nt,Rd	1494,69	kN
--------------	---------	----

b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação

Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)

c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação

Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas)
(soldas longitudinais associadas a soldas transversais)

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	13832,59 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	13,01 kN	(TRAÇÃO) NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$			0,89
		⇓	
		⇓	
			Ok! ($\leq 1,0$)

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nc,Sd	0 kN	Nc,Rd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nc,Sd/Nc,Rd	=	0,00	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00	mm	
bf	100,00	mm	
D	38,00	mm	
tn	3,75	mm	
tr	0,00	mm	
t	3,75	mm	

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	5193,28	kN
Ney	1709,48	kN
Nez	195227,23	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	1709,48	kN

Cálculo de χ

λ_0	0,981	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,669		

Determinação do KI para compressão centrada

bf nominal	100,00	mm
bw nominal	375,00	mm

D nominal	38,00 mm
η	0,27 =>> Ok!
D/bw	0,10 =>> Ok!
Kl	5,79
Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)	
NI	78,30 kN
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)	
λ_p	2,649 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$
Aef(1)	10,03 cm ²
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)	
Aef	20,06 cm ²
Nc,Rd	391,25 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	13832,59 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	0 kN	(COMPRESSÃO) NRd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,89	
		⇓	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

Verificação da Barra - Flexão Simples com Tração (MSE) – item 13.2

9.8) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES (MSE)				
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.				
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO				
MSd	8239,25	kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
VSd	13,59	kN	VRd	120,52 kN
9.8.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO				
MSd/MRd	=	0,56	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
VSd/VRd	=	0,11	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
Verificação combinada para barras sem enrijecedores transversais				
$(MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2$	=	0,33	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA				
bw	375,00	mm		
bf	100,00	mm		
D	38,00	mm		
tn	3,75	mm		
tr	0,00	mm		
t	3,75	mm		
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL				
AreaCx	46,98	cm ²		
mCx	36,88	kg/m		
IxCx	9471,42	cm ⁴		
WxCx	505,14	cm ³		
rxCx	14,20	cm		
IyCx	3117,72	cm ⁴		
WyCx	311,77	cm ³		
ryCx	8,15	cm		
ItCx	6794,68	cm ⁴		
CwCx	0,00	cm ⁶		
r0	16,37	cm		

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL				
f_y	350,00	MPa	=>>	35,00 kN/cm ²
f_u	500,00	MPa	=>>	50,00 kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00 kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00 kN/cm ²
ν	0,30			
9.8.2.1) MRd :: INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA				
bf nominal	100,00	mm		
bw nominal	375,00	mm		
D nominal	38,00	mm		
η	0,27		=>>	Ok!
μ	0,10		=>>	Ok!
Determinação do K_I para flexão em torno da maior inércia - Caso b				
a	30,66			
b	0			
K_I	30,66			
Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica				
W_c	505,14	cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)	
MI	27995,96	kN.cm		
Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva				
λ_p	0,795		=>>	Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
W_{ef}	459,68	cm ³		
MRd	14626,15	kN.cm		
9.8.2.2) MRd :: FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO				
M_{max}	8239,25	kN.cm		
Estrutura nt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-nt}	5491,43	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-nt}	3660,94	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-nt}	1830,48	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)
Estrutura lt - Momentos (em módulo) no trecho analisado				
M_{A-lt}	624,74	kN.cm		(1o. Quarto do trecho)
M_{B-lt}	416,49	kN.cm		(Centro do trecho)
M_{C-lt}	208,25	kN.cm		(3o. Quarto do trecho)

Coeficientes B1 e B2 da análise estrutural - Método MAES

B1	1,010
B2	1,101

Cálculo dos Momentos em módulo: 1o. quanto, centro e 3o. quarto

M_A	6234,18 kN.cm
M_B	4156,10 kN.cm
M_C	2078,07 kN.cm

Fator de modificação para momento fletor não uniforme

C_b	1,657
-------	-------

Cálculo de M_e para Barras de Seção Fechada, com flexão em torno de X-X

K_y	1,00
L_y	600 cm
N_{ey}	1709,48 kN
M_e	495511,76 kN.cm

Cálculo de χ_{FLT}

W_c	505,14 cm ³	(p/ flexão em torno do eixo X-X)
λ_0	0,189	=>> Não terá FLT: $\lambda_0 \leq 0,6$
χ_{FLT}	1,000	

Cálculo do Momento fletor de flambagem local elástica

M_l	27995,96 kN.cm
-------	----------------

Cálculo do módulo de resistência elástico da seção efetiva - fibra comprimida

λ_p	0,795	=>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,673$
$W_{c,ef}$	459,68 cm ³	

MRd	14626,15 kN.cm
------------	----------------

9.8.2.3) MRd :: FLAMBAGEM
DISTORCIONAL

Verificação desnecessária para Barras de Seção Fechada

9.8.3) VRd :: FORÇA CORTANTE (SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS)

h	360,00	mm	(altura da parte plana da alma)
kv	5,0		
h/t	96,00		
$1,08(E*kv/fy)^{0,5}$	=	57,73	
$1,4(E*kv/fy)^{0,5}$	=	74,83	
VRd	120,52	kN	

9.6) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO

Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.

ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Nt,Sd	0	kN	Nt,Rd	1494,69	kN
-------	---	----	-------	---------	----

9.6.1) VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

Nt,Sd/Nt,Rd	=	0,00	=>>	Ok! ($\leq 1,0$)
-------------	---	------	-----	--------------------

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
--------	-------	-----------------

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²

9.6.2) Nt,Rd :: FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO RESISTENTE DE CÁLCULO

a) Para escoamento da seção bruta

Nt,Rd	1494,69	kN
--------------	---------	----

b) Para ruptura na seção líquida for a da região da ligação

Não aplicável (considerado que não existem furos ou recortes na barra)

c) Para ruptura da seção líquida na região da ligação

Não aplicável (considerado que todas as ligações serão soldadas)
(soldas longitudinais associadas a soldas transversais)

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	8239,25 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	0 kN	(TRAÇÃO) NRd	1494,69 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,32	
		⇓	
		Ok! ($\leq 1,0$)	

9.7) VERIF. DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO (MSE)			
Para a correta verificação todos os campos destacados de amarelo deverão ser devidamente preenchidos.			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO			
Nc,Sd	43,02 kN	Nc,Rd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS CONDIÇÕES NO DIMENSIONAMENTO			
Nc,Sd/Nc,Rd	=	0,11	=>> Ok! ($\leq 1,0$)
DIMENSÕES DO PERFIL Ue QUE COMPÕE O PERFIL CAIXA			
bw	375,00 mm		
bf	100,00 mm		
D	38,00 mm		
tn	3,75 mm		
tr	0,00 mm		
t	3,75 mm		

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO PERFIL

AreaCx	46,98	cm ²
mCx	36,88	kg/m
IxCx	9471,42	cm ⁴
WxCx	505,14	cm ³
rxCx	14,20	cm
IyCx	3117,72	cm ⁴
WyCx	311,77	cm ³
ryCx	8,15	cm
ItCx	6794,68	cm ⁴
CwCx	0,00	cm ⁶
r0	16,37	cm

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DO PERFIL

fy	350,00	MPa	=>>	35,00	kN/cm ²
fu	500,00	MPa	=>>	50,00	kN/cm ²
E	200000,00	MPa	=>>	20000,00	kN/cm ²
G	77000,00	MPa	=>>	7700,00	kN/cm ²
v	0,30				

9.7.2) Nc,Rd :: FLAMBAGEM GLOBAL (FLEXÃO, TORÇÃO OU FLEXO-TORÇÃO)

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (Perfis com dupla simetria)

Kx	1,00
Lx	600 cm
Ky	1,00
Ly	600 cm
Kz	1,00
Lz	600 cm

Nex	5193,28	kN
Ney	1709,48	kN
Nez	195227,23	kN
Portanto Ne=min(Nex, Ney, Nez)		
Ne	1709,48	kN

Cálculo de χ

λ_0	0,981	=>>	$\lambda_0 \leq 1,5$
χ	0,669		

Determinação do KI para compressão centrada

bf nominal	100,00	mm
bw nominal	375,00	mm

D nominal	38,00 mm
η	0,27 =>> Ok!
D/bw	0,10 =>> Ok!
Kl	5,79
Cálculo da Força Axial de flambagem local elástica (Para 1 perfil)	
NI	78,30 kN
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para 1 perfil)	
λ_p	2,649 =>> Terá flambagem local: $\lambda_p > 0,776$
Aef(1)	10,03 cm ²
Cálculo da área efetiva da seção transversal (Para perfil composto)	
Aef	20,06 cm ²
Nc,Rd	391,25 kN

9.9) VERIFICAÇÃO DE PERFIS CAIXA SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA (MSE)			
ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO :: RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO (já calculadas)			
MSd	8239,25 kN.cm	MRd	14626,15 kN.cm
NSd	43,02 kN	(COMPRESSÃO) NRd	391,25 kN
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO À EXPRESSÃO DE INTERAÇÃO			
$(NSd/NRd)^2 + (Mx,Sd/Mx,Rd)^2 + (My,Sd/My,Rd)^2$		0,33	
		 v v	
		Ok! ($\leq 1,0$)	