

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO		
		Rev.: 00	Data: 28/01/17	
		Página 1 of 92		

INSTITUTO IDD

PÓS-GRADUAÇÃO ESTRUTURAS METÁLICAS

MEMORIAL DE CÁLCULO EDIFÍCIO INDUSTRIAL EM AÇO

ALUNOS: Thiago Siqueira Marinho
Renato Moecke

Data	Revisão	Descrição	Elaboração	Verificação	Aprovação

 GRUPO Idd CONSTRUINDO CONHECIMENTO	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 2 of 92	

ÍNDICE

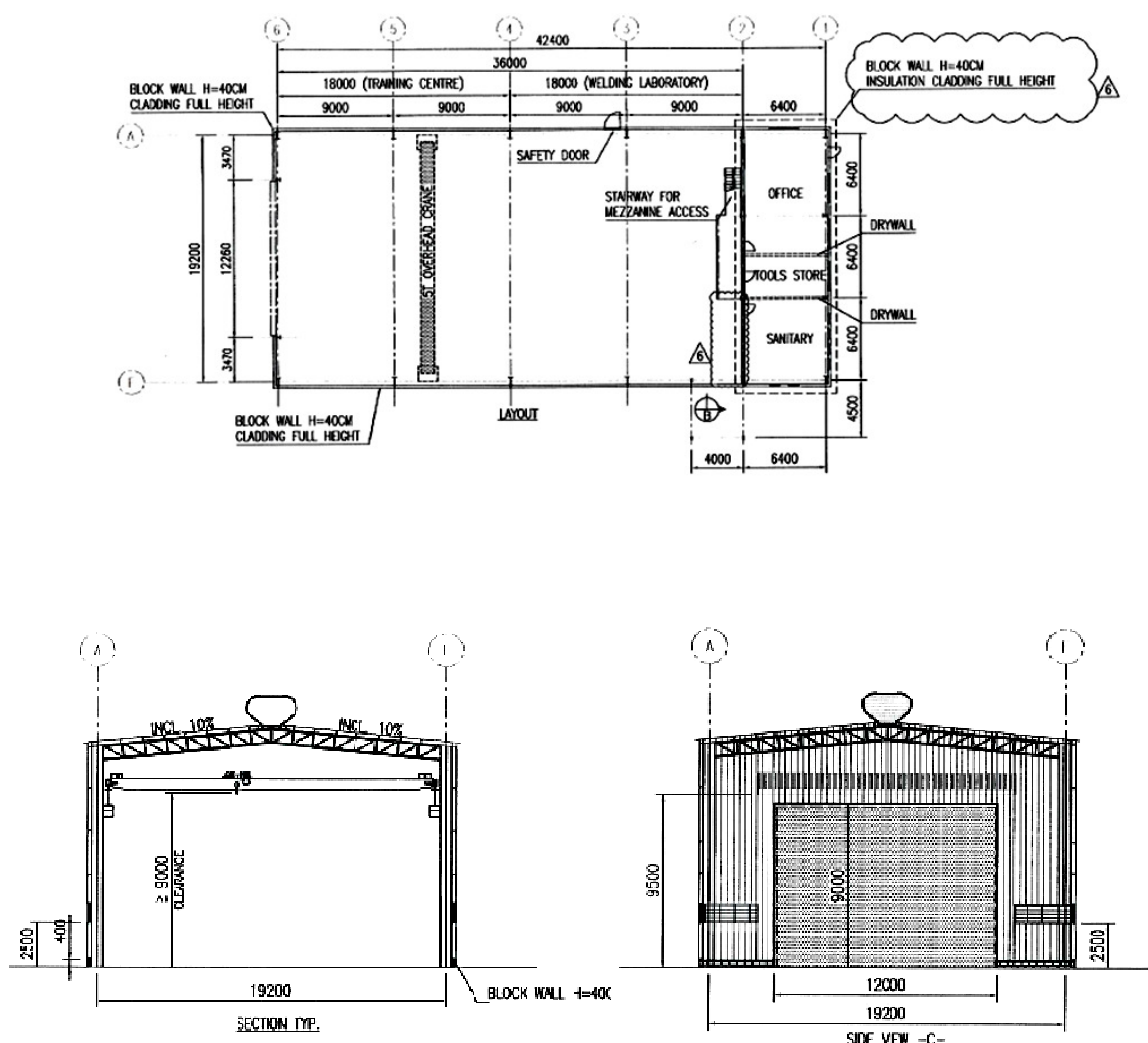
<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</u>	<u>3</u>
<u>3</u>	<u>MATERIAIS UTILIZADOS</u>	<u>4</u>
<u>4</u>	<u>DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA</u>	<u>4</u>
<u>5</u>	<u>CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES DE AÇÕES</u>	<u>6</u>
<u>6</u>	<u>ANÁLISE ESTRUTURAL</u>	<u>19</u>
<u>7</u>	<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	<u>91</u>

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS		PROJETO FINAL DE CURSO	
	TURMA 2015-2016		Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Memorial de Cálculo		Página 3 of 92	

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O presente trabalho apresenta as premissas de projeto, as considerações seguidas, as análises de alguns elementos da estrutura passo a passo, os resultados obtidos e as conclusões, sobre o desenvolvimento. Para a estrutura metálica do edifício industrial do Laboratório de Soldagem da empresa Saipen do Brasil, localizado em terreno plano ou fracamente acidentado, em região com edificações baixas e esparsas.

O galpão desenvolvido seguirá as medidas iniciais do projeto arquitetônico que apresentam medidas padrões com largura de 19,20m, comprimento de 36,00m e altura livre embaixo da ponte rolante maior que 9,00m, conforme figura a seguir.



	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 4 of 92			

2 NORMAS UTILIZADAS

As Normas, publicações, recomendações e literaturas adotadas no projeto serão as seguintes:

- NBR 06123 - 1988 - Forças devidas ao vento em edificações; Para a determinação dos parâmetros de vento (V0, S1, S2, S3).
- NBR 8800 - 2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; Para o desenvolvimento dos cálculos estruturas com a obtenção dos coeficientes a serem seguidos e suas combinações de cargas.
- NBR 6120 - 1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações; Para escolha das cargas a serem utilizadas na estrutura, salvo as solicitadas pelo cliente.
- AISE Technical Report 13 - Guide for the Design and Construction of Mill Buildings:
- Edifícios Industriais em Aço, Projeto e Cálculo, Ildony H. Belei, 6ª Edição de 2010, Editora Pini; Para cálculo de determinação das cargas devido a ponte rolante.
- NBR 14762 - 2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio; Para cálculo e determinação dos perfis, através do programa de cálculo.
- Estruturas de Aço, Dimensionamento Prático de acordo com a Norma 8800:2008, Walter Pfeil e Michele Pfeil, 8ª Edição de 2009; Material de apoio para consulta.
- Guia de Especificações Perfilor, Arcelor Mittal, Telhas Metálicas, 3ª Edição de setembro de 2007; Material de apoio para consulta.

Catálogo comercial sistema de ventilação, venezianas industriais IVI; Material de apoio para determinação das características do projeto.

3 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a evolução dos cálculos adotados nesse projeto, foram definidos os seguintes materiais e seus respectivos limites de escoamento e ruptura:

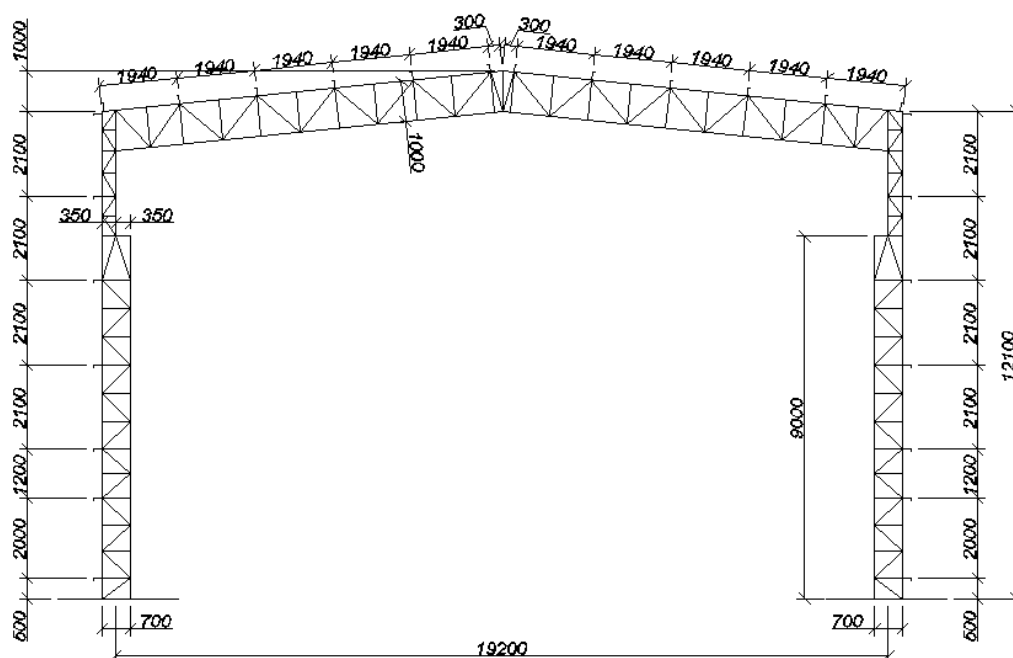
- Perfis dobrados em aço ASTM A36, $f_y=250\text{MPa}$, $f_u=400\text{MPa}$;
- Chumbadores em SAE 1020, $f_y=210\text{MPa}$, $f_u=380\text{MPa}$;
- Eletrodos AWS70XX, 70Ksi ($f_u=485\text{MPa}$);

Toda a estrutura foi conceituada na utilização de perfis dobrados para as colunas treliçadas e para o pórtico treliçado da cobertura, em ambos os casos utilizou-se os perfis dobrados em “U” para os banzos, montantes e diagonais

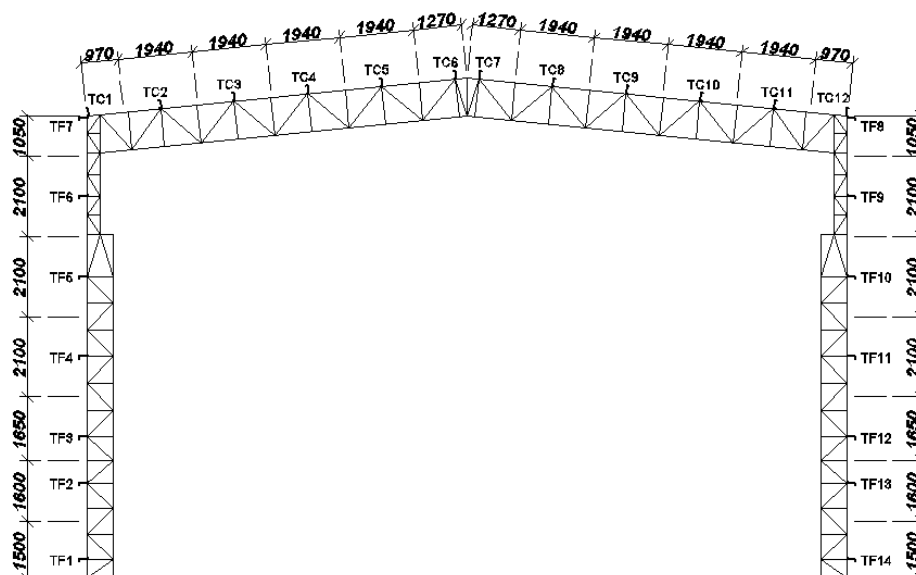
4 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

Nosso modelo de galpão será composto por colunas e pórticos treliçados utilizando perfis dobrados em “U”.

Será composto por cinco pórticos com largura de 19,90 metros, com altura de 12,10 metros e estarão espaçados entre si por vãos iguais a 9,00 metros de distância entre eles, resultando num comprimento total de 36,00 metros, como demonstrado nos desenhos a seguir.



Corte esquemático do pórtico com dimensões e posicionamento das terças considerado.



Corte esquemático do pórtico nomeando as terças e suas áreas de influencia de carga considerado

O desenvolvimento do modelo matemático teve início com a utilização de perfis dobrados em “U” para ser utilizados como banzos, montantes e diagonais das treliças, tanto para as colunas quanto para o pórtico, no decorrer dos cálculos determinamos em mudar os perfis para os montantes e as diagonais para dois perfis também dobrados em “U” porém um de frente para o outro separados por presilhas interligando eles a cada 300mm, uma solução que diminuiu o peso desses elementos, com isso partimos para os cálculos utilizando os banzos com perfis “U” com 200mm de altura e abas de 100mm, já para as diagonais e montantes utilizamos perfis “U” com

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 6 of 92			

100mm de altura e aba de 50mm espaçados a 100mm um do outro para serem instalados por dentro das abas dos banzos. Com o decorrer dos cálculos esses perfis foram alterando suas dimensões e suas espessuras, sempre mantendo a altura dos banzos em 200mm e a distancia entre os perfis dos montantes e diagonais de modo a ser montado dentro dos banzos.

5 CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES DE AÇÕES

5.1 Cargas e Premissas de Projeto

Como cargas permanentes, teremos o seguinte:

- Peso próprio da estrutura.
- Peso das telhas para cobertura, considerado um peso de 7,00kg/m² sendo para uma telha modelo TPR40 com espessura de 0,80mm.
- Peso para terças, tirantes e contra-ventamentos, considerado em 5,00kg/m²
- Peso das telhas para fechamentos, considerado um peso de 7,00kg/m² sendo para uma telha modelo TPR33 com espessura de 0,80mm.
- Peso para terças, tirantes, colunas de fechamento e contra-ventamentos, considerado em 8,00kg/m².
- Lanternim modelo IVI-600 (ALA), com peso considerado de 35,00kg/m linear.
- Laje mista de 15,00cm com Steel Deck da Perfilor forma 59 espessura de 0,80mm, considerado 295,00kg/m² - para conjunto pronto.
- Escada metálica convencional para subir uma altura de 3,00 metros, considerado um peso próprio de 1.200,00kg.
- Revestimento do piso mais contra piso de regularização, considerado 150,00kg/m².
- Parede em alvenaria para área do laboratório considerado uma parede de 15,00cm e peso específico de 1.400,00kg/m³.
- Viga para ponte rolante, considerada em 120,00kg/m linear.
- Veneziana modelo IVI-VA-100 com peso considerado de 6,00kg/m² permeabilidade de 0,50m²/m linear.
- Corrimão para escada, passarela e mezanino, considerado em 30,00kg/m linear.

Como Sobrecarga, teremos o seguinte:

- Sobrecarga na cobertura, solicitado pelo cliente em 100,00kg/m².
- Sobrecarga no mezanino, solicitado pelo cliente em 1.000,00kg/m².
- Sobrecarga para escada, considerado 300,00kg/m².

Como cargas permanentes e sobrecargas devido a Ponte Rolante, teremos o seguinte:

Para a ponte rolante obtivemos algumas cargas que são fornecidas pelo fabricante da ponte rolante, outras cargas foram calculadas simulando as posições e as distribuições de carga devido às posições de içamento das cargas e deslocamento das mesmas. Segue uma tabela com os valores fornecidos e os calculados.

CARGAS DA PONTE ROLANTE	(Kg/m ² , kg/m.l)
1º Cd CARGA MORTA	4.207,00

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 7 of 92	

2º C máxima/roda	3.500,00
3º C mínimo/roda	1.103,50
4º CAPACIDADE DE CARGA DA PONTE	5.000,00
5º Ci = 25% C máx./roda	875,00
6º Css = 40% Capacidade de carga da ponte	2.000,00
7º Cls = 20% C máx./roda	700,00
8º IMPACTO NO BATENTE	2.100,00

Posteriormente será demonstrado como foram obtidos esses valores, seguindo as considerações da Tabela 3.2 da norma da AISE 13.

5.2 Determinação das Cargas devido ao Vento

Para a determinação das cargas de vento, seguimos as considerações impostas pela norma NBR-6123, obtendo os fatores de correção de vento, os coeficientes de pressão, as considerações devido as dimensões da estrutura e suas aberturas para entrada e saída de vento.

Para a correção do vento foi calculado mais de um vento característico devido as dimensões do Galpão, pois o fator S2 varia tanto na classe quanto na altura do galpão. Essa correção do vento se dá pela formula ($V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$), sendo considerados os seguintes valores para cada um deles o seguinte:

$V_0 = 38,00\text{m/s}$ – (fornecido pelo cliente); $S_1=1,00$ – (Fator topográfico – Terreno plano ou pouco acidentado); S_2 , para a fachada dos oitões com Classe A (dimensão maior não excede 20m), para a fachada das laterais Classe B (dimensão maior entre 20 e 50m) e categoria III para toda a estrutura (Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas) para os valores de S_2 foi considerado os valores obtido pela (Tabela 2 – S_2 , da norma); $S_3=1,00$ (Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação).

Altura do Galpão	Fator S2		Vk		q=0,0613VK ² (kg/m ²)	
	A, III	B, III	A, III	B, III	A, III	B, III
0 < 5	0,88	0,86	33,44	32,68	68,55	65,47
5 < 10	0,94	0,92	35,72	34,96	78,21	74,92
10 < 15	0,98	0,96	37,24	36,48	85,01	81,58

Para a determinação da pressão dinâmica do vento utilizou-se a formula ($q=0,0613V_k^2$; sendo q em kg/m² e V_k em m/s).

Para determinação dos coeficientes de pressão externos e internos, nos fechamentos e na cobertura, utilizamos as considerações do item 6 da norma de vento, determinando os

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 8 of 92	

coeficientes externos e internos, levando em consideração as aberturas de permeabilidade, e com o auxílio das tabelas 4 e 5 da norma.

Como parâmetros de entrada de dados, consideramos os seguintes dados:

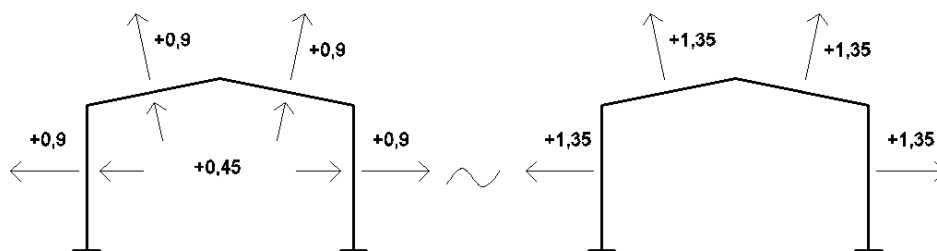
- Medidas do galpão: $a=36,00\text{m}$; $b=19,80\text{m}$; $h=12,00\text{m}$
- Relação $h/b=12/19,8=0,606$ – $1/2 < h/b < 2/3$
- Relação $a/b=36/19,8=1,818$ – interpolar valores quando $2/3 < a/b < 2$

- Área de abertura dominante = área do portão $9 \times 12 = 108,00\text{m}^2$, dominante pois é a área maior se somarmos todas as outras aberturas das outras fachadas, conforme item 6.2.4 da norma NBR 6123.

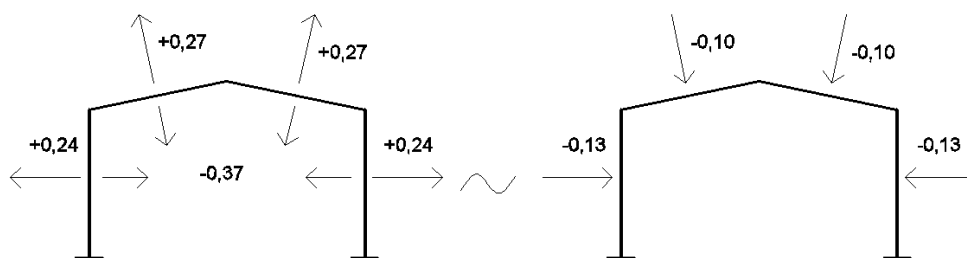
- Área de aberturas secundárias = áreas permeáveis das venezianas + lanternim + porta lateral, num valor total de $57,60\text{m}^2$

- Relação $A_{ad}/A_{as} = 108/57,6 = 1,88$ – interpolando os valores do item 6.2.5 c, da norma obtivemos um C_{pi} de $+0,45$, para o vento V_0 com abertura dominante na parede de barlavento.

- Para o vento V_{180} esse coeficiente será o mesmo do coeficiente externo nessa face para quando a abertura predominante se localiza na parede de sotavento nesse caso com $C_{pi} = C_{pe} = -0,37$, item 6.2.5 letra “c” da NBR 6123, utilizando a tabela 4 – Coeficientes de pressão e de forma, externos para paredes de edificações de planta retangular.

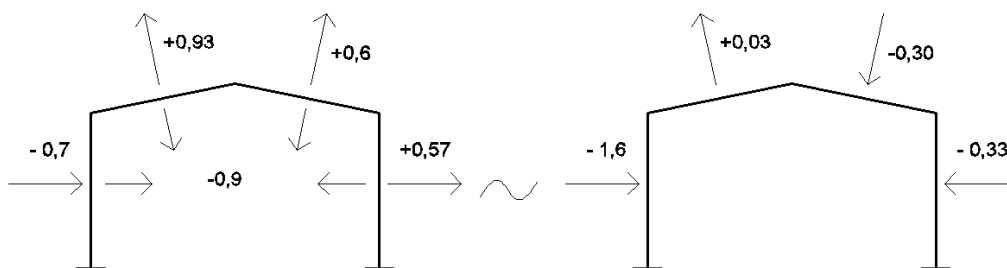


V0 com C_{pi} positivo e maior sucção



V180 com C_{pi} negativo e maior sobrepressão

- Para os ventos V_{90} e V_{270} os coeficientes foram os mesmos devido a geometria do galpão e o fato de a área de abertura predominante estar situada paralela à direção do vento, resultando em um único coeficiente de pressão interna que será o mesmo valor do coeficiente externo na face onde se encontra a abertura predominante.



V90 e V270 com Cpi negativo e maior sobrepressão

Para a determinação das forças nas terças de fechamento e de cobertura utilizaremos as fórmulas, levando em consideração as cargas específicas de acordo com o vento a ser considerado, a faixa de altura atuante e as áreas de influência para cada terça, para isso construímos uma tabela com os seguintes valores.

	V0º					V180º				
	"q" (t/m²)	ce	ci	ce + ci	q*(ce+ci)	"q" (t/m²)	ce	ci	ce + ci	q*(ce+ci)
CARGA DE VENTO FECHAMENTO BARLAVENTO: 0 < h < 5	0,069	0,900	0,450	1,350	0,089	0,069	0,240	- 0,370	- 0,130	- 0,009
CARGA DE VENTO FECHAMENTO BARLAVENTO: 5 < h < 10	0,078	0,900	0,450	1,350	0,101	0,078	0,240	- 0,370	- 0,130	- 0,010
CARGA DE VENTO FECHAMENTO BARLAVENTO: 10 < h < 15	0,085	0,900	0,450	1,350	0,110	0,085	0,240	- 0,370	- 0,130	- 0,011
CARGA DE VENTO FECHAMENTO SOTAVENTO: 0 < h < 5	0,069	0,900	0,450	1,350	0,089	0,069	0,240	- 0,370	- 0,130	- 0,009
CARGA DE VENTO FECHAMENTO SOTAVENTO: 5 < h < 10	0,078	0,900	0,450	1,350	0,101	0,078	0,240	- 0,370	- 0,130	- 0,010
CARGA DE VENTO FECHAMENTO SOTAVENTO: 10 < h < 15	0,085	0,900	0,450	1,350	0,110	0,085	0,240	- 0,370	- 0,130	- 0,011
CARGA DE VENTO COBERTURA BARLAVENTO: 10 < h < 15	0,085	0,900	0,450	1,350	0,110	0,085	0,270	- 0,370	- 0,100	- 0,008
CARGA DE VENTO COBERTURA SOTAVENTO: 10 < h < 15	0,085	0,900	0,450	1,350	0,110	0,085	0,270	- 0,370	- 0,100	- 0,008

	V90º				
	"q" (t/m²)	ce	ci	ce + ci	q*(ce+ci)
CARGA DE VENTO FECHAMENTO BARLAVENTO: 0 < h < 5	0,065	0,700	0,900	1,600	- 0,105
CARGA DE VENTO FECHAMENTO BARLAVENTO: 5 < h < 10	0,075	0,700	0,900	1,600	- 0,120
CARGA DE VENTO FECHAMENTO BARLAVENTO: 10 < h < 15	0,082	0,700	0,900	1,600	- 0,131
CARGA DE VENTO FECHAMENTO SOTAVENTO: 0 < h < 5	0,065	0,570	0,900	0,330	- 0,022
CARGA DE VENTO FECHAMENTO SOTAVENTO: 5 < h < 10	0,075	0,570	0,900	0,330	- 0,025
CARGA DE VENTO FECHAMENTO SOTAVENTO: 10 < h < 15	0,082	0,570	0,900	0,330	- 0,027
CARGA DE VENTO COBERTURA BARLAVENTO: 10 < h < 15	0,082	0,930	0,900	0,030	0,002
CARGA DE VENTO COBERTURA SOTAVENTO: 10 < h < 15	0,082	0,600	0,900	0,300	- 0,024

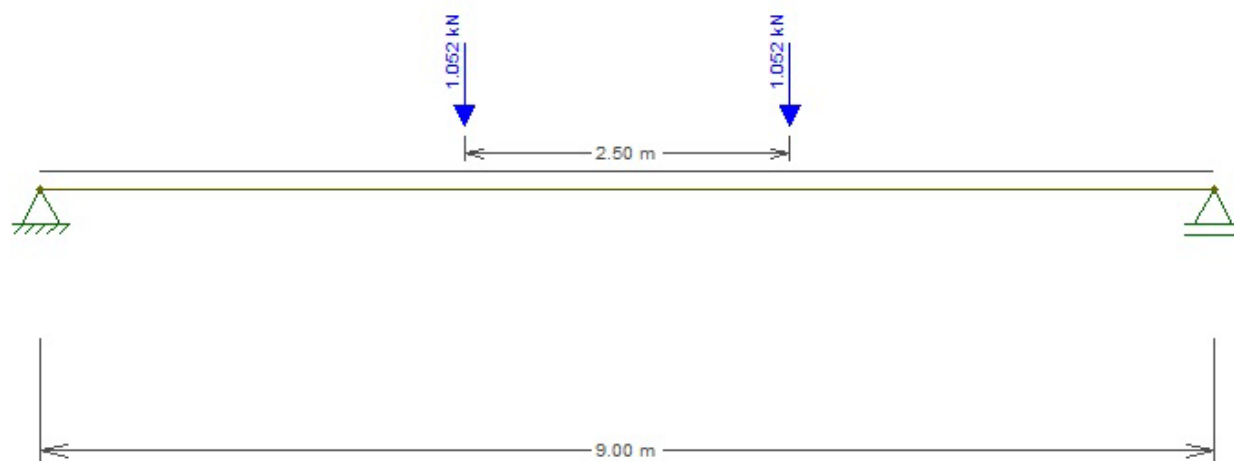
	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 10 of 92	

Com esse valores para $(q^*(ce+ci))$, multiplicamos pela área de influência para cada terça e obtivemos as forças em cada nó de terça, tanto para a cobertura quanto para os fechamentos.

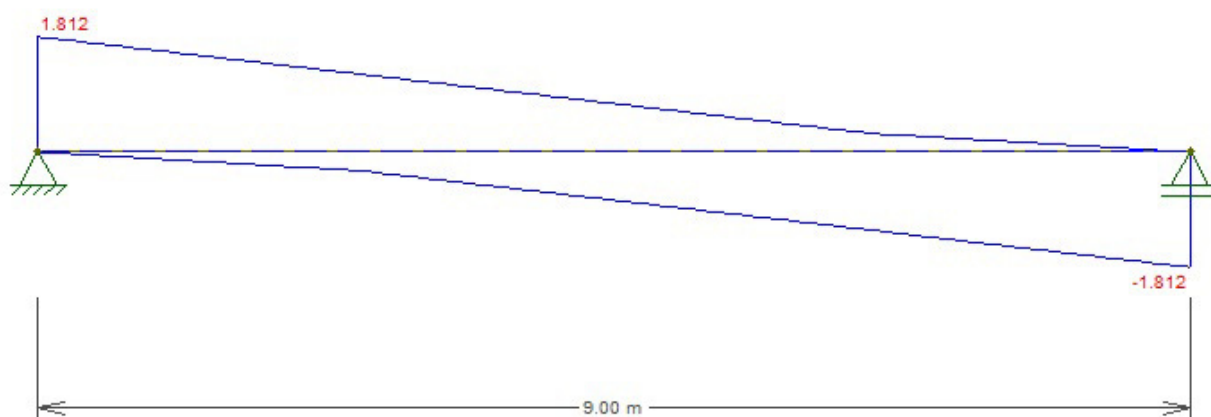
Para as demais cargas permanentes e sobrecargas, retiradas pela norma, pelos catálogos dos fornecedores nos casos do lanternim, telhas e veneziana, e para as sobrecargas, foram calculado as áreas de influência para cada esforço e lançado para cada nó de terça.

Para as cargas devido às forças da Ponte rolante, foram determinadas pela forma das áreas de influencia as cargas que vão para os consoles e lançadas no modelo de calculo, sendo uma hipótese com o trole hora próximo a coluna da direita, hora próximo da coluna da esquerda.

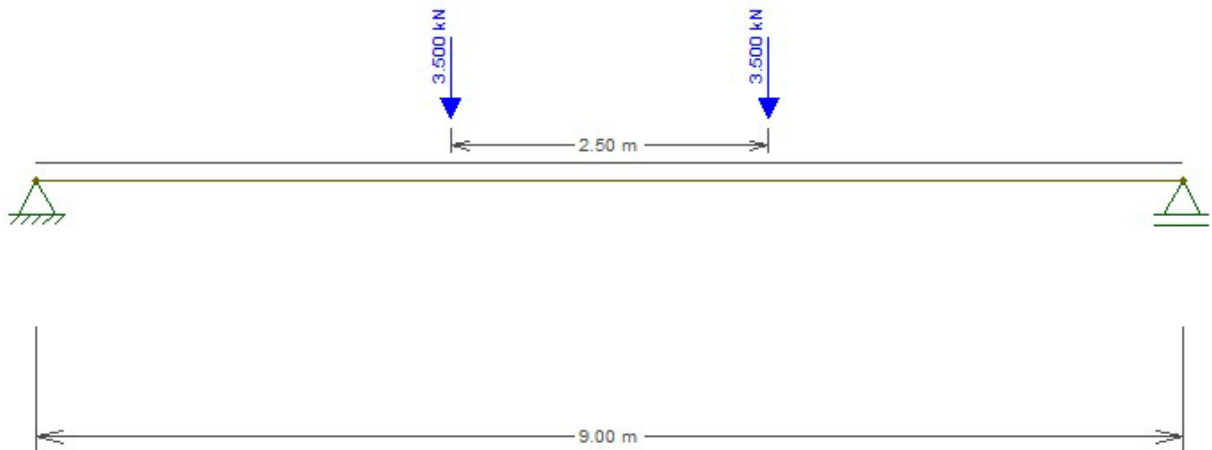
Determinação das cargas devido a ponte rolante, Analises:



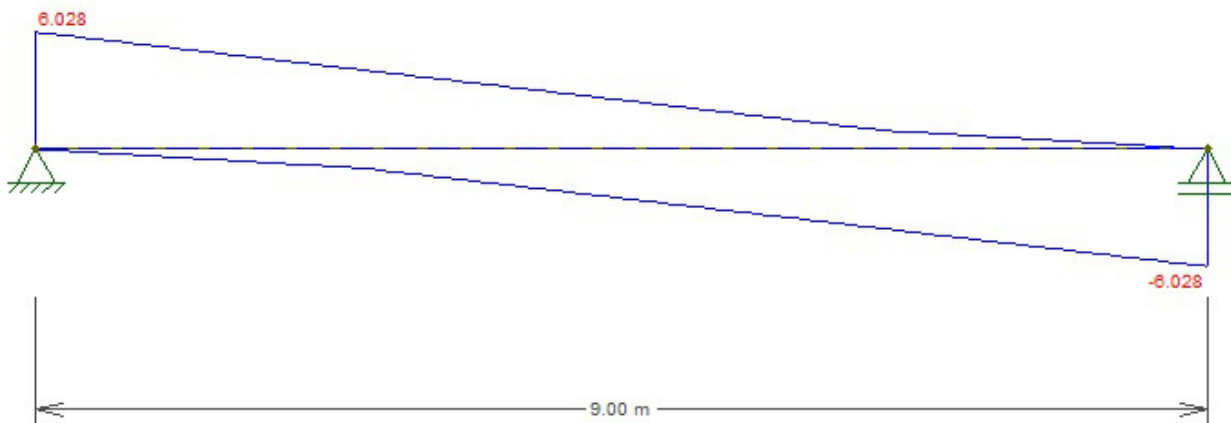
Trem-tipo da CD- Crane Dead Load



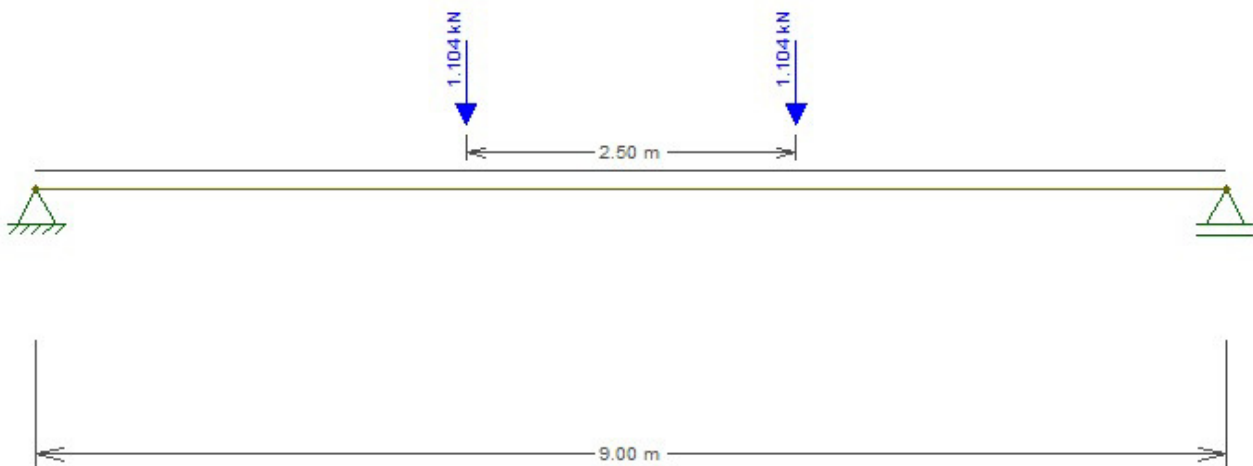
Linha de Influência – CD – Crane Dead Load



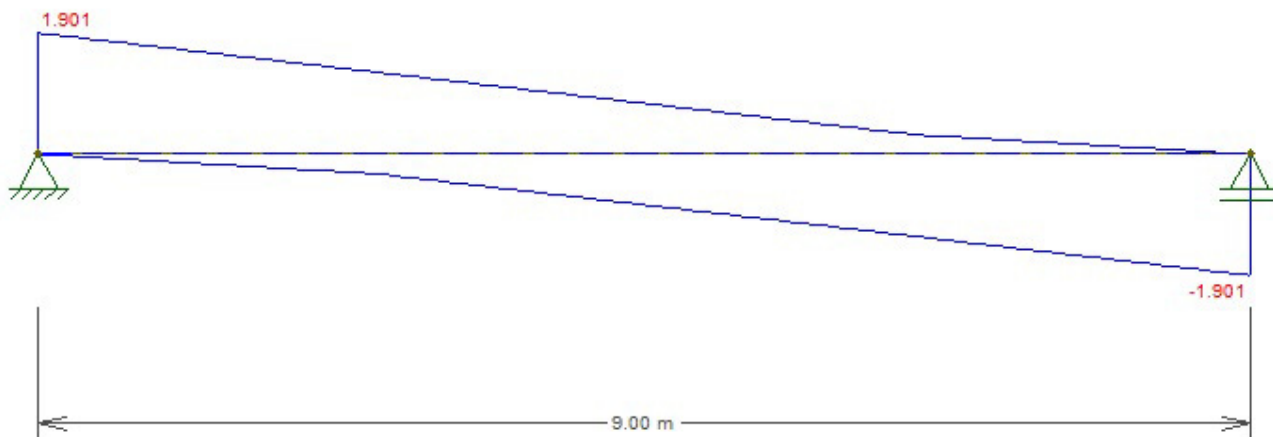
Trem-tipo - LE- CVS – Vertical Load



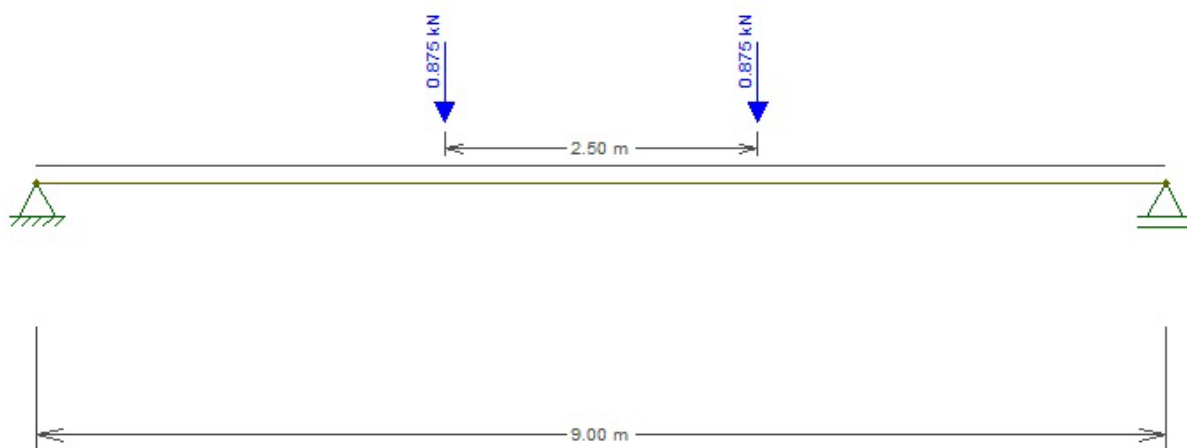
Linha de Influência - LE- CVS – Vertical Load



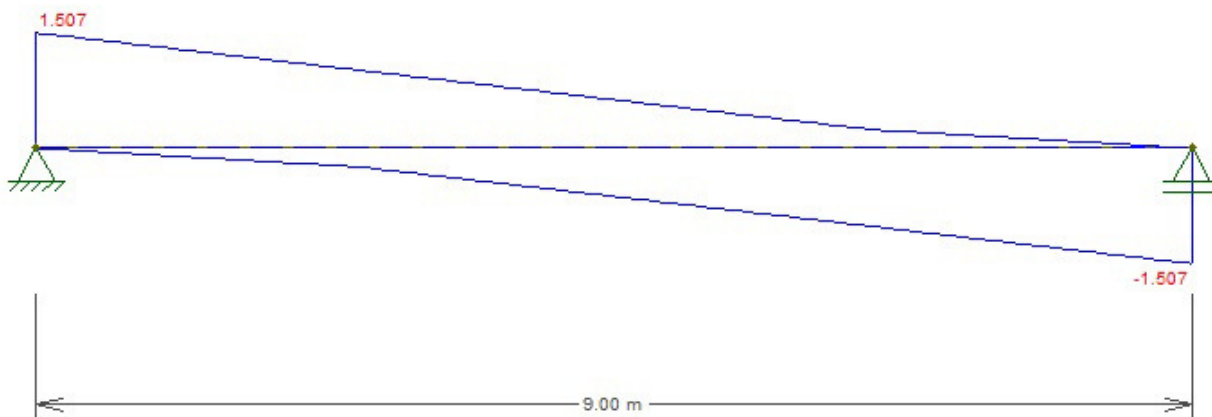
Trem-tipo - LD- CVS – Vertical Load



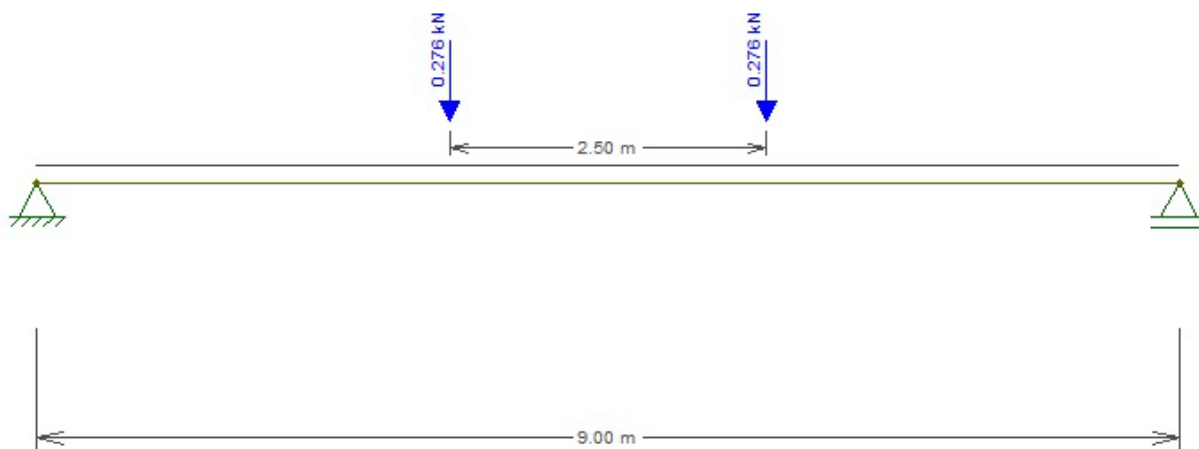
Linha de Influência - LD- CVS – Vertical Load



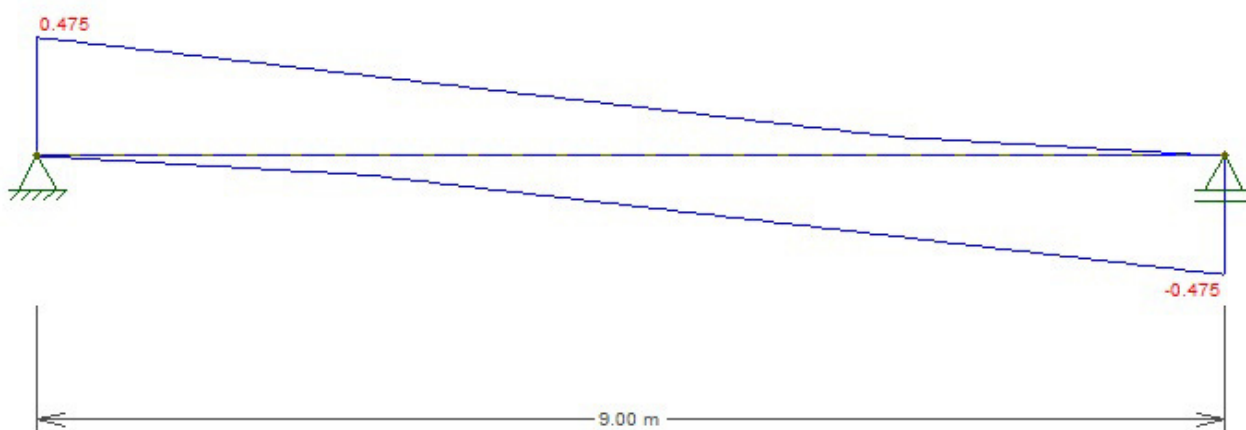
Trem-tipo - LE- Ci – Vertical Impact



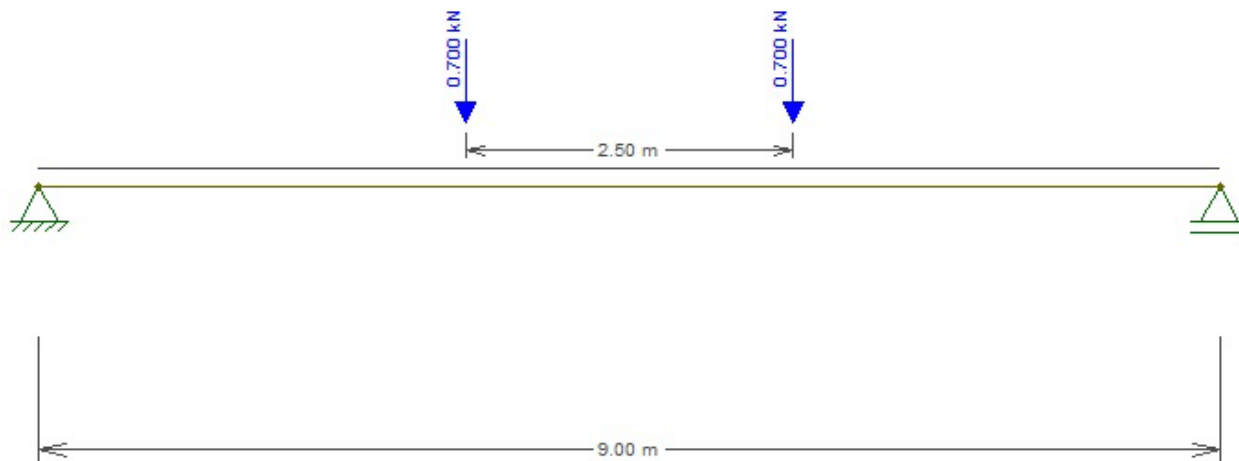
Linha de Influência - LE- Ci – Vertical Impact



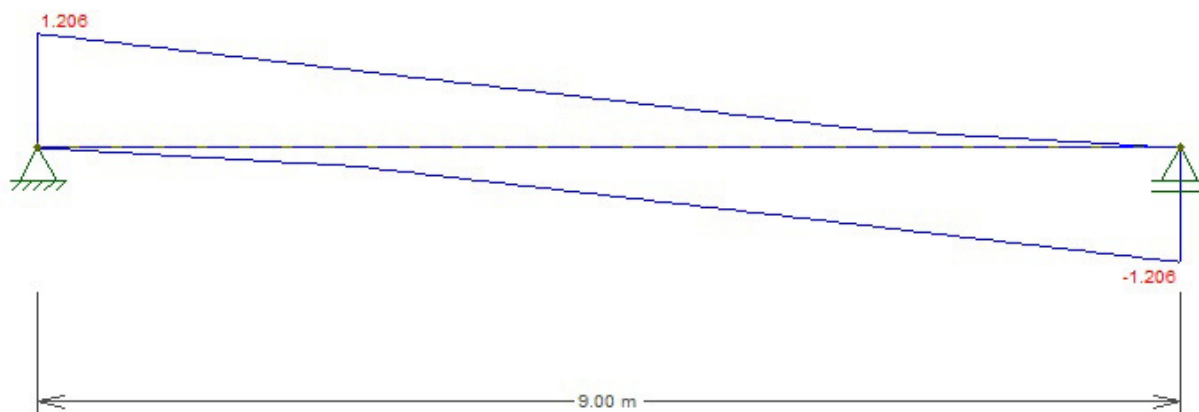
Trem-tipo - LD- Ci – Vertical Impact



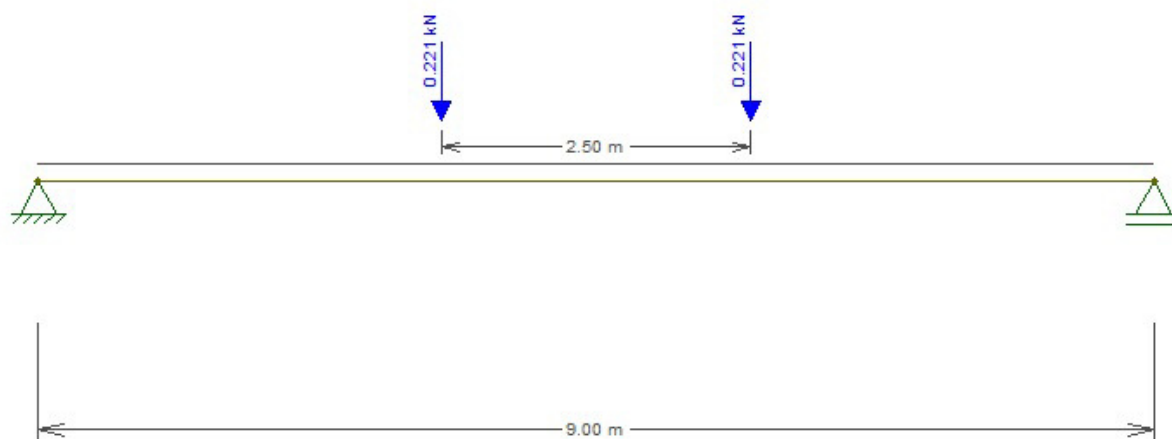
Linha de Influência - LD- Ci – Vertical Impact



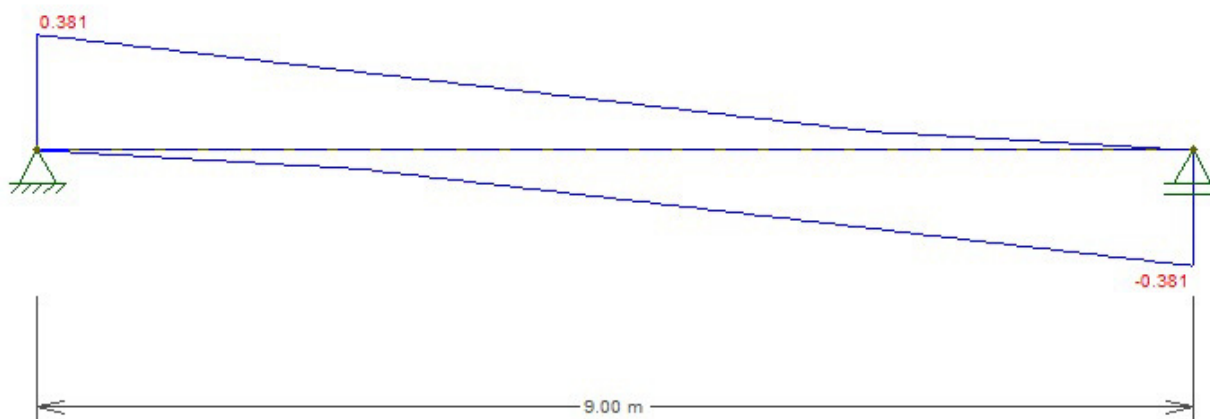
Trem-tipo - LE- CIs – Longitudinal Traction



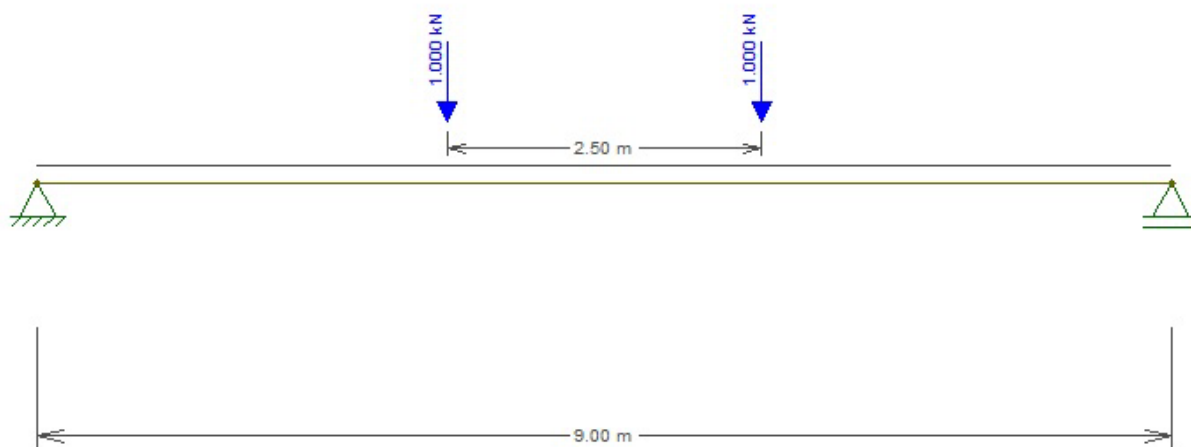
Linha de Influência - LE- Cls – Longitudinal Traction



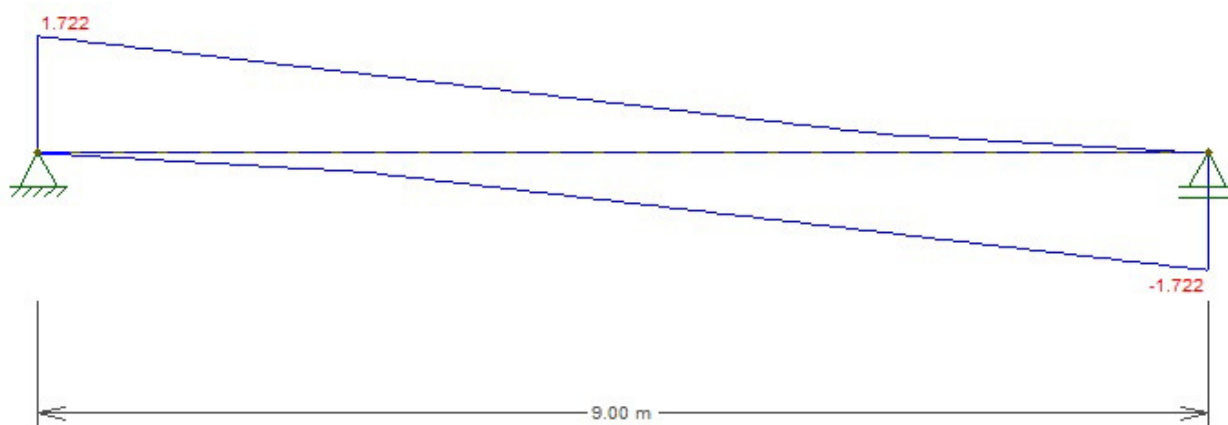
Trem-tipo - LD- Cls – Longitudinal Traction



Linha de Influência - LD- Cls – Longitudinal Traction



Trem-tipo - Css – Side Trust



Linha de Influência - Css – Side Trust

Com isso obtivemos as seguintes cargas.

TROLE DO LADO DIREITO			TROLE DO LADO ESQUERDO		
	Lado Esquerdo	Lado Direito		Lado Esquerdo	Lado Direito
Força e sentido	No apoio	No apoio	Força e sentido	No apoio	No apoio
↓ Cd	1811	1811	↓ Cd	1811	1811
↓ R (Cvs_E)	6028	1900	↓ R (Cvs_D)	1900	6028
↓ Ci_E	1507	475	↓ Ci_D	475	1507
← Css_E	861	861	→ Css_D	861	861

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 16 of 92			

5.3 Combinações de cargas

Para o cálculo dessa estrutura utilizou-se o Software Metálicas 3D, programa utilizado especificamente para cálculos de estruturas metálicas que trás na sua configuração as normas e todos os coeficientes e combinações específicas da norma escolhida, nesse caso as combinações da norma NBR 14762 – 2001 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, como segue:

Combinações para Estado Limite Ultimo (ELU)

Comb1	(D+PP)
Comb2	(D+PP) + LR
Comb3	(D+PP) + 0,75 LR
Comb4	(D+PP) + W1
Comb5	(D+PP) + W2
Comb6	(D+PP) + W3
Comb7	(D+PP) + W4
Comb8	(D+PP) + 0,75 W1 + 0,75 LR
Comb9	(D+PP) + 0,75 W2 + 0,75 LR
Comb10	(D+PP) + 0,75 W3 + 0,75 LR
Comb11	(D+PP) + 0,75 W4 + 0,75 LR
Comb12	0,6 (D+PP) + W1
Comb13	0,6 (D+PP) + W2
Comb14	0,6 (D+PP) + W3
Comb15	0,6 (D+PP) + W4
Comb16	(D+PP) + Cd
Comb17	(D+PP) + Cd + LR
Comb18	(D+PP) + Cd + 0,75 LR
Comb19	(D+PP) + Cd + W1
Comb20	(D+PP) + Cd + W2
Comb21	(D+PP) + Cd + W3
Comb22	(D+PP) + Cd + W4
Comb23	(D+PP) + Cd + 0,75 W1 + 0,75 LR
Comb24	(D+PP) + Cd + 0,75 W2 + 0,75 LR
Comb25	(D+PP) + Cd + 0,75 W3 + 0,75 LR
Comb26	(D+PP) + Cd + 0,75 W4 + 0,75 LR
Comb27	0,6 (D+PP) + 0,6 Cd + W1
Comb28	0,6 (D+PP) + 0,6 Cd + W2
Comb29	0,6 (D+PP) + 0,6 Cd + W3

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 17 of 92	

Comb30	0,6 (D+PP) + 0.6 Cd + W4	Css para a	Ponte para a
Comb31	(D+PP) + LR + Cd + Cvs_E + Ci_E + Css_E ← + Cls_E (Uma Ponte)	Esquerda	Esquerda
Comb32	(D+PP) + LR + Cd + Cvs_D + Ci_D + Css_E ← + Cls_D (Uma Ponte)		Direita
Comb33	(D+PP) + LR + Cd + Cvs_E + Ci_E + Css_D → + Cls_E (Uma Ponte)	Direita	Esquerda
Comb34	(D+PP) + LR + Cd + Cvs_D + Ci_D + Css_D → + Cls_D (Uma Ponte)		Direita
Comb35	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cd + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W1)	Esquerda	Esquerda
Comb36	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cd + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W2)		
Comb37	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cd + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W3)		
Comb38	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cd + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W4)		
Comb39	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W1)	Esquerda	Direita
Comb40	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W2)		
Comb41	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W3)		
Comb42	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W4)		
Comb43	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W1)	Direita	Esquerda
Comb44	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W2)		
Comb45	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W3)		
Comb46	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W4)		
Comb47	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W1)	Direita	Esquerda
Comb48	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W2)		
Comb49	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W3)		
Comb50	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W4)		
Comb51	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 (0,67 Cbs)	-	Esquerda
Comb52	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 (0,67 Cbs)	-	Direita

Combinações para Estado Limite de Serviço (ELS)

Comb1	(D+PP)
Comb2	(D+PP) + LR
Comb3	(D+PP) + 0,75 LR
Comb4	(D+PP) + W1
Comb5	(D+PP) + W2
Comb6	(D+PP) + W3
Comb7	(D+PP) + W4
Comb8	(D+PP) + 0,75 W1 + 0,75 LR
Comb9	(D+PP) + 0,75 W2 + 0,75 LR
Comb10	(D+PP) + 0,75 W3 + 0,75 LR
Comb11	(D+PP) + 0,75 W4 + 0,75 LR
Comb12	0,6 (D+PP) + W1
Comb13	0,6 (D+PP) + W2

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 18 of 92	

Comb14	0,6 (D+PP) + W3
Comb15	0,6 (D+PP) + W4
Comb16	(D+PP) + Cd
Comb17	(D+PP) + Cd + LR
Comb18	(D+PP) + Cd + 0,75 LR
Comb19	(D+PP) + Cd + W1
Comb20	(D+PP) + Cd + W2
Comb21	(D+PP) + Cd + W3
Comb22	(D+PP) + Cd + W4
Comb23	(D+PP) + Cd + 0,75 W1 + 0,75 LR
Comb24	(D+PP) + Cd + 0,75 W2 + 0,75 LR
Comb25	(D+PP) + Cd + 0,75 W3 + 0,75 LR
Comb26	(D+PP) + Cd + 0,75 W4 + 0,75 LR
Comb27	0,6 (D+PP) + 0,6 Cd + W1
Comb28	0,6 (D+PP) + 0,6 Cd + W2
Comb29	0,6 (D+PP) + 0,6 Cd + W3

Comb30	0,6 (D+PP) + 0,6 Cd + W4	Css para a	Ponte para a
Comb31	(D+PP) + LR + Cd + Cvs_E + Ci_E + Css_E ← + Cls_E (Uma Ponte)	Esquerda	Esquerda
Comb32	(D+PP) + LR + Cd + Cvs_D + Ci_D + Css_E ← + Cls_D (Uma Ponte)		Direita
Comb33	(D+PP) + LR + Cd + Cvs_E + Ci_E + Css_D → + Cls_E (Uma Ponte)	Direita	Esquerda
Comb34	(D+PP) + LR + Cd + Cvs_D + Ci_D + Css_D → + Cls_D (Uma Ponte)		Direita
Comb35	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cd + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W1)	Esquerda	Esquerda
Comb36	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cd + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W2)		
Comb37	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cd + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W3)		
Comb38	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cd + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W4)		
Comb39	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W1)	Esquerda	Direita
Comb40	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W2)		
Comb41	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W3)		
Comb42	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_E + 0,75 (0,5 W4)		
Comb43	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W1)	Direita	Esquerda
Comb44	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W2)		
Comb45	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W3)		
Comb46	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W4)		
Comb47	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W1)	Direita	Esquerda
Comb48	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W2)		
Comb49	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W3)		
Comb50	0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 Css_D + 0,75 (0,5 W4)		

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 19 of 92	

Comb51	$0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_E + 0,75 Ci_E + 0,75 (0,67 Cbs)$	-	Esquerda
Comb52	$0,75 (D+PP) + 0,75 LR + 0,75 Cvs_D + 0,75 Ci_D + 0,75 (0,67 Cbs)$	-	Direita

6 ANÁLISE ESTRUTURAL

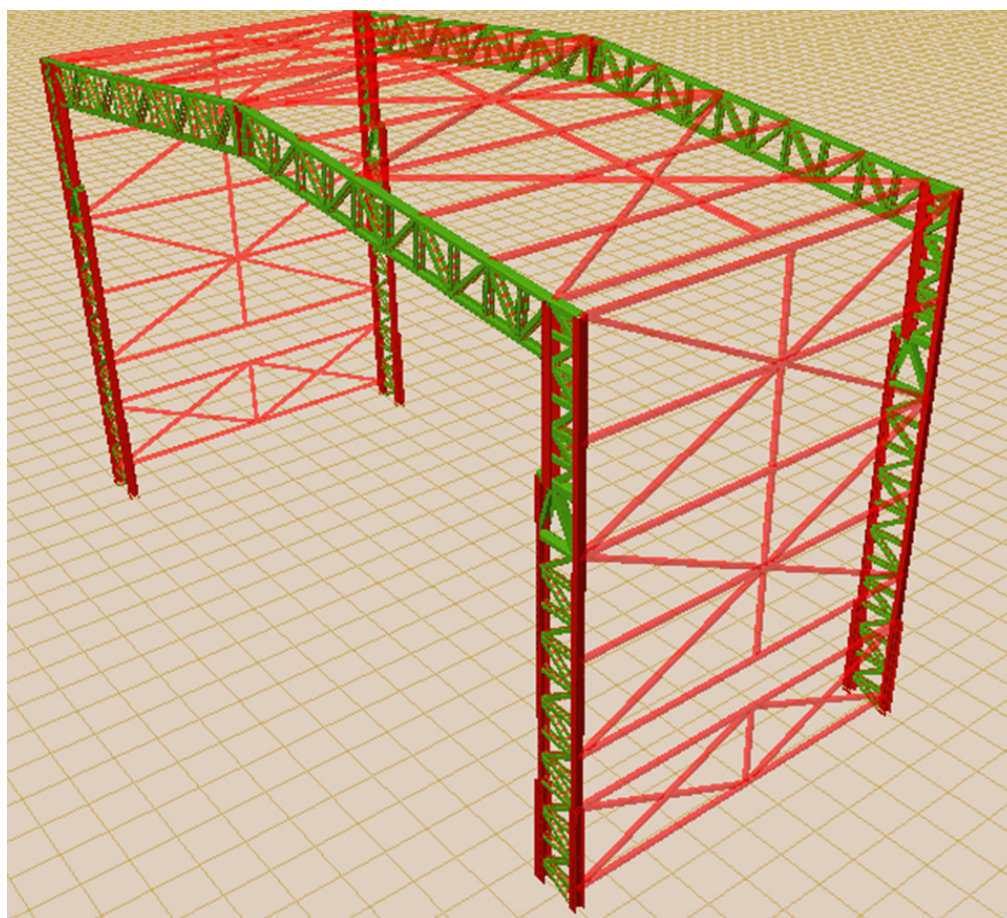
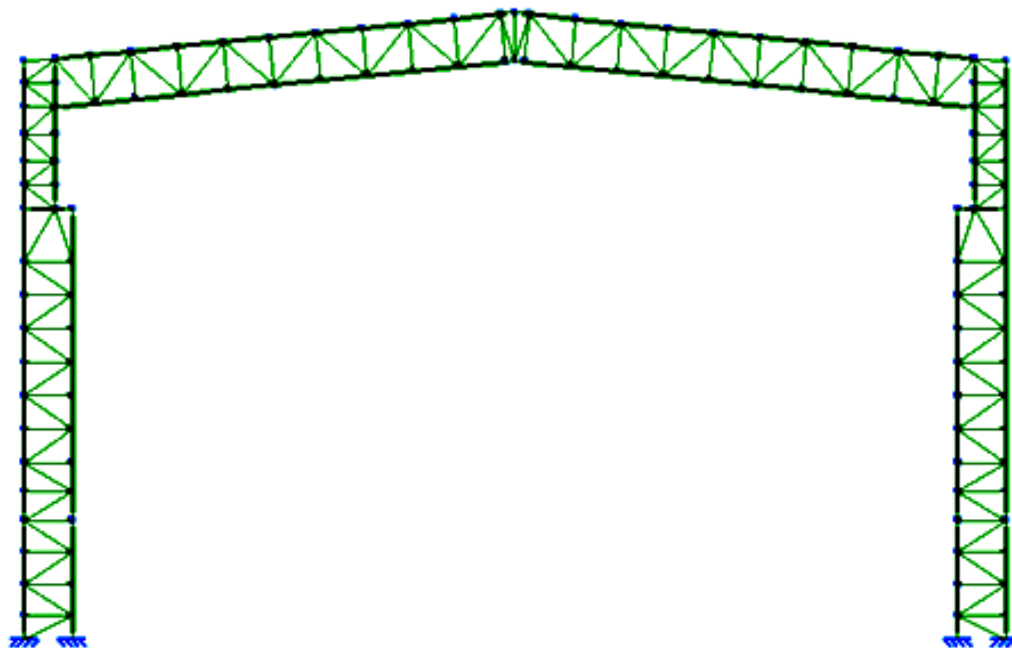
Para o cálculo dessa estrutura utilizou-se o Software Metálicas 3D, no qual foi feito o lançamento dos dados, desde o início o usuário já entra com os parâmetros de tipo de material, tipo de estrutura, as normas a serem utilizadas, no nosso caso a chave de acesso serve somente para as normas brasileiras, as cargas a serem inseridas, ele te dá a opção de criar várias cargas permanentes, sobrecargas, ventos, porém tem uma grande limitação que é a inserção das cargas devido a ponte rolante, para adicioná-las nós as inserimos como sobrecarga e as combinamos entre si as que ocorrem simultaneamente.

Utilizando o software retiramos as tabelas de entrada de cargas e as saídas dos resultados obtidos, as verificações das barras e de alguns elementos selecionados foram extraídos os cálculos passo a passo de como foram feitos.

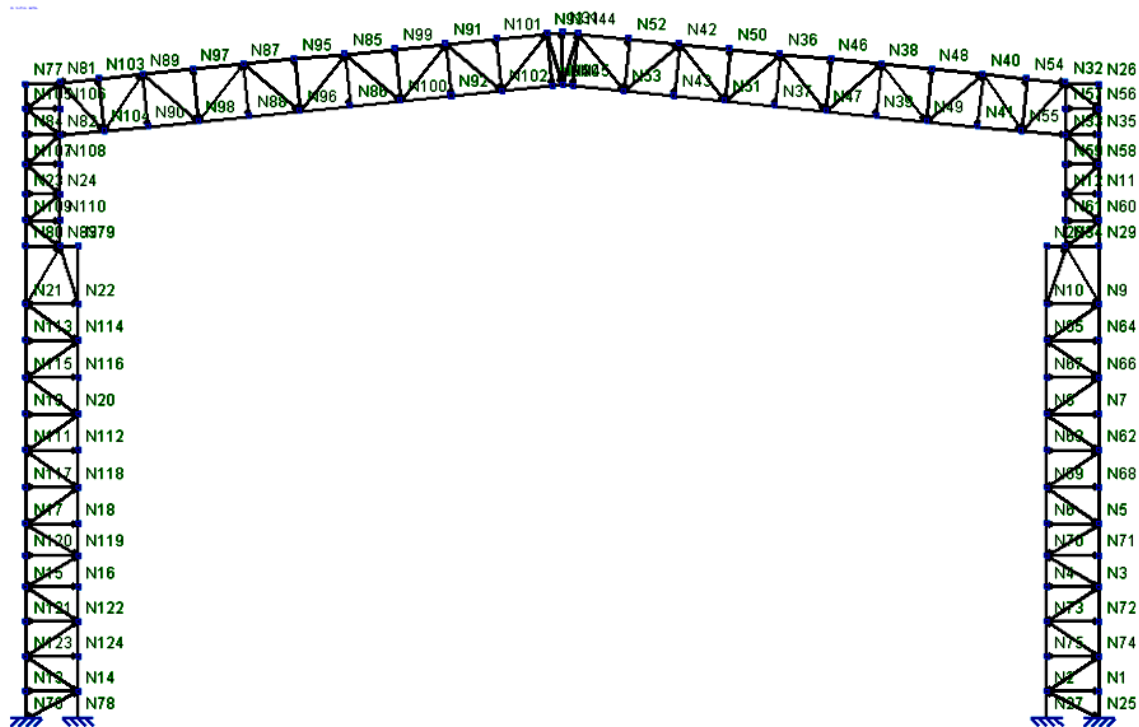
Critérios de avaliação:

- Cargas aplicadas diretamente nos nós;
- Pilares engastados na base para formar o “binário de ancoragem”;
- Banzo Superior e Inferior do pórtico como elemento contínuo;
- Banzos das colunas separa em dois trechos com espessuras diferentes e na região próximo a base perfil duplo até a cota de 2,50m do nível;
- Montantes e diagonais articulados nos extremos;

Modelo de cálculo



Disposição dos nós



Esforços desfavoráveis nas barras, dados extraídos do software Metálicas 3D

Referências:

- N: Esforço axial (t)
- Vy: Esforço cortante segundo o eixo local Y da barra. (t)
- Vz: Esforço cortante segundo o eixo local Z da barra. (t)
- Mt: Momento torsor (t·m)
- My: Momento fletor no plano 'XZ' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Y' da barra). (t·m)
- Mz: Momento fletor no plano 'XY' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Z' da barra). (t·m)

Os esforços indicados são os correspondentes à combinação desfavorável, ou seja, aquela que solicita a máxima resistência da seção.

Origem dos esforços desfavoráveis:

- G: Verticais
- GV: Verticais + vento
- GSis: Verticais + sismo
- GVSis: Verticais + vento + sismo

η : Aproveitamento da resistência. A barra cumpre as condições de resistência da Norma se cumprir que $\eta \leq 100$ %.

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N2/N1	3.47	0.500	-0.488	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 22 of 92	

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N4/N3	2.57	0.500	0.418	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N6/N5	2.26	0.500	0.362	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N8/N7	14.44	0.500	-2.153	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N10/N9	8.12	0.500	3.259	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.003	G	Passa
N12/N11	5.90	0.325	-2.673	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N13/N14	3.51	0.500	-0.494	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N15/N16	2.54	0.500	0.413	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N17/N18	2.27	0.500	0.365	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N19/N20	14.43	0.500	-2.152	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N21/N22	9.40	0.500	3.800	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.003	GV	Passa
N23/N24	6.50	0.325	-2.938	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N28/N34	64.97	0.350	-2.788	15.155	0.002	0.079	0.000	-5.267	GV	Passa
N34/N29	32.47	0.000	0.340	-5.151	0.032	-0.050	0.028	-2.655	GV	Passa
N30/N31	10.82	1.005	6.781	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N32/N54	35.99	0.744	23.060	-0.096	0.000	0.000	0.000	0.062	GV	Passa
N54/N40	35.99	0.000	23.061	0.071	0.000	0.000	0.000	0.062	GV	Passa
N40/N48	21.53	0.970	-12.374	-0.002	0.000	0.000	0.000	-0.020	GV	Passa
N48/N38	24.63	0.970	-12.370	0.014	0.000	0.000	0.000	-0.049	GV	Passa
N38/N46	50.12	0.485	-28.308	0.001	0.000	0.000	0.000	-0.053	GV	Passa
N46/N36	52.61	0.970	-28.303	0.010	0.000	0.000	0.000	-0.076	GV	Passa
N36/N50	69.68	0.000	-38.462	-0.005	0.000	0.000	0.000	-0.085	GV	Passa
N50/N42	71.80	0.970	-38.455	0.024	0.000	0.000	0.000	-0.104	GV	Passa
N42/N52	79.62	0.000	-43.396	-0.028	0.000	0.000	0.000	-0.104	GV	Passa
N52/N44	86.97	0.970	-43.389	0.094	0.000	0.000	0.000	-0.168	GV	Passa
N44/N31	81.95	0.000	-44.360	-1.038	0.000	0.000	0.000	-0.167	GV	Passa
N33/N55	72.16	0.844	-44.579	0.058	0.000	0.000	0.000	-0.038	GV	Passa
N55/N41	34.02	0.000	-19.631	-0.037	0.000	0.000	0.000	-0.038	GV	Passa
N41/N49	33.69	0.000	-19.897	-0.038	0.000	0.000	0.000	-0.024	GV	Passa
N49/N39	21.92	0.970	13.484	-0.031	0.000	0.000	0.000	0.057	GV	Passa
N39/N47	21.92	0.000	13.484	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.057	GV	Passa
N47/N37	44.12	0.970	27.992	-0.028	0.000	0.000	0.000	0.086	GV	Passa
N37/N51	44.13	0.000	27.992	0.006	0.000	0.000	0.000	0.086	GV	Passa
N51/N43	56.91	0.970	36.348	-0.025	0.000	0.000	0.000	0.102	GV	Passa
N43/N53	56.91	0.000	36.349	0.015	0.000	0.000	0.000	0.102	GV	Passa
N53/N45	60.41	0.970	38.633	-0.019	0.000	0.000	0.000	0.107	GV	Passa
N45/N30	62.32	0.200	38.732	-0.249	0.000	0.000	0.000	0.148	GV	Passa
N34/N61	79.23	0.000	-50.155	-0.279	-0.031	-0.001	4.883	-2.622	GV	Passa
N61/N12	77.92	0.000	-50.091	-0.201	-0.031	-0.008	4.898	-2.482	GV	Passa
N12/N59	90.28	0.565	-62.418	-0.005	-0.031	-0.027	6.176	-2.353	GV	Passa
N59/N33	90.27	0.000	-62.411	-0.233	-0.031	-0.005	6.176	-2.353	GV	Passa
N33/N57	63.01	0.000	-38.270	-2.040	-0.031	0.176	3.785	-2.222	GV	Passa
N57/N32	52.94	0.000	-38.206	-2.156	-0.031	0.188	3.800	-1.197	GV	Passa
N26/N32	41.14	0.000	2.357	-1.153	-0.031	0.001	0.008	-0.876	GV	Passa
N33/N35	12.27	0.325	-3.046	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	GV	Passa

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 23 of 92	

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N37/N36	0.38	1.000	0.091	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N39/N38	0.38	1.000	0.091	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N41/N40	0.37	1.000	0.089	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N43/N42	0.39	1.000	0.092	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N45/N44	1.13	1.000	0.270	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N47/N46	0.46	0.000	-0.103	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N49/N48	0.42	0.000	-0.095	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N51/N50	0.48	0.000	-0.108	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	G	Passa
N53/N52	0.88	0.000	-0.200	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N55/N54	0.79	0.000	-0.179	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N30/N44	3.86	0.680	0.911	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N53/N44	12.16	0.697	-2.632	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N53/N42	12.99	0.697	3.036	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N51/N42	33.40	0.697	-7.327	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N51/N36	31.99	0.697	7.583	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N47/N36	55.05	0.697	-12.112	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N47/N38	51.93	0.697	12.356	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N49/N38	76.72	0.697	-16.899	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N49/N40	71.76	0.697	17.103	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N55/N40	91.46	0.654	-20.380	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N55/N32	82.80	0.623	19.767	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N57/N56	0.32	0.325	0.118	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N59/N58	0.57	0.325	0.231	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N61/N60	0.24	0.325	0.081	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N10/N34	29.13	0.577	-9.934	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	G	Passa
N9/N34	68.58	0.639	-22.915	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	GV	Passa
N63/N62	2.24	0.500	0.359	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N65/N64	1.90	0.500	0.297	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N67/N66	2.15	0.500	0.342	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N69/N68	2.17	0.500	0.345	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N70/N71	2.23	0.500	0.356	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N73/N72	1.99	0.500	0.314	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N75/N74	4.13	0.500	0.700	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N65/N9	62.69	0.610	11.277	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N66/N65	80.96	0.610	-12.139	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N8/N66	62.88	0.610	11.311	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N62/N8	78.38	0.610	-11.750	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N69/N62	61.04	0.610	-9.154	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N5/N69	77.55	0.610	-11.625	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N70/N5	72.62	0.583	-10.924	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N3/N70	70.53	0.583	-10.593	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N73/N3	90.38	0.601	-13.581	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N74/N73	75.93	0.601	13.686	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N2/N74	85.84	0.601	-12.899	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 24 of 92	

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N25/N2	39.46	0.559	7.096	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N80/N83	38.79	0.650	0.246	6.327	0.000	0.000	0.000	-3.203	GV	Passa
N83/N79	74.03	0.000	-2.820	-17.369	0.000	0.000	0.000	-6.016	GV	Passa
N81/N103	41.52	0.744	26.687	-0.105	0.000	0.000	0.000	0.069	GV	Passa
N103/N89	41.53	0.000	26.688	0.070	0.000	0.000	0.000	0.069	GV	Passa
N89/N97	18.54	0.970	-10.413	0.010	0.000	0.000	0.000	-0.021	GV	Passa
N97/N87	21.68	0.970	-10.668	0.014	0.000	0.000	0.000	-0.046	GV	Passa
N87/N95	48.23	0.485	-27.272	0.002	0.000	0.000	0.000	-0.051	GV	Passa
N95/N85	50.80	0.970	-27.266	0.011	0.000	0.000	0.000	-0.074	GV	Passa
N85/N99	68.28	0.000	-37.745	-0.004	0.000	0.000	0.000	-0.083	GV	Passa
N99/N91	70.60	0.970	-37.739	0.025	0.000	0.000	0.000	-0.103	GV	Passa
N91/N101	79.48	0.000	-43.356	-0.027	0.000	0.000	0.000	-0.103	GV	Passa
N101/N93	86.93	0.970	-43.349	0.095	0.000	0.000	0.000	-0.168	GV	Passa
N93/N31	82.14	0.000	-44.360	-1.044	0.000	0.000	0.000	-0.168	GV	Passa
N82/N104	82.77	0.844	-48.571	0.106	0.000	0.000	0.000	-0.078	GV	Passa
N104/N90	43.66	0.000	-23.082	-0.084	0.000	0.000	0.000	-0.078	GV	Passa
N90/N98	38.29	0.000	-22.794	-0.032	0.000	0.000	0.000	-0.024	GV	Passa
N98/N88	19.31	0.970	11.790	-0.032	0.000	0.000	0.000	0.053	G	Passa
N88/N96	19.31	0.000	11.790	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.053	G	Passa
N96/N86	42.47	0.970	26.914	-0.029	0.000	0.000	0.000	0.084	GV	Passa
N86/N100	42.47	0.000	26.915	0.006	0.000	0.000	0.000	0.084	GV	Passa
N100/N92	56.23	0.970	35.920	-0.023	0.000	0.000	0.000	0.101	GV	Passa
N92/N102	56.23	0.000	35.920	0.012	0.000	0.000	0.000	0.101	GV	Passa
N102/N94	60.58	0.970	38.861	-0.015	0.000	0.000	0.000	0.103	GV	Passa
N94/N30	62.51	0.200	38.862	-0.221	0.000	0.000	0.000	0.148	GV	Passa
N83/N110	54.00	0.000	-55.738	-2.560	0.000	0.000	0.000	-2.996	GV	Passa
N110/N24	41.78	0.000	-57.908	-0.026	0.000	0.000	0.000	-1.665	GV	Passa
N24/N108	57.55	0.565	-68.285	2.043	0.000	0.000	0.000	-2.799	GV	Passa
N108/N82	97.78	0.565	-68.214	7.198	0.000	0.000	0.000	-6.867	GV	Passa
N82/N106	85.71	0.000	-40.729	-10.513	0.000	0.000	0.000	-6.867	GV	Passa
N106/N81	35.85	0.503	-40.607	-6.795	0.000	0.000	0.000	1.831	GV	Passa
N77/N81	81.53	0.651	3.309	-4.737	0.000	0.000	0.000	1.831	GV	Passa
N84/N82	9.60	0.325	-2.354	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	GV	Passa
N86/N85	0.38	1.000	0.091	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N88/N87	0.38	1.000	0.091	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N90/N89	0.35	1.000	0.084	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N92/N91	0.39	1.000	0.092	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N94/N93	1.18	1.000	0.282	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	G	Passa
N96/N95	0.45	0.000	-0.103	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N98/N97	0.42	0.000	-0.095	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N100/N99	0.48	0.000	-0.108	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	G	Passa
N102/N101	0.88	0.000	-0.200	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N104/N103	0.83	0.000	-0.187	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa
N30/N93	4.45	0.680	1.053	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	GV	Passa

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 25 of 92	

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N102/N93	14.39	0.697	-3.125	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N102/N91	15.00	0.697	3.517	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N100/N91	35.53	0.697	-7.797	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N100/N85	33.94	0.697	8.052	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N96/N85	57.18	0.697	-12.582	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N96/N87	53.89	0.697	12.825	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N98/N87	78.84	0.697	-17.368	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N98/N89	73.75	0.697	17.579	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N104/N89	93.17	0.654	-20.763	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N104/N81	84.86	0.623	20.259	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N105/N81	82.46	0.411	38.369	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N105/N106	8.20	0.325	-3.718	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N82/N105	80.01	0.411	-36.371	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N107/N82	12.83	0.431	-5.804	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N107/N108	11.35	0.325	-5.156	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N24/N107	19.05	0.431	8.831	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N109/N24	20.86	0.410	-9.453	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N109/N110	5.13	0.325	-2.315	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N83/N109	23.16	0.410	10.747	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N22/N83	34.30	0.577	-11.711	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	GV	Passa
N21/N83	72.52	0.639	-24.240	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	GV	Passa
N111/N112	2.26	0.500	0.363	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N113/N114	1.75	0.500	0.270	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N115/N116	2.13	0.500	0.338	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N117/N118	2.18	0.500	0.348	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N120/N119	2.23	0.500	0.356	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N121/N122	1.99	0.500	0.314	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N123/N124	4.09	0.500	0.693	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N114/N21	63.17	0.610	11.363	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N115/N114	81.20	0.610	-12.174	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N20/N115	63.10	0.610	11.351	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N111/N20	78.68	0.610	-11.795	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N118/N111	61.39	0.610	-9.208	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N17/N118	77.85	0.610	-11.670	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N119/N17	72.96	0.583	-10.975	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N15/N119	70.86	0.583	-10.644	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N122/N15	90.72	0.601	-13.634	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N123/N122	76.21	0.601	13.738	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N14/N123	86.16	0.601	-12.946	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N76/N14	39.59	0.559	7.120	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N56/N32	86.41	0.411	40.211	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N33/N56	91.36	0.411	-41.536	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N58/N33	21.49	0.431	-9.727	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa
N12/N58	23.22	0.431	10.775	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	GV	Passa

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 26 of 92	

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N60/N12	22.55	0.410	-10.224	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N34/N60	18.57	0.410	8.609	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	GV	Passa
N78/N14	99.21	0.000	-62.943	-5.196	0.000	0.000	0.000	-3.519	GV	Passa
N14/N124	44.31	0.000	-52.749	-0.681	0.000	0.000	0.000	-0.921	GV	Passa
N124/N122	35.65	0.000	-52.883	-0.346	0.000	0.000	0.000	-0.465	GV	Passa
N122/N16	23.73	0.000	-38.278	-0.244	0.000	0.000	0.000	-0.229	GV	Passa
N16/N119	42.14	0.000	-38.211	-0.042	0.000	0.000	0.000	-0.066	GV	Passa
N119/N18	35.90	0.600	-32.598	0.088	0.000	0.000	0.000	-0.056	GV	Passa
N18/N118	35.90	0.000	-32.594	-0.080	0.000	0.000	0.000	-0.056	GV	Passa
N118/N112	35.82	0.700	-30.621	0.132	0.000	0.000	0.000	-0.092	GV	Passa
N112/N20	35.81	0.000	-30.617	-0.223	0.000	0.000	0.000	-0.092	GV	Passa
N20/N116	39.35	0.700	-33.190	0.174	0.000	0.000	0.000	-0.109	GV	Passa
N116/N114	39.35	0.000	-33.185	-0.108	0.000	0.000	0.000	-0.109	GV	Passa
N114/N22	50.37	0.700	-39.836	0.246	0.000	0.000	0.000	-0.190	GV	Passa
N22/N79	42.73	0.000	-29.535	-0.125	0.000	0.000	0.000	-0.211	GV	Passa
N76/N13	82.07	0.000	-66.418	-0.794	0.000	0.000	0.000	-0.841	GV	Passa
N13/N123	65.83	0.000	-66.096	-0.577	0.000	0.000	0.000	-0.444	GV	Passa
N123/N121	46.91	0.667	-55.131	0.171	0.000	0.000	0.000	-0.175	GV	Passa
N121/N15	46.91	0.000	-55.127	-0.143	0.000	0.000	0.000	-0.175	GV	Passa
N15/N120	51.61	0.600	-43.725	0.100	0.000	0.000	0.000	-0.140	GV	Passa
N120/N17	51.60	0.000	-43.721	-0.204	0.000	0.000	0.000	-0.140	GV	Passa
N17/N117	38.75	0.700	-32.496	0.093	0.000	0.000	0.000	-0.111	GV	Passa
N117/N111	38.74	0.000	-32.492	-0.197	0.000	0.000	0.000	-0.111	GV	Passa
N111/N19	27.47	0.700	-20.805	0.213	0.000	0.000	0.000	-0.122	GV	Passa
N19/N115	27.07	0.000	-20.403	-0.271	0.000	0.000	0.000	-0.122	GV	Passa
N115/N113	15.63	0.000	-10.071	0.206	0.000	0.000	0.000	0.104	GV	Passa
N113/N21	13.80	0.700	-11.039	-0.121	0.000	0.000	0.000	0.050	GV	Passa
N21/N80	43.11	1.100	25.256	-0.602	0.000	0.000	0.000	0.710	GV	Passa
N80/N109	43.47	0.000	31.644	-0.848	0.000	0.000	0.000	-0.219	GV	Passa
N109/N23	50.45	0.500	43.596	-0.105	0.000	0.000	0.000	0.257	GV	Passa
N23/N107	50.86	0.000	44.000	0.129	0.000	0.000	0.000	0.257	GV	Passa
N107/N84	70.71	0.565	48.673	-1.209	0.000	0.000	0.000	0.869	GV	Passa
N84/N105	70.71	0.000	48.678	1.146	0.000	0.000	0.000	0.869	GV	Passa
N105/N77	68.08	0.467	3.036	3.282	0.000	0.000	0.000	-1.241	GV	Passa
N25/N1	85.11	0.000	-69.744	-0.788	0.002	0.001	-0.026	-0.849	GV	Passa
N1/N74	68.98	0.000	-69.422	-0.577	0.002	0.001	-0.027	-0.455	GV	Passa
N74/N72	50.13	0.667	-58.499	0.173	0.002	0.001	-0.029	-0.185	GV	Passa
N72/N3	50.13	0.000	-58.495	-0.141	0.002	0.001	-0.029	-0.185	GV	Passa
N27/N2	98.99	0.000	-62.789	-5.178	-0.001	0.000	0.011	-3.507	GV	Passa
N2/N75	44.29	0.000	-52.634	-0.679	-0.001	0.000	0.011	-0.918	GV	Passa
N75/N73	35.61	0.000	-52.586	-0.343	-0.001	0.000	0.012	-0.466	GV	Passa
N73/N4	23.72	0.000	-37.930	-0.251	-0.001	0.000	0.009	-0.233	GV	Passa
N3/N71	56.22	0.600	-47.154	0.101	0.002	0.001	-0.031	-0.152	GV	Passa
N71/N5	56.22	0.000	-47.150	-0.203	0.002	0.001	-0.031	-0.152	GV	Passa

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 27 of 92	

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N5/N68	42.39	0.700	-35.280	0.092	0.001	0.000	-0.020	-0.121	GV	Passa
N68/N62	42.39	0.000	-35.276	-0.196	0.001	0.000	-0.020	-0.121	GV	Passa
N62/N7	31.21	0.700	-23.648	0.212	0.001	0.000	-0.022	-0.132	GV	Passa
N7/N66	30.80	0.000	-23.246	-0.268	0.001	0.000	-0.022	-0.132	GV	Passa
N66/N64	16.42	0.000	-10.375	0.206	0.000	0.000	0.035	0.102	GV	Passa
N64/N9	15.36	0.700	-12.092	-0.136	0.000	0.000	0.011	0.056	GV	Passa
N9/N29	37.18	1.100	20.447	-0.531	0.002	0.001	-0.045	0.638	GV	Passa
N29/N60	37.63	0.000	25.768	-1.035	-0.031	0.008	-0.097	-0.191	GV	Passa
N60/N11	46.33	0.000	36.553	0.336	-0.031	0.008	-0.081	0.326	GV	Passa
N11/N58	45.21	0.565	37.008	-0.223	-0.031	0.008	-0.048	0.284	GV	Passa
N58/N35	77.74	0.565	49.365	-1.453	-0.031	0.008	-0.030	1.105	GV	Passa
N35/N56	77.74	0.000	49.370	1.594	-0.031	0.008	-0.030	1.105	GV	Passa
N56/N26	46.46	0.467	-0.558	2.525	-0.031	0.008	-0.001	-0.876	GV	Passa
N4/N70	41.96	0.000	-37.969	-0.041	-0.001	0.000	0.008	-0.065	GV	Passa
N70/N6	32.81	0.600	-29.491	0.085	0.001	0.001	-0.038	-0.045	GV	Passa
N6/N69	32.81	0.000	-29.487	-0.079	0.001	0.001	-0.038	-0.045	GV	Passa
N69/N63	32.80	0.700	-27.567	0.130	0.001	0.001	-0.039	-0.081	GV	Passa
N63/N8	32.79	0.000	-27.563	-0.221	0.001	0.001	-0.039	-0.081	GV	Passa
N8/N67	36.31	0.700	-29.910	0.165	0.001	0.001	-0.051	-0.099	G	Passa
N67/N65	36.31	0.000	-29.906	-0.112	0.001	0.001	-0.051	-0.099	G	Passa
N65/N10	47.04	0.700	-36.043	0.253	0.002	0.001	-0.071	-0.178	GV	Passa
N10/N28	41.09	0.000	-27.669	-0.068	0.002	0.001	-0.074	-0.196	GV	Passa

Verificações E.L.U. (Resumido) – para todas as barras

Barras	VERIFICAÇÕES (NBR 14762: 2001)													Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	λ	b/t	
N2/N1	$\eta = 3.1$	$\eta = 3.2$	x: 0.5 m $\eta = 0.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m $\eta = 3.5$	x: 0.5 m $\eta = 3.4$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 3.5$
N4/N3	$\eta = 2.3$	$\eta = 1.9$	x: 0.5 m $\eta = 0.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m $\eta = 2.1$	x: 0.5 m $\eta = 2.6$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 2.6$
N6/N5	$\eta = 2.0$	$\eta = 1.2$	x: 0.5 m $\eta = 0.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m $\eta = 1.4$	x: 0.5 m $\eta = 2.3$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 2.3$
N8/N7	$\eta = 11.0$	$\eta = 14.2$	x: 0.5 m $\eta = 0.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m $\eta = 14.4$	x: 0.5 m $\eta = 11.3$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 14.4$
N10/N9	$\eta = 7.7$	$\eta = 3.4$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.5 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 0.1$	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	x: 0.5 m $\eta = 3.7$	x: 0.5 m $\eta = 8.1$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 8.1$
N12/N11	$\eta = 4.9$	$\eta = 5.8$	x: 0.325 m $\eta = 0.1$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.162 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.325 m $\eta = 5.9$	x: 0.325 m $\eta = 4.9$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 5.9$
N13/N14	$\eta = 3.2$	$\eta = 3.3$	x: 0.5 m $\eta = 0.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m $\eta = 3.5$	x: 0.5 m $\eta = 3.4$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 3.5$
N15/N16	$\eta = 2.3$	$\eta = 1.9$	x: 0.5 m $\eta = 0.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m $\eta = 2.1$	x: 0.5 m $\eta = 2.5$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 2.5$
N17/N18	$\eta = 2.0$	$\eta = 1.2$	x: 0.5 m $\eta = 0.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m $\eta = 1.4$	x: 0.5 m $\eta = 2.3$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 2.3$
N19/N20	$\eta = 11.0$	$\eta = 14.2$	x: 0.5 m $\eta = 0.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m $\eta = 14.4$	x: 0.5 m $\eta = 11.3$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 14.4$
N21/N22	$\eta = 9.0$	$\eta = 3.1$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.5 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 0.1$	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	x: 0.5 m $\eta = 3.4$	x: 0.5 m $\eta = 9.4$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 9.4$
N23/N24	$\eta = 5.4$	$\eta = 6.4$	x: 0.325 m $\eta = 0.1$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.163 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.325 m $\eta = 6.5$	x: 0.325 m $\eta = 5.5$	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 6.5$
N28/N34	x: 0.35 m $\eta = 30.4$	x: 0.35 m $\eta = 33.2$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0.35 m $\eta = 31.8$	x: 0 m $\eta = 30.0$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.35 m $\eta = 19.0$	x: 0.35 m $\eta = 65.0$	x: 0.35 m $\eta = 62.2$	$\eta = 16.8$	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	(b _w /t) ≤ 200	PASSA $\eta = 65.0$
N34/N29	x: 0 m $\eta = 16.2$	x: 0 m $\eta = 15.9$	x: 0 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 16.0$	x: 0.65 m $\eta = 10.5$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 3.6$	x: 0 m $\eta = 32.2$	x: 0 m $\eta = 32.5$	$\eta = 10.7$	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	(b _w /t) ≤ 200	PASSA $\eta = 32.5$
N30/N31	x: 1.01 m $\eta = 10.8$	x: 0 m $\eta = 8.3$	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$	(b _w /t) ≤ 90	PASSA $\eta = 10.8$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo				PROJETO FINAL DE CURSO	
					Rev.: 00	Data: 28/01/17
					Página 28 of 92	

Barras	VERIFICAÇÕES (NBR 14762: 2001)														Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	λ	b/t		
N32/N54	x: 0.744 m η = 33.3	x: 0 m η = 19.6	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.744 m η = 6.6	x: 0.744 m η = 0.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.744 m η = 0.4	x: 0.744 m η = 23.2	x: 0.744 m η = 36.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 36.0	
N54/N40	x: 0.844 m η = 33.3	x: 0 m η = 20.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.6	x: 0 m η = 0.4	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 23.6	x: 0 m η = 36.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 36.0	
N40/N48	x: 0.97 m η = 10.2	x: 0 m η = 19.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 2.8	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.97 m η = 21.5	x: 0.97 m η = 10.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 21.5	
N48/N38	x: 0.97 m η = 10.2	x: 0 m η = 19.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 6.0	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 0.4	x: 0.97 m η = 24.6	x: 0.97 m η = 11.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.97 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 24.6	
N38/N46	x: 0.97 m η = 26.1	x: 0 m η = 44.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.0	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.4	x: 0.485 m η = 50.1	x: 0.97 m η = 27.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 50.1	
N46/N36	x: 0.97 m η = 26.1	x: 0 m η = 44.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 9.0	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 0.8	x: 0.97 m η = 52.6	x: 0.97 m η = 28.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.727 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 52.6	
N36/N50	x: 0.97 m η = 35.5	x: 0 m η = 60.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 9.0	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.8	x: 0 m η = 69.7	x: 0.97 m η = 37.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 69.7	
N50/N42	x: 0.97 m η = 35.5	x: 0 m η = 60.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 11.1	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 1.2	x: 0.97 m η = 71.8	x: 0.97 m η = 37.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 71.8	
N42/N52	x: 0.97 m η = 38.4	x: 0 m η = 67.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 11.1	x: 0.97 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 1.2	x: 0 m η = 79.6	x: 0 m η = 40.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 79.6	
N52/N44	x: 0.97 m η = 38.4	x: 0 m η = 67.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 17.9	x: 0 m η = 0.7	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 3.2	x: 0.97 m η = 87.0	x: 0.97 m η = 42.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 87.0	
N44/N31	x: 0.3 m η = 38.4	x: 0 m η = 64.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 17.9	x: 0.3 m η = 5.7	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 3.5	x: 0 m η = 82.0	x: 0.3 m η = 51.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.15 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 82.0	
N33/N55	x: 0.844 m η = 45.2	x: 0 m η = 67.9	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.844 m η = 4.0	x: 0.844 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.844 m η = 0.2	x: 0.844 m η = 72.2	x: 0.844 m η = 46.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 72.2	
N55/N41	x: 0.844 m η = 22.4	x: 0 m η = 30.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 4.0	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.2	x: 0 m η = 34.0	x: 0.211 m η = 23.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 34.0	
N41/N49	x: 0.97 m η = 22.4	x: 0 m η = 31.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0 m η = 33.7	x: 0.97 m η = 23.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.485 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 33.7	
N49/N39	x: 0.97 m η = 19.5	x: 0 m η = 11.4	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 6.1	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 0.4	x: 0.97 m η = 12.6	x: 0.97 m η = 21.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 21.9	
N39/N47	x: 0.97 m η = 19.5	x: 0 m η = 11.4	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.1	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 12.6	x: 0 m η = 21.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 21.9	
N47/N37	x: 0.97 m η = 40.4	x: 0 m η = 18.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 9.1	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 0.8	x: 0.97 m η = 22.9	x: 0.97 m η = 44.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 44.1	
N37/N51	x: 0.97 m η = 40.4	x: 0 m η = 18.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 9.1	x: 0.97 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.8	x: 0.97 m η = 23.6	x: 0 m η = 44.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 44.1	
N51/N43	x: 0.97 m η = 52.5	x: 0 m η = 24.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 10.9	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 1.2	x: 0.97 m η = 30.3	x: 0.97 m η = 56.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 56.9	
N43/N53	x: 0.97 m η = 52.5	x: 0 m η = 24.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 10.9	x: 0.97 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 1.2	x: 0.97 m η = 30.8	x: 0 m η = 56.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 56.9	
N53/N45	x: 0.97 m η = 56.0	x: 0 m η = 24.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 11.4	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 1.3	x: 0 m η = 30.4	x: 0.97 m η = 60.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 60.4	
N45/N30	x: 0.2 m η = 56.0	x: 0 m η = 22.5	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.2 m η = 15.8	x: 0 m η = 1.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.2 m η = 2.5	x: 0 m η = 27.1	x: 0.2 m η = 62.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 62.3	
N34/N61	x: 0.5 m η = 10.6	x: 0 m η = 21.9	x: 0.5 m η = 31.4	x: 0 m η = 25.9	η = 0.4	η = 0.1	x: 0.5 m η = 9.9	x: 0 m η = 6.7	x: 0 m η = 79.2	x: 0 m η = 34.8	η = 3.5	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 79.2	
N61/N12	x: 0.5 m η = 10.6	x: 0 m η = 21.9	x: 0.5 m η = 31.5	x: 0 m η = 24.5	η = 0.3	η = 0.1	x: 0.5 m η = 10.0	x: 0 m η = 6.0	x: 0 m η = 77.9	x: 0 m η = 34.4	η = 3.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 77.9	
N12/N59	x: 0.565 m η = 15.3	x: 0 m η = 27.3	x: 0.565 m η = 39.7	x: 0 m η = 23.5	η = 0.4	η = 0.1	x: 0.565 m η = 15.7	x: 0 m η = 5.5	x: 0.565 m η = 90.3	x: 0.565 m η = 46.3	η = 5.2	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 90.3	
N59/N33	x: 0.565 m η = 15.3	x: 0 m η = 27.3	x: 0.565 m η = 39.8	x: 0 m η = 23.3	η = 0.4	η = 0.1	x: 0.565 m η = 15.8	x: 0 m η = 5.4	x: 0 m η = 90.3	x: 0.565 m η = 46.4	η = 3.8	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 90.3	
N33/N57	x: 0.503 m η = 10.0	x: 0 m η = 16.7	x: 0.503 m η = 24.4	x: 0 m η = 22.0	η = 2.1	η = 0.1	x: 0.503 m η = 6.0	x: 0 m η = 4.9	x: 0 m η = 63.0	x: 0 m η = 33.3	η = 22.9	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 63.0	
N57/N32	x: 0.502 m η = 10.0	x: 0 m η = 16.7	x: 0.502 m η = 24.5	x: 0 m η = 11.8	η = 2.2	η = 0.1	x: 0.502 m η = 6.0	x: 0 m η = 1.4	x: 0 m η = 52.9	x: 0 m η = 29.3	η = 24.5	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 52.9	
N26/N32	x: 0.651 m η = 2.0	x: 0 m η = 1.7	x: 0.651 m η = 0.4	x: 0 m η = 39.0	x: 0.651 m η = 3.4	η = 0.1	x: 0.651 m η < 0.1	x: 0 m η = 15.3	x: 0 m η = 25.4	x: 0 m η = 41.1	η = 1.7	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 41.1	
N33/N35	η = 6.7	η = 11.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.325 m η = 0.5	x: 0 m η = 0.1	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.162 m η < 0.1	x: 0.325 m η = 12.3	x: 0.325 m η = 7.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 12.3	
N37/N36	x: 1 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.2	x: 0.5 m η < 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.2	x: 0.5 m η = 0.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 0.4	
N39/N38	x: 1 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.2	x: 0.5 m η < 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.2	x: 0.5 m η = 0.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 0.4	
N41/N40	x: 1 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.1	x: 0.5 m η < 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.1	x: 0.5 m η = 0.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90		

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo				PROJETO FINAL DE CURSO	
					Rev.: 00	Data: 28/01/17
					Página 29 of 92	

Barras	VERIFICAÇÕES (NBR 14762: 2001)														Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	λ	b/t		
N55/N54	x: 1 m η = 0.2	x: 0 m η = 0.8	x: 0.5 m η < 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.8	x: 0.5 m η = 0.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 0.8	
N30/N44	x: 1.02 m η = 3.8	x: 0 m η = 3.1	x: 0.51 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	x: 0.17 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.34 m η = 3.2	x: 0.68 m η = 3.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 3.9	
N53/N44	x: 1.39 m η = 3.3	x: 0 m η = 11.9	x: 0.697 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 12.2	x: 0.697 m η = 3.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 12.2	
N53/N42	x: 1.39 m η = 12.7	x: 0 m η = 3.6	x: 0.697 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 3.8	x: 0.697 m η = 13.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 13.0	
N51/N42	x: 1.39 m η = 16.7	x: 0 m η = 33.2	x: 0.697 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 33.4	x: 0.697 m η = 16.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 33.4	
N51/N36	x: 1.39 m η = 31.7	x: 0 m η = 17.7	x: 0.697 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 17.9	x: 0.697 m η = 32.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 32.0	
N47/N36	x: 1.39 m η = 30.4	x: 0 m η = 54.8	x: 0.697 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 55.1	x: 0.697 m η = 30.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 55.1	
N47/N38	x: 1.39 m η = 51.6	x: 0 m η = 32.5	x: 0.697 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 32.7	x: 0.697 m η = 51.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 51.9	
N49/N38	x: 1.39 m η = 44.1	x: 0 m η = 76.5	x: 0.697 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 76.7	x: 0.697 m η = 44.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 76.7	
N49/N40	x: 1.39 m η = 71.5	x: 0 m η = 47.2	x: 0.697 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 47.4	x: 0.697 m η = 71.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 71.8	
N55/N40	x: 1.31 m η = 54.3	x: 0 m η = 91.3	x: 0.654 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.436 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.654 m η = 91.5	x: 0.654 m η = 54.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 91.5	
N55/N32	x: 1.25 m η = 82.6	x: 0 m η = 55.2	x: 0.623 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.415 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.623 m η = 55.3	x: 0.623 m η = 82.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 82.8	
N57/N56	η = 0.3	η = 0.2	x: 0.325 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.162 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.325 m η = 0.3	x: 0.325 m η = 0.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 0.3	
N59/N58	η = 0.5	η = 0.3	x: 0.325 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.162 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.325 m η = 0.4	x: 0.325 m η = 0.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 0.6	
N61/N60	η = 0.2	η = 0.2	x: 0.325 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.162 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.325 m η = 0.2	x: 0.325 m η = 0.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 0.2	
N10/N34	x: 1.15 m η = 7.0	x: 0 m η = 29.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.577 m η = 0.2	x: 0 m η < 0.1	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.385 m η < 0.1	x: 0.577 m η = 29.1	x: 0.577 m η = 7.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 29.1	
N9/N34	x: 1.28 m η = 31.4	x: 0 m η = 68.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.639 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.1	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.426 m η < 0.1	x: 0.639 m η = 68.6	x: 0.639 m η = 31.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 68.6	
N63/N62	η = 2.0	η = 0.8	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 1.0	x: 0.5 m η = 2.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.2	
N65/N64	η = 1.6	η = 0.6	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.8	x: 0.5 m η = 1.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 1.9	
N67/N66	η = 1.9	η = 0.9	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 1.1	x: 0.5 m η = 2.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.1	
N69/N68	η = 1.9	η = 0.5	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.8	x: 0.5 m η = 2.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.2	
N70/N71	η = 2.0	η = 1.3	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 1.5	x: 0.5 m η = 2.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.2	
N73/N72	η = 1.7	η = 0.7	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 1.0	x: 0.5 m η = 2.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.0	
N75/N74	η = 3.9	η = 2.7	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 2.9	x: 0.5 m η = 4.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 4.1	
N65/N9	x: 1.22 m η = 62.4	x: 0 m η = 37.3	x: 0.61 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.407 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.61 m η = 37.5	x: 0.61 m η = 62.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 62.7	
N66/N65	x: 1.22 m η = 32.3	x: 0 m η = 80.6	x: 0.61 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.407 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.61 m η = 81.0	x: 0.61 m η = 32.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 81.0	
N8/N66	x: 1.22 m η = 62.6	x: 0 m η = 39.1	x: 0.61 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.407 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.61 m η = 39.4	x: 0.61 m η = 62.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 62.9	
N62/N8	x: 1.22 m η = 45.4	x: 0 m η = 78.1	x: 0.61 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.407 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.61 m η = 78.4	x: 0.61 m η = 45.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 78.4	
N69/N62	x: 1.22 m η = 60.3	x: 0 m η = 60.8	x: 0.61 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.407 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.61 m η = 61.0	x: 0.61 m η = 60.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 61.0	
N5/N69	x: 1.22 m η = 50.9	x: 0 m η = 77.2	x: 0.61 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.407 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.61 m η = 77.6	x: 0.61 m η = 51.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 77.6	
N70/N5	x: 1.17 m η = 56.1	x: 0 m η = 72.4	x: 0.583 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.389 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.583 m η = 72.6	x: 0.583 m η = 56.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 72.6	
N3/N70	x: 1.17 m η = 62.4	x: 0 m η = 70.2	x: 0.583 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0								

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo				PROJETO FINAL DE CURSO	
					Rev.: 00	Data: 28/01/17
					Página 30 of 92	

Barras	VERIFICAÇÕES (NBR 14762: 2001)														Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	λ	b/t		
N103/N89	x: 0.844 m η = 38.6	x: 0 m η = 23.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 7.4	x: 0 m η = 0.4	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 27.4	x: 0 m η = 41.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 41.5	
N89/N97	x: 0.97 m η = 8.3	x: 0 m η = 16.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 3.1	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.97 m η = 18.5	x: 0.97 m η = 8.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.242 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 18.5	
N97/N87	x: 0.97 m η = 8.3	x: 0 m η = 16.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 5.7	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 0.3	x: 0.97 m η = 21.7	x: 0.97 m η = 9.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 21.7	
N87/N95	x: 0.97 m η = 24.9	x: 0 m η = 42.6	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.7	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.3	x: 0.485 m η = 48.2	x: 0.97 m η = 26.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 48.2	
N95/N85	x: 0.97 m η = 24.9	x: 0 m η = 42.6	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 8.8	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 0.8	x: 0.97 m η = 50.8	x: 0.97 m η = 26.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.97 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 50.8	
N85/N99	x: 0.97 m η = 34.9	x: 0 m η = 59.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 8.8	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.8	x: 0 m η = 68.3	x: 0.97 m η = 37.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 68.3	
N99/N91	x: 0.97 m η = 34.9	x: 0 m η = 59.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 11.0	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 1.2	x: 0.97 m η = 70.6	x: 0.97 m η = 37.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 70.6	
N91/N101	x: 0.97 m η = 38.4	x: 0 m η = 67.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 11.0	x: 0.97 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 1.2	x: 0 m η = 79.5	x: 0 m η = 40.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 79.5	
N101/N93	x: 0.97 m η = 38.4	x: 0 m η = 67.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 18.0	x: 0 m η = 0.7	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 3.2	x: 0.97 m η = 86.9	x: 0.97 m η = 42.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 86.9	
N93/N31	x: 0.3 m η = 38.4	x: 0 m η = 64.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 18.0	x: 0.3 m η = 5.7	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 3.5	x: 0 m η = 82.1	x: 0.3 m η = 51.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.15 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 82.1	
N82/N104	x: 0.844 m η = 48.7	x: 0 m η = 74.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.844 m η = 8.3	x: 0.844 m η = 0.6	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.844 m η = 0.7	x: 0.844 m η = 82.8	x: 0.844 m η = 50.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 82.8	
N104/N90	x: 0.844 m η = 25.4	x: 0 m η = 35.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 8.3	x: 0 m η = 0.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.7	x: 0 m η = 43.7	x: 0 m η = 27.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.422 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 43.7	
N90/N98	x: 0.97 m η = 25.4	x: 0 m η = 36.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0 m η = 38.3	x: 0 m η = 26.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.97 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 38.3	
N98/N88	x: 0.97 m η = 17.0	x: 0 m η = 13.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 5.7	x: 0 m η = 0.4	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 0.3	x: 0.97 m η = 14.5	x: 0.97 m η = 19.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 19.3	
N88/N96	x: 0.97 m η = 17.0	x: 0 m η = 13.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.7	x: 0 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.3	x: 0 m η = 14.5	x: 0 m η = 19.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 19.3	
N96/N86	x: 0.97 m η = 38.9	x: 0 m η = 17.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 8.9	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 0.8	x: 0.97 m η = 21.8	x: 0.97 m η = 42.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 42.5	
N86/N100	x: 0.97 m η = 38.9	x: 0 m η = 17.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 8.9	x: 0.97 m η = 0.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.8	x: 0.97 m η = 22.5	x: 0 m η = 42.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 42.5	
N100/N92	x: 0.97 m η = 51.9	x: 0 m η = 24.4	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 10.8	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 1.2	x: 0.97 m η = 29.9	x: 0.97 m η = 56.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 56.2	
N92/N102	x: 0.97 m η = 51.9	x: 0 m η = 24.4	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 10.8	x: 0.97 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 1.2	x: 0.97 m η = 30.5	x: 0 m η = 56.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 56.2	
N102/N94	x: 0.97 m η = 56.1	x: 0 m η = 24.5	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.97 m η = 11.0	x: 0 m η = 0.3	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.97 m η = 1.2	x: 0 m η = 30.6	x: 0.97 m η = 60.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 60.6	
N94/N30	x: 0.2 m η = 56.1	x: 0 m η = 22.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.2 m η = 15.8	x: 0 m η = 1.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.2 m η = 2.5	x: 0 m η = 27.1	x: 0.2 m η = 62.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 62.5	
N83/N110	x: 0.5 m η = 12.7	x: 0 m η = 25.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 29.6	η = 2.6	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 8.8	x: 0 m η = 54.0	x: 0 m η = 21.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 54.0	
N110/N24	x: 0.5 m η = 12.7	x: 0 m η = 25.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 17.0	η = 0.6	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 41.8	x: 0 m η = 17.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 41.8	
N24/N108	x: 0.565 m η = 16.7	x: 0 m η = 29.9	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.565 m η = 27.7	η = 2.1	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.565 m η = 7.7	x: 0.565 m η = 57.5	x: 0.565 m η = 27.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 57.5	
N108/N82	x: 0.565 m η = 16.8	x: 0 m η = 29.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.565 m η = 67.9	η = 7.4	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.565 m η = 46.6	x: 0.565 m η = 97.8	x: 0.565 m η = 46.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 97.8	
N82/N106	x: 0.503 m η = 10.5	x: 0 m η = 17.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 67.9	η = 10.8	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 47.2	x: 0 m η = 85.7	x: 0 m η = 40.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 85.7	
N106/N81	x: 0.502 m η = 10.6	x: 0 m η = 17.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.502 m η = 18.1	η = 7.0	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.502 m η = 3.8	x: 0.502 m η = 35.9	x: 0.502 m η = 21.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 35.9	
N77/N81	x: 0.651 m η = 2.8	x: 0 m η = 1.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.651 m η = 81.5	x: 0.651 m η = 13.4	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.651 m η = 68.3	x: 0.651 m η = 51.6	x: 0.651 m η = 78.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 81.5	
N84/N82	η = 4.9	η = 9.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.325 m η = 0.5	x: 0 m η = 0.1	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.163 m η < 0.1	x: 0.325 m η = 9.6	x: 0.325 m η = 5.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 9.6	
N86/N85	x: 1 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.2	x: 0.5 m η < 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.2	x: 0.5 m η = 0.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 0.4	
N88/N87	x: 1 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.2	x: 0.5 m η < 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.2	x: 0.5 m η = 0.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 0.4	
N90/N89	x: 1 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.2	x: 0.5 m η < 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.2	x: 0.5 m η = 0.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 0.4	
N92/N91</															

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 31 of 92	

Barras	VERIFICAÇÕES (NBR 14762: 2001)														Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	λ	b/t		
N30/N93	x: 1.02 m η = 4.4	x: 0 m η = 3.0	x: 0.51 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	x: 0.17 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.34 m η = 3.0	x: 0.68 m η = 4.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 4.5	
N102/N93	x: 1.39 m η = 4.3	x: 0 m η = 14.2	x: 0.697 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 14.4	x: 0.697 m η = 4.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 14.4	
N102/N91	x: 1.39 m η = 14.7	x: 0 m η = 4.3	x: 0.697 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 4.5	x: 0.697 m η = 15.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 15.0	
N100/N91	x: 1.39 m η = 18.0	x: 0 m η = 35.3	x: 0.697 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 35.5	x: 0.697 m η = 18.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 35.5	
N100/N85	x: 1.39 m η = 33.7	x: 0 m η = 19.1	x: 0.697 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 19.3	x: 0.697 m η = 33.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 33.9	
N96/N85	x: 1.39 m η = 31.7	x: 0 m η = 56.9	x: 0.697 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 57.2	x: 0.697 m η = 31.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 57.2	
N96/N87	x: 1.39 m η = 53.6	x: 0 m η = 33.8	x: 0.697 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 34.1	x: 0.697 m η = 53.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 53.9	
N98/N87	x: 1.39 m η = 45.3	x: 0 m η = 78.6	x: 0.697 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 78.8	x: 0.697 m η = 45.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 78.8	
N98/N89	x: 1.39 m η = 73.5	x: 0 m η = 48.6	x: 0.697 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.464 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.697 m η = 48.8	x: 0.697 m η = 73.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 73.8	
N104/N89	x: 1.31 m η = 55.3	x: 0 m η = 93.0	x: 0.654 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.436 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.654 m η = 93.2	x: 0.654 m η = 55.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 93.2	
N104/N81	x: 1.25 m η = 84.7	x: 0 m η = 56.6	x: 0.623 m η = 0.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.415 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.623 m η = 56.7	x: 0.623 m η = 84.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 84.9	
N105/N81	x: 0.822 m η = 82.4	x: 0 m η = 52.3	x: 0.411 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.205 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.411 m η = 52.3	x: 0.411 m η = 82.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 82.5	
N105/N106	η = 5.6	η = 8.1	x: 0.325 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.163 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.325 m η = 8.2	x: 0.325 m η = 5.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 8.2	
N82/N105	x: 0.822 m η = 47.5	x: 0 m η = 79.9	x: 0.411 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.205 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.411 m η = 80.0	x: 0.411 m η = 47.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 80.0	
N107/N82	x: 0.861 m η = 12.6	x: 0 m η = 12.8	x: 0.431 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.215 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.431 m η = 12.8	x: 0.431 m η = 12.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 12.8	
N107/N108	η = 7.1	η = 11.3	x: 0.325 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.163 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.325 m η = 11.3	x: 0.325 m η = 7.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 11.3	
N24/N107	x: 0.861 m η = 19.0	x: 0 m η = 18.7	x: 0.431 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.215 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.431 m η = 18.8	x: 0.431 m η = 19.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 19.1	
N109/N24	x: 0.82 m η = 15.9	x: 0 m η = 20.8	x: 0.41 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.205 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.41 m η = 20.9	x: 0.41 m η = 15.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 20.9	
N109/N110	η = 3.4	η = 5.1	x: 0.325 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.163 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.325 m η = 5.1	x: 0.325 m η = 3.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 5.1	
N83/N109	x: 0.82 m η = 23.1	x: 0 m η = 15.9	x: 0.41 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.205 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.41 m η = 15.9	x: 0.41 m η = 23.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 23.2	
N22/N83	x: 1.15 m η = 6.2	x: 0 m η = 34.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.577 m η = 0.2	x: 0 m η < 0.1	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.385 m η < 0.1	x: 0.577 m η = 34.3	x: 0.577 m η = 6.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 34.3	
N21/N83	x: 1.28 m η = 33.5	x: 0 m η = 72.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.639 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.1	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.426 m η < 0.1	x: 0.639 m η = 72.5	x: 0.639 m η = 33.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 72.5	
N111/N112	η = 2.0	η = 0.8	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 1.0	x: 0.5 m η = 2.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.3	
N113/N114	η = 1.5	η = 0.5	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.7	x: 0.5 m η = 1.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 1.8	
N115/N116	η = 1.9	η = 0.9	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 1.1	x: 0.5 m η = 2.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.1	
N117/N118	η = 1.9	η = 0.6	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 0.8	x: 0.5 m η = 2.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.2	
N120/N119	η = 2.0	η = 1.3	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 1.5	x: 0.5 m η = 2.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.2	
N121/N122	η = 1.7	η = 0.7	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 1.0	x: 0.5 m η = 2.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 2.0	
N123/N124	η = 3.8	η = 2.7	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 2.9	x: 0.5 m η = 4.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 4.1	
N114/N21	x: 1.22 m η = 62.9	x: 0 m η = 37.6	x: 0.61 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.407 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.61 m η = 37.8	x: 0.61 m η = 63.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 63.2	
N115/N114	x: 1.22 m η = 32.4	x: 0 m η = 80.9	x: 0.61 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.407 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.61 m η = 81.2	x: 0.61 m η = 32.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _u /t) ≤ 90	PASSA η = 81.2	
N20/N115	x: 1.														

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 32 of 92	

Barras	VERIFICAÇÕES (NBR 14762: 2001)														Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	λ	b/t		
N14/N123	x: 1.2 m η = 55.6	x: 0 m η = 85.9	x: 0.601 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.4 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.601 m η = 86.2	x: 0.601 m η = 55.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 86.2	
N76/N14	x: 1.12 m η = 39.4	x: 0 m η = 38.4	x: 0.559 m η = 0.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.373 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.559 m η = 38.7	x: 0.559 m η = 39.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 39.6	
N56/N32	x: 0.822 m η = 86.3	x: 0 m η = 55.5	x: 0.411 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.205 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.411 m η = 55.6	x: 0.411 m η = 86.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 86.4	
N33/N56	x: 0.822 m η = 55.9	x: 0 m η = 91.3	x: 0.411 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.205 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.411 m η = 91.4	x: 0.411 m η = 55.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 91.4	
N58/N33	x: 0.861 m η = 21.4	x: 0 m η = 21.4	x: 0.431 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.215 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.431 m η = 21.5	x: 0.431 m η = 21.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 21.5	
N12/N58	x: 0.861 m η = 23.1	x: 0 m η = 22.9	x: 0.431 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.215 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.431 m η = 23.0	x: 0.431 m η = 23.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 23.2	
N60/N12	x: 0.82 m η = 16.3	x: 0 m η = 22.5	x: 0.41 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.205 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.41 m η = 22.6	x: 0.41 m η = 16.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 22.6	
N34/N60	x: 0.82 m η = 18.5	x: 0 m η = 13.4	x: 0.41 m η = 0.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 0.205 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.41 m η = 13.4	x: 0.41 m η = 18.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 18.6	
N78/N14	x: 0 m η = 33.9	x: 0 m η = 53.4	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 46.3	η = 8.6	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 22.2	x: 0 m η = 99.2	x: 0 m η = 49.1	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 99.2	
N14/N124	x: 0 m η = 21.3	x: 0 m η = 32.4	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 12.3	η = 1.2	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 1.5	x: 0 m η = 44.3	x: 0 m η = 26.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 44.3	
N124/N122	x: 0 m η = 18.9	x: 0 m η = 29.6	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.1	η = 0.6	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 35.6	x: 0 m η = 21.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 35.6	
N122/N16	x: 0 m η = 14.0	x: 0 m η = 20.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.1	η = 0.6	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.3	x: 0 m η = 23.7	x: 0 m η = 16.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.667 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 23.7	
N16/N119	x: 0.6 m η = 23.6	x: 0 m η = 38.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 8.9	η = 0.6	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.8	x: 0 m η = 42.1	x: 0 m η = 27.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 42.1	
N119/N18	x: 0.6 m η = 18.0	x: 0 m η = 33.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.7	η = 0.7	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.5	x: 0.6 m η = 35.9	x: 0 m η = 20.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 35.9	
N18/N118	x: 0.7 m η = 18.0	x: 0 m η = 33.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.6	η = 0.6	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 35.9	x: 0.7 m η = 20.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.35 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 35.9	
N118/N112	x: 0.7 m η = 11.0	x: 0 m η = 31.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.7	η = 0.7	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.3	x: 0.7 m η = 35.8	x: 0 m η = 13.0	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 35.8	
N112/N20	x: 0.7 m η = 11.0	x: 0 m η = 31.0	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.7 m η = 6.5	η = 0.8	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.7 m η = 0.4	x: 0 m η = 35.8	x: 0.7 m η = 12.9	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 35.8	
N20/N116	x: 0.7 m η = 3.5	x: 0 m η = 33.6	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.5	η = 0.8	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.4	x: 0.7 m η = 39.4	x: 0 m η = 6.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.7 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 39.4	
N116/N114	x: 0.7 m η = 3.5	x: 0 m η = 33.6	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.8	η = 0.4	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.3	x: 0 m η = 39.3	x: 0.7 m η = 4.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 39.3	
N114/N22	x: 0.7 m η = 5.4	x: 0 m η = 40.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.7 m η = 11.3	η = 1.0	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.7 m η = 1.3	x: 0.7 m η = 50.4	x: 0.7 m η = 7.7	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 50.4	
N22/N79	x: 1.1 m η = 4.5	x: 0 m η = 31.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 11.3	η = 0.8	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 1.3	x: 0 m η = 42.7	x: 0 m η = 7.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 42.7	
N76/N13	x: 0 m η = 50.3	x: 0 m η = 57.7	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 40.2	η = 5.8	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 16.5	x: 0 m η = 82.1	x: 0 m η = 66.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 82.1	
N13/N123	x: 0 m η = 37.9	x: 0 m η = 52.9	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 12.8	η = 1.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 65.8	x: 0 m η = 41.6	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 65.8	
N123/N121	x: 0 m η = 25.2	x: 0.667 m η = 41.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.667 m η = 5.0	η = 0.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.667 m η = 0.3	x: 0.667 m η = 46.9	x: 0 m η = 26.8	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0.167 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 46.9	
N121/N15	x: 0 m η = 24.9	x: 0 m η = 41.8	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.0	η = 0.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.3	x: 0 m η = 46.9	x: 0 m η = 26.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90	PASSA η = 46.9	
N15/N120	x: 0.6 m η = 19.8	x: 0 m η = 44.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.6 m η = 7.5	η = 0.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.6 m η = 0.6	x: 0.6 m η = 51.6	x: 0.6 m η = 21.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 51.6	
N120/N17	x: 0.6 m η = 19.8	x: 0 m η = 44.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 7.5	η = 0.7	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.6	x: 0 m η = 51.6	x: 0 m η = 21.3	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 51.6	
N17/N117	x: 0.7 m η = 15.0	x: 0 m η = 32.9	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.8	η = 0.5	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.5	x: 0.7 m η = 38.7	x: 0 m η = 17.4	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 38.7	
N117/N111	x: 0.7 m η = 15.0	x: 0 m η = 32.9	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.7 m η = 8.6	η = 0.8	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.7 m η = 0.7	x: 0 m η = 38.7	x: 0.7 m η = 17.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 38.7	
N111/N19	x: 0.7 m η = 11.9	x: 0 m η = 21.1	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.7 m η = 15.2	η = 2.0	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.7 m η = 2.4	x: 0.7 m η = 27.5	x: 0.7 m η = 18.2	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 27.5	
N19/N115	x: 0.7 m η = 12.2	x: 0 m η = 20.6	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 15.2	η = 2.0	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 2.4	x: 0 m η = 27.1	x: 0 m η = 18.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 27.1	
N115/N113	x: 0.7 m η = 9.2	x: 0 m η = 11.3	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 8.1	η = 0.8	V _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.7	x: 0 m η = 15.6	x: 0 m η = 10.5	M _{tSd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 15.6	
N113/N21	x: 0.7 m η = 9.2	x: 0 m η = 11.2	M _{Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.7 m η = 5.6	η = 0.4	V _{Sd</}									

Barras	VERIFICAÇÕES (NBR 14762: 2001)													Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	λ	b/t	
N105/N77	x: 0.467 m η = 3.1	x: 0 m η = 2.0	M _{sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.467 m η = 65.0	η = 10.7	V _{sd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.467 m η = 43.4	x: 0.467 m η = 43.0	x: 0.467 m η = 68.1	M _{t,5d} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 68.1
N25/N1	x: 0 m η = 50.1	x: 0 m η = 60.2	x: 0.5 m η = 0.7	x: 0 m η = 40.1	η = 5.8	η < 0.1	x: 0.5 m η < 0.1	x: 0 m η = 16.4	x: 0 m η = 85.1	x: 0 m η = 66.7	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 85.1
N1/N74	x: 0 m η = 37.8	x: 0 m η = 55.4	x: 0.666 m η = 0.7	x: 0 m η = 13.1	η = 1.5	η < 0.1	x: 0.5 m η < 0.1	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 69.0	x: 0 m η = 41.8	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 69.0
N74/N72	x: 0 m η = 25.1	x: 0.667 m η = 44.4	x: 0.667 m η = 0.7	x: 0.667 m η = 5.3	η = 0.5	η < 0.1	x: 0.5 m η < 0.1	x: 0.667 m η = 0.3	x: 0.667 m η = 50.1	x: 0 m η = 27.1	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 50.1
N72/N3	x: 0 m η = 24.8	x: 0 m η = 44.4	x: 0.667 m η = 0.7	x: 0 m η = 5.3	η = 0.5	η < 0.1	x: 0.5 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.3	x: 0 m η = 50.1	x: 0 m η = 26.6	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 50.1
N27/N2	x: 0 m η = 36.0	x: 0 m η = 53.2	x: 0.5 m η = 0.5	x: 0 m η = 46.1	η = 8.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 22.0	x: 0 m η = 99.0	x: 0 m η = 51.8	η = 0.2	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 99.0
N2/N75	x: 0 m η = 23.0	x: 0 m η = 32.2	x: 0.666 m η = 0.5	x: 0 m η = 12.6	η = 1.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 1.6	x: 0 m η = 44.3	x: 0 m η = 29.4	η = 0.2	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 44.3
N75/N73	x: 0 m η = 20.5	x: 0 m η = 29.5	x: 0.667 m η = 0.6	x: 0 m η = 6.3	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 35.6	x: 0 m η = 23.7	η = 0.2	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 35.6
N73/N4	x: 0 m η = 15.6	x: 0 m η = 20.6	x: 0.667 m η = 0.6	x: 0 m η = 5.5	η = 0.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 0.3	x: 0 m η = 23.7	x: 0 m η = 18.5	η = 0.2	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 23.7
N3/N71	x: 0.6 m η = 19.7	x: 0 m η = 47.7	x: 0.6 m η = 1.0	x: 0.6 m η = 8.0	η = 0.5	η < 0.1	x: 0.6 m η < 0.1	x: 0.6 m η = 0.6	x: 0.6 m η = 56.2	x: 0 m η = 21.9	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 56.2
N71/N5	x: 0.6 m η = 19.7	x: 0 m η = 47.7	x: 0.6 m η = 1.0	x: 0 m η = 8.0	η = 0.7	η < 0.1	x: 0.6 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.6	x: 0 m η = 56.2	x: 0 m η = 21.8	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 56.2
N5/N68	x: 0.7 m η = 17.1	x: 0 m η = 35.7	x: 0.7 m η = 1.0	x: 0 m η = 6.8	η = 0.5	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.5	x: 0.7 m η = 42.4	x: 0 m η = 20.5	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 42.4
N68/N62	x: 0.7 m η = 17.1	x: 0 m η = 35.7	x: 0.7 m η = 1.0	x: 0.7 m η = 8.2	η = 0.8	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0.7 m η = 0.7	x: 0.7 m η = 42.4	x: 0.7 m η = 20.0	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 42.4
N62/N7	x: 0.7 m η = 14.1	x: 0 m η = 23.9	x: 0.7 m η = 1.0	x: 0.7 m η = 15.6	η = 2.0	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0.7 m η = 2.5	x: 0.7 m η = 31.2	x: 0.7 m η = 21.4	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 31.2
N7/N66	x: 0.7 m η = 14.4	x: 0 m η = 23.5	x: 0.7 m η = 1.0	x: 0 m η = 15.6	η = 2.0	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0 m η = 2.5	x: 0 m η = 30.8	x: 0 m η = 21.7	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 30.8
N66/N64	x: 0.7 m η = 9.5	x: 0 m η = 12.3	x: 0.7 m η = 1.0	x: 0 m η = 7.6	η = 0.8	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.6	x: 0 m η = 16.4	x: 0 m η = 11.8	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 16.4
N64/N9	x: 0.7 m η = 9.5	x: 0 m η = 12.3	x: 0.7 m η = 1.1	x: 0.7 m η = 5.5	η = 0.5	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0.7 m η = 0.3	x: 0.7 m η = 15.4	x: 0.7 m η = 11.3	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 15.4
N9/N29	x: 1.1 m η = 21.6	x: 0 m η = 14.4	x: 1.1 m η = 1.1	x: 1.1 m η = 33.5	η = 1.7	η < 0.1	x: 1.1 m η < 0.1	x: 1.1 m η = 11.3	x: 1.1 m η = 28.6	x: 1.1 m η = 37.2	η = 0.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 37.2
N29/N60	x: 0.5 m η = 26.9	x: 0 m η = 15.6	x: 0 m η = 1.6	x: 0.5 m η = 17.1	η = 3.4	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0.5 m η = 3.0	x: 0.5 m η = 23.1	x: 0 m η = 37.6	η = 4.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 37.6
N60/N11	x: 0.5 m η = 37.0	x: 0 m η = 18.9	x: 0 m η = 1.4	x: 0 m η = 17.1	η = 1.9	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 31.2	x: 0 m η = 46.3	η = 4.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 46.3
N11/N58	x: 0.565 m η = 37.4	x: 0 m η = 18.6	x: 0 m η = 1.1	x: 0.565 m η = 14.9	η = 1.6	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0.565 m η = 2.2	x: 0.565 m η = 29.5	x: 0.565 m η = 45.2	η = 4.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 45.2
N58/N35	x: 0.565 m η = 49.9	x: 0 m η = 31.5	x: 0 m η = 0.8	x: 0.565 m η = 57.9	η = 4.8	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0.565 m η = 33.7	x: 0.565 m η = 71.9	x: 0.565 m η = 77.7	η = 4.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 77.7
N35/N56	x: 0.503 m η = 50.0	x: 0 m η = 31.5	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 57.9	η = 5.2	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 33.8	x: 0 m η = 71.8	x: 0 m η = 77.7	η = 4.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 77.7
N56/N26	x: 0.467 m η = 0.5	x: 0 m η = 1.1	x: 0 m η = 0.3	x: 0.467 m η = 45.9	η = 8.3	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0.467 m η = 21.7	x: 0.467 m η = 46.5	x: 0.467 m η = 29.5	η = 4.3	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 46.5
N4/N70	x: 0.6 m η = 26.5	x: 0 m η = 38.4	x: 0.6 m η = 1.1	x: 0 m η = 9.7	η = 0.6	η < 0.1	x: 0.6 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.9	x: 0 m η = 42.0	x: 0 m η = 31.8	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 42.0
N70/N6	x: 0.6 m η = 18.9	x: 0 m η = 29.9	x: 0.6 m η = 1.2	x: 0 m η = 7.2	η = 0.7	η < 0.1	x: 0.6 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.5	x: 0.6 m η = 32.8	x: 0 m η = 21.8	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 32.8
N6/N69	x: 0.7 m η = 18.9	x: 0 m η = 29.8	x: 0.7 m η = 1.2	x: 0 m η = 6.7	η = 0.6	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 32.8	x: 0.7 m η = 21.4	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 32.8
N69/N63	x: 0.7 m η = 11.9	x: 0 m η = 27.9	x: 0.7 m η = 1.2	x: 0 m η = 6.2	η = 0.6	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.4	x: 0.7 m η = 32.8	x: 0 m η = 14.4	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 32.8
N63/N8	x: 0.7 m η = 12.0	x: 0 m η = 27.9	x: 0.7 m η = 1.2	x: 0.7 m η = 6.9	η = 0.8	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0.7 m η = 0.5	x: 0 m η = 32.8	x: 0.7 m η = 14.3	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 32.8
N8/N67	x: 0.7 m η = 4.5	x: 0 m η = 30.3	x: 0.7 m η = 1.2	x: 0 m η = 6.9	η = 0.8	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.5	x: 0.7 m η = 36.3	x: 0 m η = 6.8	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 36.3
N67/N65	x: 0.7 m η = 4.5	x: 0 m η = 30.2	x: 0.7 m η = 1.2	x: 0 m η = 5.4	η = 0.4	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.3	x: 0 m η = 36.3	x: 0.7 m η = 6.1	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 36.3
N65/N10	x: 0.7 m η = 4.0	x: 0 m η = 36.5	x: 0.7 m η = 1.3	x: 0.7 m η = 10.6	η = 1.0	η < 0.1	x: 0.7 m η < 0.1	x: 0.7 m η = 1.1	x: 0.7 m η = 47.0	x: 0.7 m η = 7.8	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 47.0
N10/N28	x: 1.1 m η = 3.5	x: 0 m η = 29.7	x: 1.1 m η = 1.3	x: 1.1 m η = 11.4	η = 0.9	η < 0.1	x: 1.1 m η < 0.1	x: 1.1 m η = 1.3	x: 0 m η = 41.1	x: 0 m η = 7.8	η = 0.4	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200	(b _w /t) ≤ 200	PASSA η = 41.1

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 34 of 92	

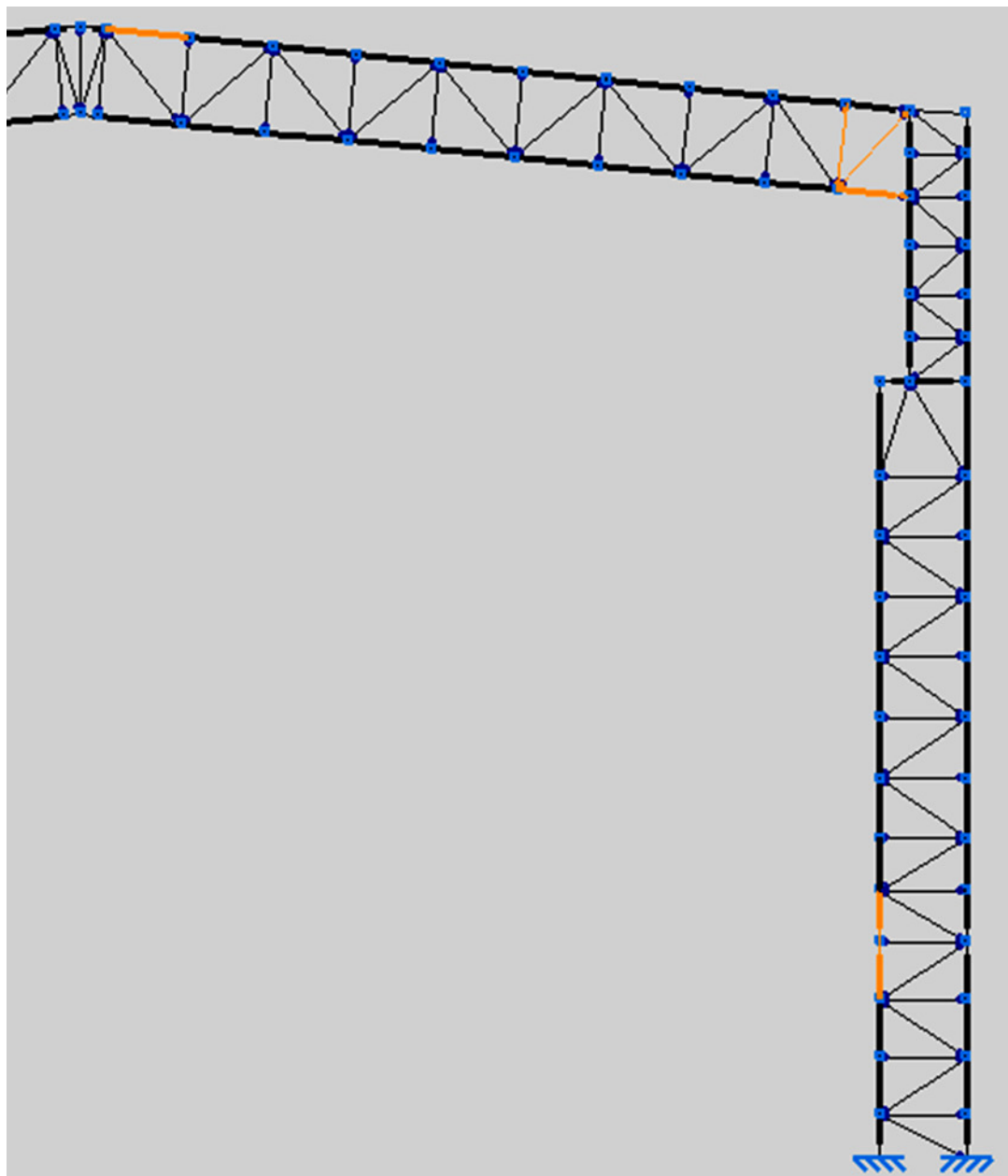
Barras	VERIFICAÇÕES (NBR 14762: 2001)												Estado
	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x M_y$	$N_t M_x M_y$	M_t	λ	
Notação: N_t : Resistência à tração N_c : Resistência à compressão M_x : Resistência à flexão eixo X M_y : Resistência à flexão eixo Y V_x : Resistência ao esforço cortante X V_y : Resistência ao esforço cortante Y $M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados $M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados $N_c M_x M_y$: Resistência à flexo-compressão $N_t M_x M_y$: Resistência à flexo-tração M_t : Resistência à torção λ : Limitação de esbeltez b/t : Valores máximos da relação comprimento-espessura x : Distância à origem da barra η : Coeficiente de aproveitamento (%) $N.P.$: Não procede													
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. ⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante. ⁽³⁾ Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁵⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽⁶⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.													

Para a demonstração dos cálculos feitos pelo programa, selecionaremos os seguintes trechos dos perfis onde sua solicitação foi maior. Selecionaremos o seguinte:

- Um trecho do Banzo superior do pórtico; trecho entre N44/N52 próximo à cumeeira.
- Um trecho do Banzo inferior do pórtico; trecho entre N55/N33 próximo à baioneta.
- Uma diagonal do pórtico; trecho entre N55/N32 próximo à baioneta.
- Um montante do pórtico; trecho entre N55/N54 próximo à baioneta.
- Dois trechos do Banzo da coluna; trecho entre N73/N4 e N4/N70, sendo o N4 o nó de mudança de secção do banzo.

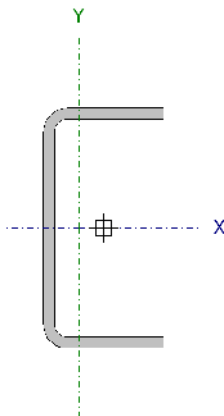
	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 35 of 92			

Diagrama mostrando posições dos elementos selecionados.



Verificações E.L.U. (Completo) – Para as barras selecionadas.

Barra N52/N44

Perfil: C 200x100x10 Material: Aço (A-36)									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
	N52	N44	0.970	36.68	2160.74	347.94	12.23	-20.30	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade								
			Flambagem		Flambagem lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.		
	β		2.06	1.00	1.00		1.00		
L _K		2.000	0.970	0.970		0.970			
C _m , C _b		1.000	1.000	1.000		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos para flambagem C _b : Coeficiente de momentos para flambagem lateral									

Resistência à tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.6)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.321



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N44, para a combinação de ações AP+Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.05·CSS-D+1.4·V0.

N_{t,Sd}: asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

N_{t,Sd} : 27.314 t

A força normal de tração resistente de cálculo **N_{t,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

N_{t,Rd} : 84.983 t

Onde:

A: área bruta da seção transversal da barra

A : 36.68 cm²

f_y: tensão de escoamento

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ: coeficiente de ponderação das resistências

γ : 1.1

Resistência à compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.7)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.743



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N52, para a combinação de ações 1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-D+1.5·CI-D+1.5·CSS-E+0.84·V180.

N_{c,Sd}: força normal de compressão solicitante de cálculo

N_{c,Sd} : 44.921 t

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 37 of 92			

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} = \rho A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : 60.433 \text{ t}$$

Onde:

$$\rho: \text{fator de redução associado à flambagem, } \rho = \frac{1}{\beta + (\beta^2 - \lambda_0^2)^{0.5}} \leq 1$$

$$\rho_{yy} : 0.71$$

$$\rho_{ft} : 0.89$$

Sendo:

$$\beta = 0.5 \left[1 + \alpha (\lambda_0 - 0.2) + \lambda_0^2 \right]$$

$$\beta_{yy} : 0.89$$

$$\beta_{ft} : 0.67$$

Onde α é o fator de imperfeição inicial conforme tabela 7

$$\alpha_{yy} : 0.49$$

$$\alpha_{ft} : 0.34$$

λ_0 : índice de esbelteza reduzido para barras comprimidas

$$\lambda_{0, yy} : 0.72$$

$$\lambda_{0, ft} : 0.49$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A_{ef} f_y}{N_e} \right]^{-0.5}$$

Sendo:

N_e : força normal de flambagem elástica da barra, conforme 7.7.2.2

A_{ef} : área efetiva da seção transversal da barra

$$A_{ef} : 36.68 \text{ cm}^2$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : 1.1$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 179.405 \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y

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

$$N_{ey} : 179.405 \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{et} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right]$$

$$N_{ext} : 383.575 \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : 4736.354 \text{ t}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{et} : 400.327 \text{ t}$$

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$$I_x : 2160.74 \text{ cm}^4$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : 347.94 \text{ cm}^4$$

I_t : momento de inércia à torção uniforme

$$I_t : 12.23 \text{ cm}^4$$

C_w : constante de empenamento da seção

$$C_w : 20278.69 \text{ cm}^6$$

E : módulo de elasticidade

$$E : 2089704 \text{ kgf/cm}^2$$

G : módulo de elasticidade transversal

$$G : 803732 \text{ kgf/cm}^2$$

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : 0.970 \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : 2.000 \text{ m}$$

$K_t L_t$: comprimento efetivo de flambagem por torção

$$K_t L_t : 0.970 \text{ m}$$

r_0 : raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : 11.64 \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

$$r_x : 7.67 \text{ cm}$$

$$r_y : 3.08 \text{ cm}$$

x_0, y_0 : coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

$$x_0 : -81.97 \text{ mm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 38 of 92			

Resistência à flexão eixo Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \mathbf{0.180} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N44, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-E+0.84·V180 $M_{Sd} : \underline{0.206} \text{ t}\cdot\text{m}$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como: $M_{Rd} : \underline{1.147} \text{ t}\cdot\text{m}$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

Onde:

W_{ef} : módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : tensão de escoamento

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\begin{aligned} W_{ef} &: \underline{49.50} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

Resistência ao esforço cortante X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \mathbf{0.008} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N52, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-E+0.84·V180. $V_{Sd} : \underline{0.182} \text{ t}$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$\text{para } {}^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_y h t / \gamma$$

$$\mathbf{1.08(EK_v/f_y)^{0.5}} : \underline{33.88}$$

$$\text{para } {}^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5} / \gamma$$

$$h/t : \underline{8.00}$$

$$\text{para } {}^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3 / h] / \gamma$$

$$\mathbf{1.4(EK_v/f_y)^{0.5}} : \underline{43.92}$$

Onde:

t : espessura da alma

$$t : \underline{10.00} \text{ mm}$$

h : largura da alma

$$h : \underline{80.00} \text{ mm}$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

E : módulo de elasticidade

$$E : \underline{2089704} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v : coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

$$k_v = 5.34$$

Resistência ao esforço cortante Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 39 of 92			

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N44, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-E+0.84·V180

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$\eta : 0.032$ ✓

Onde:

M_{Sd} : momento fletor solicitante de cálculo

$M_{0,Rd}$: momento fletor resistente de cálculo conforme 7.8.1.1

V_{Sd} : força cortante solicitante de cálculo

V_{Rd} : força cortante resistente de cálculo conforme 7.8.2

$M_{Sd} : 0.206 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{0,Rd} : 1.147 \text{ t}\cdot\text{m}$

$V_{Sd} : 0.143 \text{ t}$

$V_{Rd} : 22.241 \text{ t}$

Resistência à flexo-compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.2)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N44, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-D+1.5·CI-D+1.5·CSS-E+0.84·V180.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{C_{mx} M_{x,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ex}}\right) M_{x,Rd}} + \frac{C_{my} M_{y,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ey}}\right) M_{y,Rd}} \leq 1$$

$\eta_1 : 0.983$ ✓

$$\eta_2 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{0,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$\eta_2 : 0.708$ ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$: força normal de compressão solicitante de cálculo

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$N_{c,Rd}$: força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 7.7

$N_{0,Rd}$: força normal de compressão resistente de cálculo, calculada conforme 7.7, tomando-se $\rho = 1$

C_{mx} , C_{my} : coeficientes de equivalência de momento na flexão composta em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1 com $C_b = 1$

N_{ex} , N_{ey} : forças normais de flambagem elástica em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

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

$N_{c,Sd} : 44.917 \text{ t}$

$M_{x,Sd} : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{y,Sd} : 0.206 \text{ t}\cdot\text{m}$

$N_{c,Rd} : 60.433 \text{ t}$

$N_{0,Rd} : 84.983 \text{ t}$

$C_{mx} : 1.00$

$C_{my} : 1.00$

$M_{x,Rd} : 5.006 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{y,Rd} : 1.147 \text{ t}\cdot\text{m}$

$N_{ex} : 4736.354 \text{ t}$

$N_{ey} : 179.405 \text{ t}$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 40 of 92			

Sendo:

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

I_x : 2160.74 cm⁴

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

I_y : 347.94 cm⁴

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$K_x L_x$: 0.970 m

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$K_y L_y$: 2.000 m

E: módulo de elasticidade

E : 2089704 kgf/cm²

Resistência à flexo-tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.3)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N44, para a combinação AP+Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento+1.05·CSS-D+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{xt,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{yt,Rd}} + \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η_1 : 0.359



$$\eta_2 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} - \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η_2 < 0.001



Onde:

$N_{t,Sd}$: força normal de tração solicitante de cálculo

$N_{t,Sd}$: 27.314 t

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$M_{x,Sd}$: 0.000 t·m

$M_{y,Sd}$: 0.103 t·m

$N_{t,Rd}$: força normal de tração resistente de cálculo conforme 7.6

$N_{t,Rd}$: 84.983 t

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1

$M_{x,Rd}$: 5.006 t·m

$M_{y,Rd}$: 1.147 t·m

$M_{xt,Rd}$, $M_{yt,Rd}$: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados com base no escoamento da fibra tracionada da seção bruta

$$M_{xt,Rd} = W_{xt} f_y / \gamma$$

$M_{xt,Rd}$: 5.006 t·m

$$M_{yt,Rd} = W_{yt} f_y / \gamma$$

$M_{yt,Rd}$: 2.714 t·m

Sendo:

W_{xt} , W_{yt} : módulos de resistência elásticos da seção bruta em relação a os eixos X e Y, respectivamente, referentes à fibra tracionada

W_{xt} : 216.07 cm³

W_{yt} : 117.15 cm³

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Limitação de esbeltez (NBR 14762: 2001, Itens 7.6.2 e 7.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda = KL/r < 200$$

λ_{xx} : 13



λ_{yy} : 65



	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 41 of 92	

Onde:

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X $K_x L_x$: 0.970 m
 $K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y $K_y L_y$: 2.000 m
 r_x : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X r_x : 7.67 cm
 r_y : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y r_y : 3.08 cm

Valores máximos da relação comprimento-espessura (NBR 14762: 2001 Artigo 7.1 Tabela 3)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

$$(b / t) \leq 200$$

$$(b/t) : \underline{16}$$

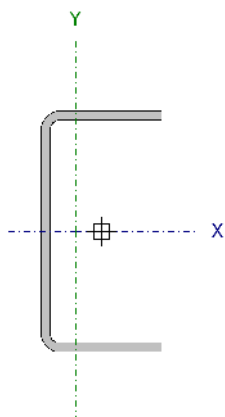


Sendo:

b: a largura do elemento
t: a espessura

b : 160.00 mm
t : 10.00 mm

Barra N33/N55

Perfil: C 200x100x8 Material: Aço (A-36)									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
	N33	N55	0.844	29.88	1806.24	289.08	6.37	-21.26	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade								
			Flambagem		Flambagem lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.		
	β		2.37	1.00	1.00		1.00		
L _K		2.000	0.844	0.844		0.844			
C _m , C _b		1.000	1.000	1.000		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos para flambagem C _b : Coeficiente de momentos para flambagem lateral									

Resistência à tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.6)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.440 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N55, para a combinação de ações AP+Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V0.

N_{t,Sd}: asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : 30.429 \text{ t}$$

A força normal de tração resistente de cálculo **N_{t,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

$$N_{t,Rd} : 69.216 \text{ t}$$

Onde:

A: área bruta da seção transversal da barra

$$A : 29.88 \text{ cm}^2$$

f_y: tensão de escoamento

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

γ: coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : 1.1$$

Resistência à compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.7)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.879 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N33, para a combinação de ações 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90.

N_{c,Sd}: força normal de compressão solicitante de cálculo

$$N_{c,Sd} : 43.555 \text{ t}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo **N_{c,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} = \rho A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : 49.529 \text{ t}$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 43 of 92			

Onde:

$$\rho: \text{fator de redução associado à flambagem, } \rho = \frac{1}{\beta + (\beta^2 - \lambda_0^2)^{0.5}} \leq 1$$

$$\rho_{yy} : 0.72$$

$$\rho_{ft} : 0.91$$

Sendo:

$$\beta = 0.5 \left[1 + \alpha (\lambda_0 - 0.2) + \lambda_0^2 \right]$$

$$\beta_{yy} : 0.88$$

$$\beta_{ft} : 0.64$$

Onde α é o fator de imperfeição inicial conforme tabela 7

$$\alpha_{yy} : 0.49$$

$$\alpha_{ft} : 0.34$$

λ_0 : índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas

$$\lambda_{0, yy} : 0.71$$

$$\lambda_{0, ft} : 0.44$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A_{ef} f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

N_e : força normal de flambagem elástica da barra, conforme 7.7.2.2

A_{ef} : área efetiva da seção transversal da barra

$$A_{ef} : 29.88 \text{ cm}^2$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : 1.1$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 149.053 \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y

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

$$N_{ey} : 149.053 \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \left[1 - \left(x_0 / r_0 \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{et} \left[1 - \left(x_0 / r_0 \right)^2 \right]}{\left(N_{ex} + N_{et} \right)^2}} \right]$$

$$N_{ext} : 386.860 \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : 5225.139 \text{ t}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{et} : 402.219 \text{ t}$$

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$$I_x : 1806.24 \text{ cm}^4$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : 289.08 \text{ cm}^4$$

I_t : momento de inércia à torção uniforme

$$I_t : 6.37 \text{ cm}^4$$

C_w : constante de empenamento da seção

$$C_w : 17596.97 \text{ cm}^6$$

E : módulo de elasticidade

$$E : 2089704 \text{ kgf/cm}^2$$

G : módulo de elasticidade transversal

$$G : 803732 \text{ kgf/cm}^2$$

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : 0.844 \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : 2.000 \text{ m}$$

$K_t L_t$: comprimento efetivo de flambagem por torção

$$K_t L_t : 0.844 \text{ m}$$

r_0 : raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : 11.80 \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

$$r_x : 7.78 \text{ cm}$$

$$r_y : 3.11 \text{ cm}$$

x_0, y_0 : coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

$$x_0 : -83.16 \text{ mm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 44 of 92			

Resistência à flexão eixo Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.027} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+Ponte Rolante+1.4·Vigade Rolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90.

$$M_{Sd} : \underline{0.026} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{0.940} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

Onde:

W_{ef} : módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{40.57} \text{ cm}^3$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

Resistência ao esforço cortante X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{wSd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+Ponte Rolante+1.4·Vigade Rolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90.

$$V_{Sd} : \underline{0.044} \text{ t}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$

$$V_{Sd} : \underline{0.022} \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{9.341} \text{ t}$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_y h t / \gamma$$

$$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{33.88}$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5} / \gamma$$

$$h/t : \underline{10.50}$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3 / h] / \gamma$$

$$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{43.92}$$

Onde:

t : espessura da alma

$$t : \underline{8.00} \text{ mm}$$

h : largura da alma

$$h : \underline{84.00} \text{ mm}$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

E : módulo de elasticidade

$$E : \underline{2089704} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v : coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

$$k_v = 5.34$$

Resistência ao esforço cortante Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 45 of 92			

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} são obtidos no nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$\eta : 0.001$ ✓

Onde:

M_{sd} : momento fletor solicitante de cálculo

$M_{0,Rd}$: momento fletor resistente de cálculo conforme 7.8.1.1

V_{sd} : força cortante solicitante de cálculo

V_{Rd} : força cortante resistente de cálculo conforme 7.8.2

$M_{sd} : 0.026 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{0,Rd} : 0.940 \text{ t}\cdot\text{m}$

$V_{sd} : 0.044 \text{ t}$

$V_{Rd} : 18.682 \text{ t}$

Resistência à flexo-compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.2)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{C_{mx} M_{x,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ex}}\right) M_{x,Rd}} + \frac{C_{my} M_{y,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ey}}\right) M_{y,Rd}} \leq 1$$

$\eta_1 : 0.918$ ✓

$$\eta_2 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{0,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$\eta_2 : 0.656$ ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$: força normal de compressão solicitante de cálculo

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$N_{c,Rd}$: força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 7.7

$N_{0,Rd}$: força normal de compressão resistente de cálculo, calculada conforme 7.7, tomando-se $\rho = 1$

C_{mx} , C_{my} : coeficientes de equivalência de momento na flexão composta em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1 com $C_b = 1$

N_{ex} , N_{ey} : forças normais de flambagem elástica em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

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

$N_{c,Sd} : 43.553 \text{ t}$

$M_{x,Sd} : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{y,Sd} : 0.026 \text{ t}\cdot\text{m}$

$N_{c,Rd} : 49.529 \text{ t}$

$N_{0,Rd} : 69.216 \text{ t}$

$C_{mx} : 1.00$

$C_{my} : 1.00$

$M_{x,Rd} : 4.185 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{y,Rd} : 0.940 \text{ t}\cdot\text{m}$

$N_{ex} : 5225.139 \text{ t}$

$N_{ey} : 149.053 \text{ t}$

Sendo:

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$I_x : 1806.24 \text{ cm}^4$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 46 of 92			

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y
 $K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X
 $K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y
E: módulo de elasticidade

I_y : 289.08 cm⁴
 $K_x L_x$: 0.844 m
 $K_y L_y$: 2.000 m
E: 2089704 kgf/cm²

Resistência à flexo-tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.3)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N55, para a combinação AP+Telhas+1.4·Ponte Rolante+1.4·Vigade Rolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η_1 : 0.444 ✓

$$\eta_2 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} - \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η_2 < 0.001 ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$: força normal de tração solicitante de cálculo
 $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente
 $N_{t,Rd}$: força normal de tração resistente de cálculo conforme 7.6
 $M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1
 $M_{xt,Rd}$, $M_{yt,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados com base no escoamento da fibra tracionada da seção bruta

$N_{t,Sd}$: 30.429 t
 $M_{x,Sd}$: 0.000 t·m
 $M_{y,Sd}$: 0.010 t·m
 $N_{t,Rd}$: 69.216 t
 $M_{x,Rd}$: 4.185 t·m
 $M_{y,Rd}$: 0.940 t·m

$$M_{xt,Rd} = W_{xt} f_y / \gamma$$

$M_{xt,Rd}$: 4.185 t·m

$$M_{yt,Rd} = W_{yt} f_y / \gamma$$

$M_{yt,Rd}$: 2.330 t·m

Sendo:

W_{xt} , W_{yt} : módulos de resistência elásticos da seção bruta em relação a os eixos X e Y, respectivamente, referentes à fibra tracionada

W_{xt} : 180.62 cm³
 W_{yt} : 100.59 cm³

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Limitação de esbeltez (NBR 14762: 2001, Itens 7.6.2 e 7.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda = KL/r < 200$$

λ_{xx} : 11 ✓

λ_{yy} : 64 ✓

Onde:

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X
 $K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y
 r_x : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X
 r_y : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y

$K_x L_x$: 0.844 m
 $K_y L_y$: 2.000 m
 r_x : 7.78 cm
 r_y : 3.11 cm

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 47 of 92	

Valores máximos da relação comprimento-espessura (NBR 14762: 2001 Artigo 7.1 Tabela 3)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N33.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

$$(b / t) \leq 90$$

$$(b/t) : \underline{21}$$



Sendo:

b: a largura do elemento

t: a espessura

b : 168.00 mm

t : 8.00 mm

Barra N55/N54

Perfil: C 100x40x3.04, Caixa dupla com presilhas (Distância entre os perfis: 100.0 / 100.0 mm)
Material: Aço (A-36)

	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)
	N55	N54	1.000	10.33	150.24	672.19	0.32
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme							
	Flambagem		Flambagem lateral				
	Plano ZX		Plano ZY		Aba sup.	Aba inf.	
β	1.00		1.00		1.00	1.00	
L _K	1.000		1.000		1.000	1.000	
C _m , C _b	1.000		1.000		1.000	1.000	
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos para flambagem C _b : Coeficiente de momentos para flambagem lateral							

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Resistência à tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.6)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N54, para a combinação de ações AP+Telhas+1.4·Ponte Rolante+1.4·Vigade Rolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V0.

N_{t,Sd}: asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : \underline{0.021} \text{ t}$$

A força normal de tração resistente de cálculo **N_{t,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

$$N_{t,Rd} : \underline{11.967} \text{ t}$$

Onde:

A: área bruta da seção transversal da barra

$$A : \underline{5.17} \text{ cm}^2$$

f_y: tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ: coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

Resistência à compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.7)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 49 of 92			

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N55, para a combinação de ações 1.4·AP+1.4·Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-D+0.84·V90.

N_{c,Sd}: força normal de compressão solicitante de cálculo

$$\mathbf{N_{c,Sd}} : \underline{0.087} \text{ t}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo **N_{c,Rd}** deve ser tomada como:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} = \rho \mathbf{A_{ef}} f_y / \gamma$$

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{11.028} \text{ t}$$

Onde:

$$\rho: \text{fator de redução associado à flambagem, } \rho = \frac{1}{\beta + (\beta^2 - \lambda_0^2)^{0.5}} \leq 1$$

$$\rho_{yy} : \underline{0.95}$$

$$\rho_{ft} : \underline{0.92}$$

Sendo:

$$\beta = 0.5 \left[1 + \alpha (\lambda_0 - 0.2) + \lambda_0^2 \right]$$

$$\beta_{yy} : \underline{0.57}$$

$$\beta_{ft} : \underline{0.62}$$

Onde α é o fator de imperfeição inicial conforme tabela 7

$$\alpha_{yy} : \underline{0.49}$$

$$\alpha_{ft} : \underline{0.34}$$

λ_0 : índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.31}$$

$$\lambda_{0, ft} : \underline{0.41}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A_{ef} f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

N_e: força normal de flambagem elástica da barra, conforme 7.7.2.2

A_{ef}: área efetiva da seção transversal da barra

$$\mathbf{A_{ef}} : \underline{5.17} \text{ cm}^2$$

f_y: tensão de escoamento

$$\mathbf{f_y} : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$\mathbf{N_e} : \underline{77.815} \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y

$$\mathbf{N_{ey}} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$\mathbf{N_{ey}} : \underline{139.320} \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção

$$\mathbf{N_{ext}} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{et} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right]$$

$$\mathbf{N_{ext}} : \underline{77.815} \text{ t}$$

Onde:

$$\mathbf{N_{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$\mathbf{N_{ex}} : \underline{154.945} \text{ t}$$

$$\mathbf{N_{et}} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

$$\mathbf{N_{et}} : \underline{108.954} \text{ t}$$

I_x: momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$$\mathbf{I_x} : \underline{75.12} \text{ cm}^4$$

I_y: momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$\mathbf{I_y} : \underline{7.61} \text{ cm}^4$$

I_t: momento de inércia à torção uniforme

$$\mathbf{I_t} : \underline{0.16} \text{ cm}^4$$

C_w: constante de empenamento da seção

$$\mathbf{C_w} : \underline{120.63} \text{ cm}^6$$

E: módulo de elasticidade

$$\mathbf{E} : \underline{2089704} \text{ kgf/cm}^2$$

G: módulo de elasticidade transversal

$$\mathbf{G} : \underline{803732} \text{ kgf/cm}^2$$

K_xL_x: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$\mathbf{K_x L_x} : \underline{1.000} \text{ m}$$

K_yL_y: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$\mathbf{K_y L_y} : \underline{0.336} \text{ m}$$

K_tL_t: comprimento efetivo de flambagem por torção

$$\mathbf{K_t L_t} : \underline{0.300} \text{ m}$$

r₀: raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 50 of 92	

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : \underline{5.15} \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

$$r_x : \underline{3.81} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.21} \text{ cm}$$

x_0, y_0 : coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

$$x_0 : \underline{-32.45} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.500 m do nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento

$$M_{Sd} : \underline{0.000} \text{ t·m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b)

$$M_{Rd} : \underline{0.348} \text{ t·m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (7.8.1.1)

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{0.348} \text{ t·m}$$

Onde:

W_{ef} : módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{15.02} \text{ cm}^3$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

b) Flambagem lateral com torção (7.8.1.1)

$$M_{Rd} = \rho_{FLT} W_{c,ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{0.348} \text{ t·m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$: módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, adotando $\sigma = \rho_{FLT} f_y$

$$W_{c,ef} : \underline{15.02} \text{ cm}^3$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

ρ_{FLT} : fator de redução associado à flambagem lateral com torção

$$^{(1)} \lambda_0 \leq 0.6 \rightarrow \rho_{FLT} = 1$$

$$^{(1)} \rho_{FLT} : \underline{1.00}$$

$$^{(2)} 0.6 < \lambda_0 < 1.336 \rightarrow \rho_{FLT} = 1.11 (1 - 0.278 \lambda_0^2)$$

$$^{(3)} \lambda_0 \geq 1.336 \rightarrow \rho_{FLT} = 1 / \lambda_0^2$$

Sendo:

$$\lambda_0 = (W_c f_y / M_e)^{0.5}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.23}$$

W_c : módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

$$W_c : \underline{15.02} \text{ cm}^3$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 51 of 92			

O momento fletor de flambagem lateral com torção M_e , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria

$$M_e = C_b r_0 (N_{ey} N_{et})^{0.5} \quad M_e : \underline{7.101} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b : coeficiente de equivalência de momento na flexão

$$C_b : \underline{1.00}$$

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

$$N_{ey} : \underline{174.362} \text{ t}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{et} : \underline{108.954} \text{ t}$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : \underline{7.61} \text{ cm}^4$$

I_t : momento de inércia à torção uniforme

$$I_t : \underline{0.16} \text{ cm}^4$$

C_w : constante de empenamento da seção

$$C_w : \underline{120.63} \text{ cm}^6$$

E : módulo de elasticidade

$$E : \underline{2089704} \text{ kgf/cm}^2$$

G : módulo de elasticidade transversal

$$G : \underline{803732} \text{ kgf/cm}^2$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem lateral

$$K_y L_y : \underline{0.300} \text{ m}$$

$K_t L_t$: comprimento efetivo de flambagem por torção

$$K_t L_t : \underline{0.300} \text{ m}$$

r_0 : raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : \underline{5.15} \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

$$r_x : \underline{3.81} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.21} \text{ cm}$$

x_0, y_0 : coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

$$x_0 : \underline{-32.45} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

Resistência ao esforço cortante X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

Resistência ao esforço cortante Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4-AP+Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento.

$$V_{Sd} : \underline{0.000} \text{ t}$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 52 of 92			

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$\begin{aligned} \text{para } {}^{(1)} h/t &\leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_y h t / \gamma & {}^{(1)} V_{Rd} &: 3.712 \text{ t} \\ \text{para } {}^{(2)} 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} &< h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2 (k_v f_y E)^{0.5} / \gamma & 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} &: 71.47 \\ \text{para } {}^{(3)} h/t &> 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3 / h] / \gamma & h/t &: 28.89 \\ & & 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} &: 92.64 \end{aligned}$$

Onde:

t : espessura da alma	t :	3.04	mm
h : largura da alma	h :	87.84	mm
f_y : tensão de escoamento	f_y :	2548.42	kgf/cm ²
E : módulo de elasticidade	E :	2089704	kgf/cm ²
γ : coeficiente de ponderação das resistências	γ :	1.1	
K_v : coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	K_v :	5.34	
k_v = 5.34			

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.2)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.500 m do nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-D+0.84·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{C_{mx} M_{x,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ex}}\right) M_{x,Rd}} + \frac{C_{my} M_{y,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ey}}\right) M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_1 : 0.008 \quad \checkmark$$

$$\eta_2 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{0,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_2 : 0.007 \quad \checkmark$$

Onde:

N_{c,Sd} : força normal de compressão solicitante de cálculo	N_{c,Sd} :	0.084	t
M_{x,Sd}, M_{y,Sd} : momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente	M_{x,Sd} :	0.000	t·m
	M_{y,Sd} :	0.000	t·m
N_{c,Rd} : força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 7.7	N_{c,Rd} :	11.028	t
N_{0,Rd} : força normal de compressão resistente de cálculo, calculada conforme 7.7, tomando-se p = 1	N_{0,Rd} :	11.967	t
C_{mx}, C_{my} : coeficientes de equivalência de momento na flexão composta em	C_{mx} :	1.00	

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 53 of 92			

relação aos eixos X e Y, respectivamente

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1 com $C_b = 1$

N_{ex} , N_{ey} : forças normais de flambagem elástica em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

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

Sendo:

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

E : módulo de elasticidade

$$C_{my} : \underline{1.00}$$

$$M_{x,Rd} : \underline{0.348} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.059} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{ex} : \underline{154.945} \text{ t}$$

$$N_{ey} : \underline{139.320} \text{ t}$$

$$I_x : \underline{75.12} \text{ cm}^4$$

$$I_y : \underline{7.61} \text{ cm}^4$$

$$K_x L_x : \underline{1.000} \text{ m}$$

$$K_y L_y : \underline{0.336} \text{ m}$$

$$E : \underline{2089704} \text{ kgf/cm}^2$$

Resistência à flexo-tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.3)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 0.500 m do nó N55, para a combinação de hipóteses
AP+Telhas+1.4·Ponte Rolante+1.4·Vigade Rolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_1 : \underline{0.002}$$



$$\eta_2 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} - \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_2 < \underline{0.001}$$



Onde:

$N_{t,Sd}$: força normal de tração solicitante de cálculo

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$N_{t,Rd}$: força normal de tração resistente de cálculo conforme 7.6

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1

$M_{xt,Rd}$, $M_{yt,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados com base no escoamento da fibra tracionada da seção bruta

$$M_{xt,Rd} = W_{xt} f_{ty} / \gamma$$

$$M_{yt,Rd} = W_{yt} f_{tx} / \gamma$$

Sendo:

W_{xt} , W_{yt} : módulos de resistência elásticos da seção bruta em relação a os eixos X e Y, respectivamente, referentes à fibra tracionada

$$N_{t,Sd} : \underline{0.019} \text{ t}$$

$$M_{x,Sd} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{11.967} \text{ t}$$

$$M_{x,Rd} : \underline{0.348} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.059} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{xt,Rd} : \underline{0.348} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{yt,Rd} : \underline{0.172} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$W_{xt} : \underline{15.02} \text{ cm}^3$$

$$W_{yt} : \underline{7.42} \text{ cm}^3$$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 54 of 92	

Limitação de esbeltez (NBR 14762: 2001, Itens 7.6.2 e 7.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{26}$$



$$\lambda_{yy} : \underline{28}$$



Onde:

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : \underline{1.000} \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : \underline{0.336} \text{ m}$$

r_x : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X

$$r_x : \underline{3.81} \text{ cm}$$

r_y : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y

$$r_y : \underline{1.21} \text{ cm}$$

Valores máximos da relação comprimento-espessura (NBR 14762: 2001 Artigo 7.1 Tabela 3)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N55.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

$$(b / t) \leq 90$$

$$(b/t) : \underline{29}$$



Sendo:

b: a largura do elemento

$$b : \underline{87.84} \text{ mm}$$

t: a espessura

$$t : \underline{3.04} \text{ mm}$$

Barra N55/N32

Perfil: C 100x40x3.04, Caixa dupla com presilhas (Distância entre os perfis: 100.0 / 100.0 mm)
Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N55	N32	1.246	10.33	150.24	672.19	0.32
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	1.00	1.00		
L _K	1.246	1.246	1.246	1.246		
C _m , C _b	1.000	1.000	1.000	1.000		
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos para flambagem C _b : Coeficiente de momentos para flambagem lateral						

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Resistência à tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.6)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : **0.830** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N32, para a combinação de ações
1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90.

N_{t,Sd}: asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

N_{t,Sd} : 9.936 t

A força normal de tração resistente de cálculo **N_{t,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

N_{t,Rd} : 11.967 t

Onde:

A: área bruta da seção transversal da barra
f_y: tensão de escoamento
γ: coeficiente de ponderação das resistências

A : 5.17 cm²
f_y : 2548.42 kgf/cm²
γ : 1.1

Resistência à compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.7)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : **0.571** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N55, para a combinação de ações
AP+Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V0.

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 56 of 92	

$N_{c,sd}$: força normal de compressão solicitante de cálculo

$$N_{c,sd} : \underline{6.181} \text{ t}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} = \rho A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{10.819} \text{ t}$$

Onde:

$$\rho: \text{fator de redução associado à flambagem, } \rho = \frac{1}{\beta + (\beta^2 - \lambda_0^2)^{0.5}} \leq 1$$

$$\rho_{yy} : \underline{0.96}$$

$$\rho_{ft} : \underline{0.90}$$

Sendo:

$$\beta = 0.5 \left[1 + \alpha (\lambda_0 - 0.2) + \lambda_0^2 \right]$$

$$\beta_{yy} : \underline{0.56}$$

$$\beta_{ft} : \underline{0.65}$$

Onde α é o fator de imperfeição inicial conforme tabela 7

$$\alpha_{yy} : \underline{0.49}$$

$$\alpha_{ft} : \underline{0.34}$$

λ_0 : índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.27}$$

$$\lambda_{0, ft} : \underline{0.45}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A_{ef} f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

N_e : força normal de flambagem elástica da barra, conforme 7.7.2.2

A_{ef} : área efetiva da seção transversal da barra

$$A_{ef} : \underline{5.17} \text{ cm}^2$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : \underline{63.866} \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y

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

$$N_{ey} : \underline{174.362} \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{et} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right]$$

$$N_{ext} : \underline{63.866} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{99.747} \text{ t}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{et} : \underline{108.954} \text{ t}$$

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$$I_x : \underline{75.12} \text{ cm}^4$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : \underline{7.61} \text{ cm}^4$$

I_t : momento de inércia à torção uniforme

$$I_t : \underline{0.16} \text{ cm}^4$$

C_w : constante de empenamento da seção

$$C_w : \underline{120.63} \text{ cm}^6$$

E : módulo de elasticidade

$$E : \underline{2089704} \text{ kgf/cm}^2$$

G : módulo de elasticidade transversal

$$G : \underline{803732} \text{ kgf/cm}^2$$

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : \underline{1.246} \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : \underline{0.300} \text{ m}$$

$K_t L_t$: comprimento efetivo de flambagem por torção

$$K_t L_t : \underline{0.300} \text{ m}$$

r_0 : raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : \underline{5.15} \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

$$r_x : \underline{3.81} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.21} \text{ cm}$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 57 of 92			

x_0, y_0 : coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

x_0 : -32.45 mm
 y_0 : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.623 m do nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4-AP+Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento

M_{Sd} : 0.001 t·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b)

M_{Rd} : 0.348 t·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (7.8.1.1)

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

M_{Rd} : 0.348 t·m

Onde:

W_{ef} : módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : tensão de escoamento

γ : coeficiente de ponderação das resistências

W_{ef} : 15.02 cm³
 f_y : 2548.42 kgf/cm²
 γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (7.8.1.1)

$$M_{Rd} = \rho_{FLT} W_{c,ef} f_y / \gamma$$

M_{Rd} : 0.348 t·m

Onde:

$W_{c,ef}$: módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, adotando $\sigma = \rho_{FLT} f_y$

f_y : tensão de escoamento

γ : coeficiente de ponderação das resistências

ρ_{FLT} : fator de redução associado à flambagem lateral com torção

$W_{c,ef}$: 15.02 cm³
 f_y : 2548.42 kgf/cm²
 γ : 1.1

$$^{(1)} \lambda_0 \leq 0.6 \rightarrow \rho_{FLT} = 1$$

$$^{(2)} 0.6 < \lambda_0 < 1.336 \rightarrow \rho_{FLT} = 1.11(1 - 0.278\lambda_0^2)$$

$$^{(3)} \lambda_0 \geq 1.336 \rightarrow \rho_{FLT} = 1/\lambda_0^2$$

$$^{(1)} \rho_{FLT} : \underline{1.00}$$

Sendo:

$$\lambda_0 = (W_c f_y / M_e)^{0.5}$$

λ_0 : 0.23

W_c : módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

W_c : 15.02 cm³

O momento fletor de flambagem lateral com torção M_e , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria

$$M_e = C_{br0} (N_{ey} N_{et})^{0.5}$$

M_e : 7.101 t·m

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 58 of 92			

Onde:

C_b : coeficiente de equivalência de momento na flexão

C_b : 1.00

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

N_{ey} : 174.362 t

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

N_{et} : 108.954 t

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

I_y : 7.61 cm⁴

I_t : momento de inércia à torção uniforme

I_t : 0.16 cm⁴

C_w : constante de empenamento da seção

C_w : 120.63 cm⁶

E : módulo de elasticidade

E : 2089704 kgf/cm²

G : módulo de elasticidade transversal

G : 803732 kgf/cm²

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem lateral

$K_y L_y$: 0.300 m

$K_t L_t$: comprimento efetivo de flambagem por torção

$K_t L_t$: 0.300 m

r_0 : raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

r_0 : 5.15 cm

Sendo:

r_x, r_y : raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

r_x : 3.81 cm

r_y : 1.21 cm

x_0, y_0 : coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

x_0 : -32.45 mm

y_0 : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

Resistência ao esforço cortante X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

Resistência ao esforço cortante Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se no nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento.

V_{sd} : 0.002 t

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$^{(1)}V_{Rd}$: 3.712 t

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_y h t / \gamma$

$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5}$: 71.47

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2 (k_v f_y E)^{0.5} / \gamma$

h/t : 28.89

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3 / h] / \gamma$

$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5}$: 92.64

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 59 of 92			

Onde:

t : espessura da alma	t : <u>3.04</u> mm
h : largura da alma	h : <u>87.84</u> mm
f_y : tensão de escoamento	f_y : <u>2548.42</u> kgf/cm ²
E : módulo de elasticidade	E : <u>2089704</u> kgf/cm ²
γ : coeficiente de ponderação das resistências	γ : <u>1.1</u>
K_v : coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	K_v : <u>5.34</u>
k_v = 5.34	

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** produzem-se num ponto situado a uma distância 0.415 m do nó N55, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$$\eta < \underline{0.001}$$



Onde:

M_{Sd} : momento fletor solicitante de cálculo	M_{Sd} : <u>0.001</u> t·m
M_{0,Rd} : momento fletor resistente de cálculo conforme 7.8.1.1	M_{0,Rd} : <u>0.348</u> t·m
V_{Sd} : força cortante solicitante de cálculo	V_{Sd} : <u>0.001</u> t
V_{Rd} : força cortante resistente de cálculo conforme 7.8.2	V_{Rd} : <u>3.712</u> t

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.2)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.623 m do nó N55, para a combinação de hipóteses AP+Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{C_{mx} M_{x,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ex}}\right) M_{x,Rd}} + \frac{C_{my} M_{y,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ey}}\right) M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_1 : \underline{0.573}$$



$$\eta_2 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{0,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_2 : \underline{0.518}$$



Onde:

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 60 of 92			

N_{c,Sd}: força normal de compressão solicitante de cálculo

M_{x,Sd}, M_{y,Sd}: momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

N_{c,Rd}: força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 7.7

N_{0,Rd}: força normal de compressão resistente de cálculo, calculada conforme 7.7, tomando-se $\rho = 1$

C_{mx}, C_{my}: coeficientes de equivalência de momento na flexão composta em relação aos eixos X e Y, respectivamente

M_{x,Rd}, M_{y,Rd}: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1 com **C_b** = 1

N_{ex}, N_{ey}: forças normais de flambagem elástica em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

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

Sendo:

I_x: momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

I_y: momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

K_xL_x: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

K_yL_y: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

E: módulo de elasticidade

$$N_{c,Sd} : 6.180 \text{ t}$$

$$M_{x,Sd} : 0.001 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : 10.819 \text{ t}$$

$$N_{0,Rd} : 11.967 \text{ t}$$

$$C_{mx} : 1.00$$

$$C_{my} : 1.00$$

$$M_{x,Rd} : 0.348 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 0.059 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{ex} : 99.747 \text{ t}$$

$$N_{ey} : 174.362 \text{ t}$$

$$I_x : 75.12 \text{ cm}^4$$

$$I_y : 7.61 \text{ cm}^4$$

$$K_x L_x : 1.246 \text{ m}$$

$$K_y L_y : 0.300 \text{ m}$$

$$E : 2089704 \text{ kgf/cm}^2$$

Resistência à flexo-tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.3)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 0.623 m do nó N55, para a combinação de hipóteses

1.4·AP+1.4·Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{xt,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{yt,Rd}} + \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_1 : 0.832$$



$$\eta_2 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} - \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_2 < 0.001$$



Onde:

N_{t,Sd}: força normal de tração solicitante de cálculo

M_{x,Sd}, M_{y,Sd}: momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

N_{t,Rd}: força normal de tração resistente de cálculo conforme 7.6

M_{x,Rd}, M_{y,Rd}: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1

M_{xt,Rd}, M_{yt,Rd}: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados com base no escoamento da fibra tracionada da seção bruta

$$M_{xt,Rd} = W_{xt} f_y / \gamma$$

$$M_{yt,Rd} = W_{yt} f_y / \gamma$$

Sendo:

W_{xt}, W_{yt}: módulos de resistência elásticos da seção bruta em relação a os eixos X e Y, respectivamente, referentes à fibra tracionada

$$N_{t,Sd} : 9.934 \text{ t}$$

$$M_{x,Sd} : 0.001 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{t,Rd} : 11.967 \text{ t}$$

$$M_{x,Rd} : 0.348 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 0.059 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{xt,Rd} : 0.348 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{yt,Rd} : 0.172 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$W_{xt} : 15.02 \text{ cm}^3$$

$$W_{yt} : 7.42 \text{ cm}^3$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00 Data: 28/01/17	
			Página 61 of 92	

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Limitação de esbeltez (NBR 14762: 2001, Itens 7.6.2 e 7.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \mathbf{33}$$



$$\lambda_{yy} : \mathbf{25}$$



Onde:

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : \underline{1.246} \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : \underline{0.300} \text{ m}$$

r_x : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X

$$r_x : \underline{3.81} \text{ cm}$$

r_y : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y

$$r_y : \underline{1.21} \text{ cm}$$

Valores máximos da relação comprimento-espessura (NBR 14762: 2001 Artigo 7.1 Tabela 3)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N55.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

$$(b / t) \leq 90$$

$$(b/t) : \mathbf{29}$$



Sendo:

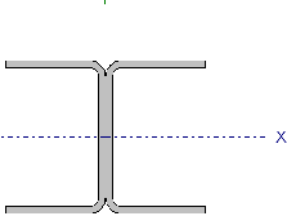
b: a largura do elemento

$$b : \underline{87.84} \text{ mm}$$

t: a espessura

$$t : \underline{3.04} \text{ mm}$$

Barra N73/N4

Perfil: C 200x130x10, Duplo I união soldada (Cordão descontínuo) Material: Aço (A-36)						
	Nós			Características mecânicas		
	Inicial	Final	Comprimento (m)	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)
	N73	N4	0.667	85.36	5404.48	2939.08
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme					
			Flambagem		Flambagem lateral	
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
	β		3.75	1.00	1.00	1.00
	L _K		2.500	0.667	0.667	0.667
	C _m , C _b		1.000	1.000	1.000	1.000
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos para flambagem C _b : Coeficiente de momentos para flambagem lateral						

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Resistência à tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.6)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : **0.154** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N73, para a combinação de ações AP+Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.05·SCU1+1.05·CSS-D+1.4·V90.

N_{t,Sd}: asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

N_{t,Sd} : 15.269 t

A força normal de tração resistente de cálculo **N_{t,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

N_{t,Rd} : 98.884 t

Onde:

A: área bruta da seção transversal da barra
f_y: tensão de escoamento
γ: coeficiente de ponderação das resistências

A : 42.68 cm²
f_y : 2548.42 kgf/cm²
γ : 1.1

Resistência à compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.7)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : **0.239** ✓

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 63 of 92			

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N73, para a combinação de ações 1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·Ponte Rolante+1.4·Vigade Rolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V270.

$N_{c,Sd}$: força normal de compressão solicitante de cálculo

$$N_{c,Sd} : \underline{20.306} \text{ t}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} = \rho A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{84.806} \text{ t}$$

Onde:

$$\rho: \text{fator de redução associado à flambagem, } \rho = \frac{1}{\beta + (\beta^2 - \lambda_0^2)^{0.5}} \leq 1$$

$$\rho_{yy} : \underline{0.86}$$

$$\rho_{ft} : \underline{1.00}$$

Sendo:

$$\beta = 0.5 \left[1 + \alpha (\lambda_0 - 0.2) + \lambda_0^2 \right]$$

$$\beta_{yy} : \underline{0.68}$$

$$\beta_{ft} : \underline{0.49}$$

Onde α é o fator de imperfeição inicial conforme tabela 7

$$\alpha_{yy} : \underline{0.49}$$

$$\alpha_{ft} : \underline{0.34}$$

λ_0 : índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.47}$$

$$\lambda_{0, ft} : \underline{0.09}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A_{ef} f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

N_e : força normal de flambagem elástica da barra, conforme 7.7.2.2

A_{ef} : área efetiva da seção transversal da barra

$$A_{ef} : \underline{42.68} \text{ cm}^2$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : \underline{484.938} \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y

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

$$N_{ey} : \underline{484.938} \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{et} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right]$$

$$N_{ext} : \underline{12527.293} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{12527.293} \text{ t}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{et} : \underline{\infty}$$

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$$I_x : \underline{2702.24} \text{ cm}^4$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : \underline{727.63} \text{ cm}^4$$

I_t : momento de inércia à torção uniforme

$$I_t : \underline{14.23} \text{ cm}^4$$

C_w : constante de empenamento da seção

$$C_w : \underline{43078.46} \text{ cm}^6$$

E : módulo de elasticidade

$$E : \underline{2089704} \text{ kgf/cm}^2$$

G : módulo de elasticidade transversal

$$G : \underline{803732} \text{ kgf/cm}^2$$

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : \underline{0.667} \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : \underline{1.759} \text{ m}$$

$K_t L_t$: comprimento efetivo de flambagem por torção

$$K_t L_t : \underline{0.000} \text{ m}$$

r_0 : raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : \underline{14.30} \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

$$r_x : \underline{7.96} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{4.13} \text{ cm}$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 64 of 92			

x_0, y_0 : coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

x_0 : -111.38 mm
 y_0 : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : **0.005** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses
1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-D+0.84·V90

M_{Sd} : 0.034 t·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b)

M_{Rd} : 6.260 t·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (7.8.1.1)

$$M_{Rd} = W_{ef} \cdot f_y / \gamma$$

M_{Rd} : 6.260 t·m

Onde:

W_{ef} : módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : tensão de escoamento

γ : coeficiente de ponderação das resistências

W_{ef} : 270.22 cm³

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (7.8.1.1)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : **0.054** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N73, para a combinação de hipóteses
1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90

M_{Sd} : 0.104 t·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

M_{Rd} : 1.909 t·m

$$M_{Rd} = W_{ef} \cdot f_y / \gamma$$

Onde:

W_{ef} : módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : tensão de escoamento

γ : coeficiente de ponderação das resistências

W_{ef} : 82.40 cm³

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : 1.1

Resistência ao esforço cortante X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 65 of 92			

η : **0.007** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-D+1.5·CI-D+1.5·CSS-D+0.84·V90

V_{sd} : 0.200 t

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{sd} = 0.5 V_{sd}$

V_{sd} : 0.100 t

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$^{(1)}V_{Rd}$: 15.291 t

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 33.88

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

h/t : 11.00

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 43.92

Onde:

t: espessura da alma

t : 10.00 mm

h: largura da alma

h : 110.00 mm

f_y: tensão de escoamento

f_y : 2548.42 kgf/cm²

E: módulo de elasticidade

E : 2089704 kgf/cm²

γ: coeficiente de ponderação das resistências

γ : 1.1

K_v: coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

K_v : 1.20

k_v = 5.34

Resistência ao esforço cortante Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η < **0.001** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90

V_{sd} : 0.001 t

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$^{(1)}V_{Rd}$: 22.241 t

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 71.47

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

h/t : 16.00

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 92.64

Onde:

t: espessura da alma

t : 10.00 mm

h: largura da alma

h : 160.00 mm

f_y: tensão de escoamento

f_y : 2548.42 kgf/cm²

E: módulo de elasticidade

E : 2089704 kgf/cm²

γ: coeficiente de ponderação das resistências

γ : 1.1

K_v: coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

K_v : 5.34

k_v = 5.34

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} são obtidos para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-D+0.84·V90

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 66 of 92			

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$$\eta < 0.001$$



Onde:

M_{Sd} : momento fletor solicitante de cálculo

$$M_{Sd} : 0.034 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: momento fletor resistente de cálculo conforme 7.8.1.1

$$M_{0,Rd} : 6.260 \text{ t}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : força cortante solicitante de cálculo

$$V_{Sd} : 0.001 \text{ t}$$

V_{Rd} : força cortante resistente de cálculo conforme 7.8.2

$$V_{Rd} : 22.241 \text{ t}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N73, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$$\eta : 0.003$$



Onde:

M_{Sd} : momento fletor solicitante de cálculo

$$M_{Sd} : 0.104 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: momento fletor resistente de cálculo conforme 7.8.1.1

$$M_{0,Rd} : 1.909 \text{ t}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : força cortante solicitante de cálculo

$$V_{Sd} : 0.189 \text{ t}$$

V_{Rd} : força cortante resistente de cálculo conforme 7.8.2

$$V_{Rd} : 30.581 \text{ t}$$

Resistência à flexo-compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.2)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N73, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V270.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{C_{mx} M_{x,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ex}}\right) M_{x,Rd}} + \frac{C_{my} M_{y,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ey}}\right) M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_1 : 0.271$$



$$\eta_2 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{0,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_2 : 0.236$$



Onde:

$N_{c,Sd}$: força normal de compressão solicitante de cálculo

$$N_{c,Sd} : 20.289 \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$M_{x,Sd} : 0.005 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.057 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$: força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 7.7

$$N_{c,Rd} : 84.806 \text{ t}$$

$N_{0,Rd}$: força normal de compressão resistente de cálculo, calculada conforme 7.7, tomando-se $\rho = 1$

$$N_{0,Rd} : 98.884 \text{ t}$$

C_{mx} , C_{my} : coeficientes de equivalência de momento na flexão composta em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$C_{mx} : 1.00$$

$$C_{my} : 1.00$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1 com $C_b = 1$

$$M_{x,Rd} : 6.260 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 1.909 \text{ t}\cdot\text{m}$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 67 of 92			

N_{ex} , N_{ey} : forças normais de flambagem elástica em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : 12527.293 \text{ t}$$

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

$$N_{ey} : 484.938 \text{ t}$$

Sendo:

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$$I_x : 2702.24 \text{ cm}^4$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : 727.63 \text{ cm}^4$$

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : 0.667 \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : 1.759 \text{ m}$$

E: módulo de elasticidade

$$E : 2089704 \text{ kgf/cm}^2$$

Resistência à flexo-tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.3)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N73, para a combinação AP+1.4·Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento+1.05·SCU1+1.05·CSS-D+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_1 : 0.183$$



$$\eta_2 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} - \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_2 < 0.001$$



Onde:

$N_{t,Sd}$: força normal de tração solicitante de cálculo

$$N_{t,Sd} : 15.261 \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$M_{x,Sd} : 0.026 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.098 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$N_{t,Rd}$: força normal de tração resistente de cálculo conforme 7.6

$$N_{t,Rd} : 98.884 \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1

$$M_{x,Rd} : 6.260 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 1.909 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{xt,Rd}$, $M_{yt,Rd}$: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados com base no escoamento da fibra tracionada da seção bruta

$$M_{xt,Rd} = W_{xt} f_y / \gamma$$

$$M_{xt,Rd} : 6.260 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{yt,Rd} = W_{yt} f_y / \gamma$$

$$M_{yt,Rd} : 4.043 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

W_{xt} , W_{yt} : módulos de resistência elásticos da seção bruta em relação a os eixos X e Y, respectivamente, referentes à fibra tracionada

$$W_{xt} : 270.22 \text{ cm}^3$$

$$W_{yt} : 174.52 \text{ cm}^3$$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{T,Sd}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.002$$



	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 68 of 92			

O momento tissor solicitante de cálculo desfavorável $M_{t,Sd}$ produz-se para a combinação de hipóteses $M_{t,Sd} : 0.000$ t·m

AP+Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento+1.5·SCU1.

O momento tissor resistente de cálculo $M_{t,Rd}$ é dado por:

$$M_{t,Rd} = 0.6 f_y W_T / \gamma \quad M_{t,Rd} : 0.198 \text{ t·m}$$

Onde:

W_t : módulo de resistência à torção

$$W_t : 14.23 \text{ cm}^3$$

f_y : tensão de escoamento

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : 1.1$$

Limitação de esbeltez (NBR 14762: 2001, Itens 7.6.2 e 7.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : 8$$



$$\lambda_{yy} : 43$$



Onde:

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : 0.667 \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : 1.759 \text{ m}$$

r_x : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X

$$r_x : 7.96 \text{ cm}$$

r_y : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y

$$r_y : 4.13 \text{ cm}$$

Valores máximos da relação comprimento-espessura (NBR 14762: 2001 Artigo 7.1 Tabela 3)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

$$(b / t) \leq 200$$

$$(b/t) : 16$$



Sendo:

b : a largura do elemento

$$b : 160.00 \text{ mm}$$

t : a espessura

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

Barra N4/N70

Perfil: C 200x130x10
Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N4	N70	0.600	42.68	2702.24	727.63	14.23	-23.31	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
		Flambagem		Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.		
β		1.67	1.00	1.00		1.00		
L _K		1.000	0.600	0.600		0.600		
C _m , C _b		1.000	1.000	1.000		1.000		
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos para flambagem C _b : Coeficiente de momentos para flambagem lateral								

Resistência à tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.6)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : **0.262** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N70, para a combinação de ações AP+Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.05·SCU1+1.05·CSS-D+1.4·V90.

N_{t,Sd}: asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

N_{t,Sd} : 25.876 t

A força normal de tração resistente de cálculo **N_{t,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

N_{t,Rd} : 98.884 t

Onde:

A: área bruta da seção transversal da barra
f_y: tensão de escoamento
γ: coeficiente de ponderação das resistências

A : 42.68 cm²
f_y : 2548.42 kgf/cm²
γ : 1.1

Resistência à compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.7)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : **0.397** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações 1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V270.

N_{c,Sd}: força normal de compressão solicitante de cálculo

N_{c,Sd} : 37.818 t

A força normal de compressão resistente de cálculo **N_{c,Rd}** deve ser tomada como:

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 70 of 92			

$$N_{c,Rd} = \rho A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{95.304} \text{ t}$$

Onde:

$$\rho: \text{fator de redução associado à flambagem, } \rho = \frac{1}{\beta + (\beta^2 - \lambda_0^2)^{0.5}} \leq 1$$

$$\rho_{yy} : \underline{0.96}$$

$$\rho_{ft} : \underline{0.96}$$

Sendo:

$$\beta = 0.5 \left[1 + \alpha (\lambda_0 - 0.2) + \lambda_0^2 \right]$$

$$\beta_{yy} : \underline{0.55}$$

$$\beta_{ft} : \underline{0.56}$$

Onde α é o fator de imperfeição inicial conforme tabela 7

$$\alpha_{yy} : \underline{0.49}$$

$$\alpha_{ft} : \underline{0.34}$$

λ_0 : índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.27}$$

$$\lambda_{0, ft} : \underline{0.30}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A_{ef} f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

N_e : força normal de flambagem elástica da barra, conforme 7.7.2.2

A_{ef} : área efetiva da seção transversal da barra

f_y : tensão de escoamento

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$A_{ef} : \underline{42.68} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : \underline{1201.844} \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y

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

$$N_{ey} : \underline{1500.700} \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{et} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right]$$

$$N_{ext} : \underline{1201.844} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{15481.263} \text{ t}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{et} : \underline{1263.235} \text{ t}$$

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$$I_x : \underline{2702.24} \text{ cm}^4$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : \underline{727.63} \text{ cm}^4$$

I_t : momento de inércia à torção uniforme

$$I_t : \underline{14.23} \text{ cm}^4$$

C_w : constante de empenamento da seção

$$C_w : \underline{43078.46} \text{ cm}^6$$

E : módulo de elasticidade

$$E : \underline{2089704} \text{ kgf/cm}^2$$

G : módulo de elasticidade transversal

$$G : \underline{803732} \text{ kgf/cm}^2$$

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : \underline{0.600} \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : \underline{1.000} \text{ m}$$

$K_t L_t$: comprimento efetivo de flambagem por torção

$$K_t L_t : \underline{0.600} \text{ m}$$

r_0 : raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : \underline{14.30} \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

$$r_x : \underline{7.96} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{4.13} \text{ cm}$$

x_0, y_0 : coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

$$x_0 : \underline{-111.38} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 71 of 92			

Resistência à flexão eixo X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \mathbf{0.011} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N70, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+Ponte Rolante+Vigade Rolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-D+0.84·V90

$$M_{sd} : \underline{0.070} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b)

$$M_{Rd} : \underline{6.260} \text{ t}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (7.8.1.1)

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{6.260} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : tensão de escoamento

γ : coeficiente de ponderação das resistências

$$W_{ef} : \underline{270.22} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

b) Flambagem lateral com torção (7.8.1.1)

$$M_{Rd} = \rho_{FLT} W_{c,ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{6.260} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$: módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, adotando $\sigma = \rho_{FLT} f_y$

f_y : tensão de escoamento

γ : coeficiente de ponderação das resistências

ρ_{FLT} : fator de redução associado à flambagem lateral com torção

$$W_{c,ef} : \underline{270.22} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(1)} \lambda_0 \leq 0.6 \rightarrow \rho_{FLT} = 1$$

$$^{(2)} 0.6 < \lambda_0 < 1.336 \rightarrow \rho_{FLT} = 1.11(1 - 0.278\lambda_0^2)$$

$$^{(3)} \lambda_0 \geq 1.336 \rightarrow \rho_{FLT} = 1/\lambda_0^2$$

$$^{(1)} \rho_{FLT} : \underline{1.00}$$

Sendo:

$$\lambda_0 = (W_c f_y / M_e)^{0.5}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.14}$$

W_c : módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

$$W_c : \underline{270.22} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção M_e , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria

$$M_e = C_b r_0 (N_{ey} N_{et})^{0.5}$$

$$M_e : \underline{328.097} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b : coeficiente de equivalência de momento na flexão

$$C_b : \underline{1.00}$$

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

$$N_{ey} : \underline{4168.612} \text{ t}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{et} : \underline{1263.235} \text{ t}$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : \underline{727.63} \text{ cm}^4$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 72 of 92			

I_t: momento de inércia à torção uniforme

I_t : 14.23 cm⁴

C_w: constante de empenamento da seção

C_w : 43078.46 cm⁶

E: módulo de elasticidade

E : 2089704 kgf/cm²

G: módulo de elasticidade transversal

G : 803732 kgf/cm²

K_yL_y: comprimento efetivo de flambagem lateral

K_yL_y : 0.600 m

K_tL_t: comprimento efetivo de flambagem por torção

K_tL_t : 0.600 m

r_o: raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

$$r_o = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

r_o : 14.30 cm

Sendo:

r_x, r_y: raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente

r_x : 7.96 cm

r_y : 4.13 cm

x_o, y_o: coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção

x_o : -111.38 mm

y_o : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.1)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.096 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{Sd}** é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.05·SCU1+1.05·CVS-E+1.05·CI-E+1.05·CSS-D+1.4·V90

M_{Sd} : 0.183 t·m

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como:

M_{Rd} : 1.909 t·m

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

Onde:

W_{ef}: módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 7.2, com **σ** calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

W_{ef} : 82.40 cm³

f_y: tensão de escoamento

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ: coeficiente de ponderação das resistências

γ : 1.1

Resistência ao esforço cortante X (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{wSd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.006 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.05·SCU1+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V0

V_{Sd} : 0.189 t

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é **V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}**

V_{Sd} : 0.094 t

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

⁽¹⁾**V_{Rd}** : 15.291 t

$$\text{para } {}^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_y h t / \gamma$$

$$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{33.88}$$

$$\text{para } {}^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5} / \gamma$$

$$h/t : \underline{11.00}$$

$$\text{para } {}^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3 / h] / \gamma$$

$$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{43.92}$$

Onde:

t: espessura da alma

t : 10.00 mm

h: largura da alma

h : 110.00 mm

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 73 of 92			

f_v : tensão de escoamento

E : módulo de elasticidade

γ : coeficiente de ponderação das resistências

K_v : coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$k_v = 5.34$$

f_v : 2548.42 kgf/cm²

E : 2089704 kgf/cm²

γ : 1.1

K_v : 1.20

Resistência ao esforço cortante Y (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CVS-E+1.5·CI-E+1.5·CSS-D+0.84·V90

V_{sd} : 0.002 t

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$^{(1)}V_{Rd}$: 22.241 t

$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5}$: 71.47

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

h/t : 16.00

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5}$: 92.64

Onde:

t : espessura da alma

h : largura da alma

f_v : tensão de escoamento

E : módulo de elasticidade

γ : coeficiente de ponderação das resistências

K_v : coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$k_v = 5.34$$

t : 10.00 mm

h : 160.00 mm

f_v : 2548.42 kgf/cm²

E : 2089704 kgf/cm²

γ : 1.1

K_v : 5.34

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} são obtidos no nó N70, para a combinação de hipóteses

1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1+1.5·CSS-D+0.84·V90

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

Onde:

M_{sd} : momento fletor solicitante de cálculo

$M_{0,Rd}$: momento fletor resistente de cálculo conforme 7.8.1.1

V_{sd} : força cortante solicitante de cálculo

V_{Rd} : força cortante resistente de cálculo conforme 7.8.2

M_{sd} : 0.070 t·m

$M_{0,Rd}$: 6.260 t·m

V_{sd} : 0.002 t

V_{Rd} : 22.241 t

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 74 of 92			

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (NBR 14762: 2001, Artigo 7.8.3)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.05·SCU1+1.05·CVS-E+1.05·CI-E+1.05·CSS-D+1.4·V90

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$$\eta : 0.009 \quad \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : momento fletor solicitante de cálculo

$$M_{sd} : 0.183 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: momento fletor resistente de cálculo conforme 7.8.1.1

$$M_{0,Rd} : 1.909 \text{ t}\cdot\text{m}$$

V_{sd} : força cortante solicitante de cálculo

$$V_{sd} : 0.081 \text{ t}$$

V_{Rd} : força cortante resistente de cálculo conforme 7.8.2

$$V_{Rd} : 30.581 \text{ t}$$

Resistência à flexo-compressão (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.2)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.4·AP+1.4·Telhas+1.4·PonteRolante+1.4·VigadeRolamento+1.05·CVS-D+1.05·CI-D+1.05·CSS-E+1.4·V270.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{C_{mx}M_{x,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ex}}\right)M_{x,Rd}} + \frac{C_{my}M_{y,Sd}}{\left(1 - \frac{N_{c,Sd}}{N_{ey}}\right)M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_1 : 0.433 \quad \checkmark$$

$$\eta_2 = \frac{N_{c,Sd}}{N_{0,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_2 : 0.417 \quad \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: força normal de compressão solicitante de cálculo

$$N_{c,Sd} : 37.818 \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$M_{x,Sd} : 0.008 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.064 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$: força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 7.7

$$N_{c,Rd} : 95.304 \text{ t}$$

$N_{0,Rd}$: força normal de compressão resistente de cálculo, calculada conforme 7.7, tomando-se $\rho = 1$

$$N_{0,Rd} : 98.884 \text{ t}$$

C_{mx} , C_{my} : coeficientes de equivalência de momento na flexão composta em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$C_{mx} : 1.00$$

$$C_{my} : 1.00$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1 com $C_b = 1$

$$M_{x,Rd} : 6.260 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 1.909 \text{ t}\cdot\text{m}$$

N_{ex} , N_{ey} : forças normais de flambagem elástica em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$N_{ex} : 15481.263 \text{ t}$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

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

$$N_{ey} : 1500.700 \text{ t}$$

Sendo:

I_x : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

$$I_x : 2702.24 \text{ cm}^4$$

I_y : momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

$$I_y : 727.63 \text{ cm}^4$$

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : 0.600 \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : 1.000 \text{ m}$$

E : módulo de elasticidade

$$E : 2089704 \text{ kgf/cm}^2$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 75 of 92			

Resistência à flexo-tração (NBR 14762: 2001, Artigo 7.9.3)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N4, para a combinação AP+Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.05·SCU1+1.05·CSS-D+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta_1 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{xt,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{yt,Rd}} + \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_1 : \underline{0.314}$$



$$\eta_2 = \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} - \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta_2 < \underline{0.001}$$



Onde:

N_{t,Sd}: força normal de tração solicitante de cálculo

$$N_{t,Sd} : \underline{25.856} \text{ t}$$

M_{x,Sd}, M_{y,Sd}: momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente

$$M_{x,Sd} : \underline{0.051} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.181} \text{ t}\cdot\text{m}$$

N_{t,Rd}: força normal de tração resistente de cálculo conforme 7.6

$$N_{t,Rd} : \underline{98.884} \text{ t}$$

M_{x,Rd}, M_{y,Rd}: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 7.8.1

$$M_{x,Rd} : \underline{6.260} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{1.909} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{xt,Rd}, M_{yt,Rd}: momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados com base no escoamento da fibra tracionada da seção bruta

$$M_{xt,Rd} = W_{xt} \cdot f_y / \gamma$$

$$M_{xt,Rd} : \underline{6.260} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{yt,Rd} = W_{yt} \cdot f_y / \gamma$$

$$M_{yt,Rd} : \underline{4.043} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

W_{xt}, W_{yt}: módulos de resistência elásticos da seção bruta em relação a os eixos X e Y, respectivamente, referentes à fibra tracionada

$$W_{xt} : \underline{270.22} \text{ cm}^3$$

$$W_{yt} : \underline{174.52} \text{ cm}^3$$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{T,Sd}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004}$$



O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável **M_{t,Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses

$$M_{t,Sd} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

AP+Telhas+PonteRolante+VigadeRolamento+1.5·SCU1.

O momento torsor resistente de cálculo **M_{t,Rd}** é dado por:

$$M_{t,Rd} = 0.6 f_y W_T / \gamma$$

$$M_{t,Rd} : \underline{0.198} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_t: módulo de resistência à torção

$$W_t : \underline{14.23} \text{ cm}^3$$

f_y: tensão de escoamento

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ: coeficiente de ponderação das resistências

$$\gamma : \underline{1.1}$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 76 of 92	

Limitação de esbeltez (NBR 14762: 2001, Itens 7.6.2 e 7.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{8}$$



$$\lambda_{yy} : \underline{24}$$



Onde:

$K_x L_x$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$$K_x L_x : \underline{0.600} \text{ m}$$

$K_y L_y$: comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

$$K_y L_y : \underline{1.000} \text{ m}$$

r_x : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X

$$r_x : \underline{7.96} \text{ cm}$$

r_y : raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y

$$r_y : \underline{4.13} \text{ cm}$$

Valores máximos da relação comprimento-espessura (NBR 14762: 2001 Artigo 7.1 Tabela 3)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

$$(b / t) \leq 200$$

$$(b/t) : \underline{16}$$



Sendo:

b: a largura do elemento

$$b : \underline{160.00} \text{ mm}$$

t: a espessura

$$t : \underline{10.00} \text{ mm}$$

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 77 of 92			

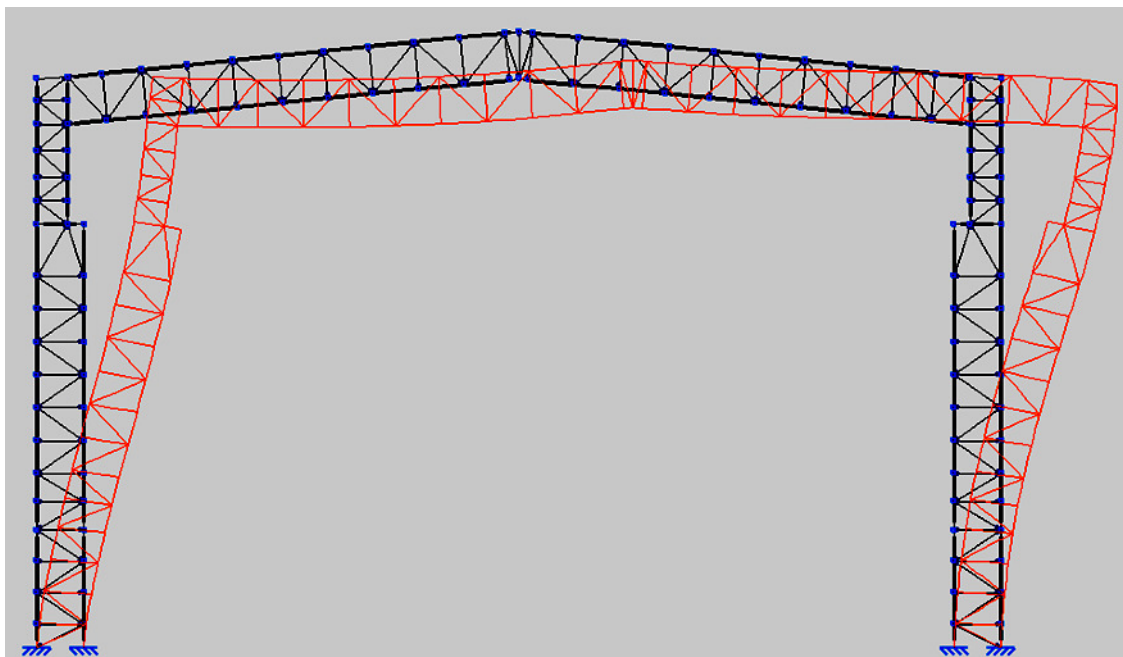
Deslocamentos no pórtico – Estado Limites de Serviço (ELS)

Aplicado o carregamento de projeto em de acordo com as combinações previstas anteriormente nesta memória, observou-se um grande tendência de deslocamento lateral no plano do pórtico adotado inicialmente. Ou seja, conforme fica evidente no item anterior desta memória, o que dimensionou esses elementos estruturais foi o deslocamento e não a sua resistência (ELU), dado a baixa taxa de aproveitamento verificada nos pilares.

Tendo em vista que a avaliação estrutural proposta para o cálculo da referida estrutura fora o manual Guide for the Design and Construction of Mill Buildings AISE Technical Report No. 13 / 2003, e que este não apresenta referência para a análise de deslocamentos no Estado Limite de Serviços, adotados as referências indicadas em literatura consagrada no mercado, Edifícios Industrias em Aço – Projeto e Cálculo – Ildony H. Bellei – 6ª Edição – Pini, como segue:

- Deslocamento para o nível do topo do trilho $\Delta = H_{TT}/400, \Delta = 2,25\text{cm};$
- Deslocamento para o nível de cobertura $\Delta = H_{TC}/300 \Delta = 4,00\text{cm};$
- Diferencial entre as colunas no pórtico inferior a 15mm, que é traduzida em folga da roda da ponte rolante;

Abaixo segue a representação gráfica da geometria da deformada do pórtico lateralmente em seu plano:



	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 78 of 92	

Deslocamentos máximos e mínimos na estrutura.

Envoltória dos deslocamentos em nós								
Referência	Tipo	Combinação	Deslocamentos em eixos globais					
		Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-0.463	-0.007	-0.218	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	0.379	0.003	0.139	-	-	-
N2	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-0.460	-0.005	-0.137	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	0.373	0.002	0.094	-	-	-
N3	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-4.512	-0.170	-0.999	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	4.024	0.088	0.582	-	-	-
N4	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-4.500	-0.129	-0.560	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	4.010	0.043	0.384	-	-	-
N5	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-7.497	-0.391	-1.507	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	7.398	0.205	0.778	-	-	-
N6	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-7.491	-0.318	-0.913	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	7.389	0.109	0.611	-	-	-
N7	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-13.221	-1.050	-2.102	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	14.943	0.563	0.879	-	-	-
N8	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-13.131	-0.957	-1.325	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	14.951	0.340	0.776	-	-	-
N9	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-18.557	-2.070	-2.372	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	23.449	1.133	0.868	-	-	-
N10	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-18.542	-2.007	-1.721	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	23.414	0.734	0.779	-	-	-
N11	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-22.577	-3.479	-1.999	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.087	1.959	0.702	-	-	-
N12	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-22.548	-6.694	-1.545	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.088	1.902	0.260	-	-	-
N13	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-0.378	0.000	-0.208	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	0.465	0.000	0.139	-	-	-
N14	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-0.372	0.000	-0.137	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	0.462	0.000	0.087	-	-	-
N15	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-3.932	0.000	-0.952	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	4.534	0.000	0.586	-	-	-
N16	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-3.919	0.000	-0.562	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	4.522	0.000	0.347	-	-	-
N17	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-7.172	0.000	-1.428	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	7.537	0.000	0.783	-	-	-
N18	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-7.163	0.000	-0.917	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	7.530	0.000	0.538	-	-	-
N19	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-14.278	0.000	-1.966	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	13.288	0.000	0.886	-	-	-
N20	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-14.286	0.000	-1.429	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	13.195	0.000	0.737	-	-	-
N21	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-22.085	0.000	-2.176	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	18.648	0.000	0.805	-	-	-
N22	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-22.037	0.000	-1.870	-	-	-

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 79 of 92	

Envoltória dos deslocamentos em nós								
Referência	Tipo	Combinação	Deslocamentos em eixos globais					
		Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
		Valor máximo da envoltória	18.636	0.000	0.719	-	-	-
N23	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-26.843	0.000	-1.708	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	22.766	0.000	0.588	-	-	-
N24	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-26.853	0.000	-1.497	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	22.736	0.000	0.271	-	-	-
N25	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	0.000	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.000	-	-	-
N26	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.840	-5.223	-1.520	-0.569	-3.868	-10.746
		Valor máximo da envoltória	27.528	3.096	0.582	0.859	1.726	19.459
N27	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N28	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-20.939	-2.727	-1.877	-0.275	-2.335	-3.761
		Valor máximo da envoltória	27.104	1.010	0.713	0.709	3.032	4.245
N29	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-20.935	-2.754	-2.222	-0.383	-2.013	-3.767
		Valor máximo da envoltória	27.102	1.522	0.808	0.670	2.334	4.253
N30	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.552	-4.806	-38.720	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.011	1.314	18.904	-	-	-
N31	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.372	-4.876	-38.637	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.906	0.869	18.859	-	-	-
N32	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.873	-9.751	-2.293	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	27.474	1.739	0.739	-	-	-
N33	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-23.847	-9.611	-2.012	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.967	2.629	0.555	-	-	-
N34	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-20.935	-1.241	-1.277	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	27.101	-0.306	0.161	-	-	-
N35	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-23.845	-4.395	-1.617	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.913	2.549	0.499	-	-	-
N36	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.786	-6.988	-30.451	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.970	1.246	15.029	-	-	-
N37	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.406	-6.837	-30.779	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	28.093	1.870	15.189	-	-	-
N38	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.889	-7.968	-21.622	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.366	1.421	10.556	-	-	-
N39	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.236	-7.804	-22.053	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.149	2.135	10.769	-	-	-
N40	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.914	-8.949	-10.964	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.315	1.596	5.074	-	-	-
N41	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.030	-8.770	-11.422	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.869	2.399	5.297	-	-	-
N42	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.620	-6.008	-36.244	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.124	1.071	17.808	-	-	-
N43	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.517	-5.871	-36.420	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.993	1.606	17.890	-	-	-
N44	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.409	-5.027	-38.640	-	-	-

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 80 of 92	

Envoltória dos deslocamentos em nós								
Referência	Tipo	Combinação	Deslocamentos em eixos globais					
		Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
		Valor máximo da envoltória	25.763	0.897	18.867	-	-	-
N45	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.553	-4.905	-38.677	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.088	1.342	18.883	-	-	-
N46	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.848	-7.478	-26.331	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.145	1.334	12.972	-	-	-
N47	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.328	-7.321	-26.716	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	28.692	2.002	13.165	-	-	-
N48	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.910	-8.459	-16.407	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.840	1.508	7.886	-	-	-
N49	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.135	-8.287	-16.860	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.639	2.267	8.113	-	-	-
N50	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.713	-6.498	-33.758	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.010	1.159	16.659	-	-	-
N51	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.473	-6.354	-34.013	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	27.562	1.738	16.785	-	-	-
N52	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.524	-5.518	-37.781	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.398	0.984	18.490	-	-	-
N53	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.551	-5.388	-37.886	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.515	1.474	18.548	-	-	-
N54	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.897	-9.375	-6.203	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.949	1.672	2.655	-	-	-
N55	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-23.934	-9.191	-6.639	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	30.051	2.514	2.863	-	-	-
N56	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.362	-4.821	-1.519	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	28.833	2.830	0.586	-	-	-
N57	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.362	-9.810	-2.145	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	28.832	2.322	0.646	-	-	-
N58	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-23.235	-3.927	-1.842	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.794	2.245	0.627	-	-	-
N59	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-23.235	-8.637	-1.769	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	29.792	2.540	0.398	-	-	-
N60	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-21.787	-3.104	-2.137	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	28.229	1.728	0.771	-	-	-
N61	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-21.788	-4.257	-1.411	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	28.230	0.946	0.210	-	-	-
N62	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-11.194	-0.791	-1.956	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	12.292	0.421	0.884	-	-	-
N63	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-11.200	-0.699	-1.201	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	12.279	0.246	0.742	-	-	-
N64	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-16.781	-1.689	-2.309	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	20.622	0.918	0.836	-	-	-
N65	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-16.790	-1.610	-1.591	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	20.611	0.583	0.811	-	-	-
N66	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-14.954	-1.349	-2.247	-	-	-

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 81 of 92	

Envoltória dos deslocamentos em nós								
Referência	Tipo	Combinação	Deslocamentos em eixos globais					
		Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
		Valor máximo da envoltória	17.796	0.729	0.876	-	-	-
N67	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-14.963	-1.260	-1.458	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	17.784	0.453	0.793	-	-	-
N68	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-9.304	-0.572	-1.731	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	9.725	0.302	0.831	-	-	-
N69	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-9.308	-0.486	-1.087	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	9.713	0.169	0.713	-	-	-
N70	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-5.955	-0.208	-0.764	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	5.571	0.070	0.523	-	-	-
N71	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-5.963	-0.267	-1.253	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	5.581	0.139	0.680	-	-	-
N72	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-2.976	-0.091	-0.752	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	2.537	0.047	0.453	-	-	-
N73	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-2.972	-0.069	-0.446	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	2.525	0.023	0.307	-	-	-
N74	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-1.599	-0.037	-0.506	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	1.304	0.019	0.324	-	-	-
N75	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-1.581	-0.028	-0.291	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	1.275	0.009	0.201	-	-	-
N76	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	0.000	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.000	-	-	-
N77	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.345	0.000	-1.426	0.000	-1.507	0.000
		Valor máximo da envoltória	25.344	0.000	0.818	0.000	3.590	0.000
N78	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N79	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.278	0.000	-2.036	0.000	-2.693	0.000
		Valor máximo da envoltória	21.043	0.000	0.650	0.000	2.309	0.000
N80	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.275	0.000	-1.984	0.000	-2.142	0.000
		Valor máximo da envoltória	21.039	0.000	0.692	0.000	2.418	0.000
N81	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.301	0.000	-1.775	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.382	0.000	0.432	-	-	-
N82	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-27.363	0.000	-1.672	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.199	0.000	0.367	-	-	-
N83	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.275	0.000	-1.368	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	21.040	0.000	0.219	-	-	-
N84	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-27.322	0.000	-1.512	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.197	0.000	0.723	-	-	-
N85	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.262	-2.763	-30.218	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	27.043	0.493	14.998	-	-	-
N86	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.800	-2.774	-30.556	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.866	0.759	15.166	-	-	-
N87	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.384	-1.783	-21.186	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.816	0.318	10.390	-	-	-
N88	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-26.792	-1.807	-21.620	-	-	-

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 82 of 92	

Envoltória dos deslocamentos em nós								
Referência	Tipo	Combinação	Deslocamentos em eixos globais					
		Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
		Valor máximo da envoltória	24.660	0.494	10.606	-	-	-
N89	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.620	-0.803	-10.471	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.076	0.143	4.850	-	-	-
N90	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-27.409	-0.841	-10.924	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.417	0.230	5.070	-	-	-
N91	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.256	-3.744	-36.304	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.770	0.668	17.959	-	-	-
N92	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.734	-3.740	-36.494	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.068	1.023	18.049	-	-	-
N93	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.349	-4.724	-38.691	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.057	0.842	18.919	-	-	-
N94	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.560	-4.706	-38.716	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.940	1.287	18.922	-	-	-
N95	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.322	-2.273	-25.982	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.959	0.405	12.866	-	-	-
N96	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-26.373	-2.290	-26.374	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.770	0.627	13.065	-	-	-
N97	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.508	-1.293	-15.921	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.459	0.231	7.679	-	-	-
N98	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-27.237	-1.324	-16.374	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.540	0.362	7.908	-	-	-
N99	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.253	-3.253	-33.664	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.947	0.580	16.716	-	-	-
N100	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.291	-3.257	-33.931	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.949	0.891	16.850	-	-	-
N101	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.294	-4.234	-37.966	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	26.459	0.755	18.699	-	-	-
N102	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.606	-4.223	-38.066	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.540	1.155	18.747	-	-	-
N103	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.771	-0.376	-5.751	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	25.556	0.067	2.441	-	-	-
N104	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-27.533	-0.421	-6.177	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.304	0.115	2.644	-	-	-
N105	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-26.406	0.000	-1.431	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.790	0.000	0.815	-	-	-
N106	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-26.450	0.000	-1.721	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	24.790	0.000	0.397	-	-	-
N107	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-27.308	0.000	-1.602	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	23.495	0.000	0.620	-	-	-
N108	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-27.368	0.000	-1.585	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	23.502	0.000	0.319	-	-	-
N109	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-26.145	0.000	-1.873	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	21.928	0.000	0.638	-	-	-
N110	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-26.163	0.000	-1.433	-	-	-

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 83 of 92	

Envoltória dos deslocamentos em nós								
Referência	Combinação		Deslocamentos em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
		Valor máximo da envoltória	21.946	0.000	0.245	-	-	-
N111	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-11.802	0.000	-1.838	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	11.260	0.000	0.891	-	-	-
N112	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-11.789	0.000	-1.263	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	11.266	0.000	0.678	-	-	-
N113	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-19.517	0.000	-2.133	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	16.864	0.000	0.844	-	-	-
N114	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-19.507	0.000	-1.725	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	16.872	0.000	0.759	-	-	-
N115	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-16.927	0.000	-2.091	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	15.026	0.000	0.884	-	-	-
N116	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-16.915	0.000	-1.577	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	15.036	0.000	0.748	-	-	-
N117	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-9.381	0.000	-1.633	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	9.356	0.000	0.837	-	-	-
N118	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-9.369	0.000	-1.096	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	9.360	0.000	0.619	-	-	-
N119	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-5.423	0.000	-0.767	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	5.985	0.000	0.468	-	-	-
N120	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-5.433	0.000	-1.190	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	5.993	0.000	0.684	-	-	-
N121	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-2.490	0.000	-0.718	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	2.990	0.000	0.456	-	-	-
N122	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-2.478	0.000	-0.448	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	2.986	0.000	0.280	-	-	-
N123	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-1.292	0.000	-0.484	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	1.606	0.000	0.327	-	-	-
N124	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-1.270	0.000	-0.293	-	-	-
		Valor máximo da envoltória	1.588	0.000	0.183	-	-	-

Analisando os dados verificamos que os deslocamentos estão dentro do previsto e filtrando os nós de topo da coluna e do ponto de fixação das vigas de rolamento geramos a tabela a seguir para checarmos esses pontos isoladamente.

Envoltória dos deslocamentos em nós								
Referência	Combinação		Deslocamentos em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N26	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-24.840	-5.223	-1.520	-0.569	-3.868	-10.746
		Valor máximo da envoltória	27.528	3.096	0.582	0.859	1.726	19.459
N28 Viga rol.	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-20.939	-2.727	-1.877	-0.275	-2.335	-3.761
		Valor máximo da envoltória	27.104	1.010	0.713	0.709	3.032	4.245
N77	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.345	0.000	-1.426	0.000	-1.507	0.000

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
			Página 84 of 92	

Envoltória dos deslocamentos em nós								
Referência	Tipo	Combinação	Deslocamentos em eixos globais					
		Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
		Valor máximo da envoltória	25.344	0.000	0.818	0.000	3.590	0.000
N79 Viga rol.	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	-25.278	0.000	-2.036	0.000	-2.693	0.000
		Valor máximo da envoltória	21.043	0.000	0.650	0.000	2.309	0.000

Pela tabela verificamos que os deslocamentos entre as vigas de rolamentos ficam próximo a 6mm quando o limite é de 15mm.

Analises das Terças e analises dos Contraventos

Não foram dimensionadas por não estar no escopo deste trabalho.

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo		PROJETO FINAL DE CURSO	
			Rev.: 00	Data: 28/01/17
	Página 85 of 92			

Analises da Viga de Rolamento para ELS e ELU

A viga de rolamento foi dimensionada desenvolvendo o conceito do material didático da disciplina, com o auxílio das publicações disponíveis, alinhado com os preceitos da norma americana pelo ASD, como com auxílio da ferramenta computacional Mathcad como segue:

MEMÓRIA DE CÁLCULO -VIGA DE ROLAMENTO

1 - Propriedades Mecânicas do Aço

ASTM A36

$$f_y = 250 \text{ MPa} \quad f_u = 400 \text{ MPa} \quad E_a = 200000 \text{ MPa} \quad \rho_a = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

2 - Flechas Admissíveis

Vertical, devido ao trem-tipo (carga móvel), sem impacto:

$$\text{Vigas para pontes rolantes com capacidade } \leq 200\text{kN} \quad f \leq \frac{L}{600}$$

$$\text{Vigas para pontes rolantes com capacidade } > 200\text{kN} \quad f \leq \frac{L}{800}$$

$$\text{Vigas para pontes rolantes siderúrgicas} \quad f \leq \frac{L}{1000}$$

Lateral, devido ao trem-tipo:

$$\text{Vigas para qualquer ponte rolante} \quad f \leq \frac{L}{600}$$

3 - Relações para pré-dimensionamento

$$L = 9 \text{ m} \quad f \leq \frac{L}{600} \quad d_1 = \frac{L}{10} = 900 \text{ mm} \quad d_2 = \frac{L}{14} = 642.86 \text{ mm} \quad d = 700 \text{ mm}$$

$$f \leq \frac{L}{800} \quad d_1 = \frac{L}{8} = 1125 \text{ mm} \quad d_2 = \frac{L}{12} = 750 \text{ mm}$$

$$f \leq \frac{L}{1000} \quad d_1 = \frac{L}{5} = 1800 \text{ mm} \quad d_2 = \frac{L}{10} = 900 \text{ mm}$$

$$b_{p1} = \frac{L}{20} = 450 \text{ mm} \quad b_{p2} = \frac{L}{40} = 225 \text{ mm} \quad b_{fs} = 400 \text{ mm}$$

$$t_p \geq 12.5 \text{ mm} \quad t_{fs} = 12.5 \text{ mm} \quad t_f = t_{fs} \quad h = d - 2 t_p \quad h = 675 \text{ mm}$$

1 - Relação altura/espessura:

$$t_w = 8 \text{ mm} \quad \frac{h}{t_w} = 84.38 \quad \leq \leq \quad 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} = 106.35$$

4 - Propriedades Geométricas - Perfil Soldado Monossimétrico de Mesas Diferentes

$$d = 700 \text{ mm}$$

$$b_{fs} = 400 \text{ mm}$$

$$b_{fi} = 200 \text{ mm}$$

$$t_w = 8.0 \text{ mm}$$

$$t_{fs} = 12.5 \text{ mm}$$

$$t_{fi} = 12.5 \text{ mm}$$

$$h = d - t_{fs} - t_{fi}$$

$$h = 675 \text{ mm}$$

$$A = b_{fs} \cdot t_{fs} + b_{fi} \cdot t_{fi} + h \cdot t_w$$

$$A = 129 \text{ cm}^2$$

$$Peso = A \cdot \rho_a$$

$$Peso = 101.27 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$y_{CG} = \frac{b_{fs} \cdot t_{fs} \cdot \left(d - \frac{t_{fs}}{2}\right) + b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \left(\frac{t_{fi}}{2}\right) + h \cdot t_w \cdot \left(t_{fi} + \frac{h}{2}\right)}{b_{fs} \cdot t_{fs} + b_{fi} \cdot t_{fi} + h \cdot t_w}$$

$$y_{CG} = 416.62 \text{ mm}$$

$$d_y = d - y_{CG}$$

$$d_y = 283.38 \text{ mm}$$

$$d_i = y_{CG}$$

$$d_i = 416.62 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{(b_{fs} \cdot t_{fs}^3) + (b_{fi} \cdot t_{fi}^3) + (t_w \cdot h^3)}{12} + b_{fs} \cdot t_{fs} \cdot \left(d_s - \frac{t_{fs}}{2}\right)^2 + b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \left(d_i - \frac{t_{fi}}{2}\right)^2 + t_w \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} + t_{fs} - d_y\right)^2$$

$$I_x = 103410.93 \text{ cm}^4$$

$$M_x = b_{fs} \cdot t_{fs} \cdot \left(d_s - \frac{t_{fs}}{2}\right)$$

$$M_x = 1385.66 \text{ cm}^3$$

5 - Esforços causados pela viga de rolamento

Dados:

$$PP_{\text{Ponte}} = 38.5 \text{ kN}$$

$$a = 2500 \text{ mm}$$

$$N_R = 2$$

$$PP_{\text{Talha}} = 3.57 \text{ kN}$$

$$Cd = PP_{\text{Ponte}} + PP_{\text{Talha}} \quad Cd = 42.07 \text{ kN}$$

$$Cap = 50 \text{ kN}$$

$$R_{Maz} = 35 \text{ kN}$$

$$R_{Men} = \frac{Cd + Cap - N_R \cdot R_{Maz}}{N_R} \quad R_{Men} = 11.04 \text{ kN}$$

$$C_{bs} = 21 \text{ kN}$$

$$C_i = 0.25 \cdot R_{Max}$$

$$C_i = 8.75 \text{ kN}$$

$$C_{ss} = \frac{0.40 \cdot C_{ap}}{N_R}$$

$$C_{ss} = 10 \text{ kN}$$

$$C_{ls} = 0.20 \cdot R_{Max}$$

$$C_{ls} = 7 \text{ kN}$$

$$C_{us_1} = R_{Max}$$

$$C_{us_1} = 35 \text{ kN}$$

$$C_{us_2} = R_{Min}$$

$$C_{us_2} = 11.04 \text{ kN}$$

$$F_{Influência} = \frac{(L - a)}{L}$$

$$F_{Influência} = 0.72$$

- Esforços na Viga de Rolamento

$$PP_{VR} = 0.90 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$PP_{TR} = 0.40 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$PP = PP_{VR} + PP_{TR}$$

$$PP = 1.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Cálculo do cortante vertical máximo:

$$P_{Max} = R_{Max}$$

$$Q_{PR} = P_{Max} \cdot \left(2 - \frac{a}{L}\right) \cdot 1.25$$

$$Q_{PR} = 75.35 \text{ kN}$$

$$Q_{CP} = PP \cdot \frac{L}{2}$$

$$Q_{CP} = 5.85 \text{ kN}$$

$$Q_{VR_V} = Q_{PR} + Q_{CP}$$

$$Q_{VR_V} = 81.2 \text{ kN}$$

Cálculo de momento vertical máximo:

$$M_{PR} = \begin{cases} \text{if } a \leq 0.586 \cdot L \\ \left| \frac{P_{Max}}{2L} \cdot \left(L - \frac{a}{2}\right)^2 \right| \\ \text{if } a > 0.586 \cdot L \\ \left| \frac{P_{Max} \cdot L}{4} \right| \end{cases} \cdot 1.25 \quad M_{PR} = 145.99 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{PP} := \frac{PP \cdot L^2}{8}$$

$$M_{PP} = 13.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{VR_Y} := M_{PR} + M_{PP}$$

$$M_{VR_Y} = 159.15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Cálculo do cortante horizontal máximo:

$$H_T := C_{ss}$$

$$V_{VR_H} := H_T \cdot \left(2 - \frac{a}{L}\right)$$

$$V_{VR_H} = 17.22 \text{ kN}$$

Cálculo do momento horizontal máximo:

$$M_{VR_H} := \begin{cases} \text{if } a < 0.586 \cdot L \\ \left| \frac{H_T}{2L} \cdot \left(L - \frac{a}{2}\right)^2 \right| \\ \text{if } a > 0.586 \cdot L \\ \left| \frac{H_T \cdot L}{4} \right| \end{cases}$$

$$M_{VR_H} = 33.37 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\Delta_x := \frac{5 \cdot \frac{M_{PR} \cdot L^2}{1.25}}{48 E_a \cdot I_x}$$

$$\Delta_x = 4.76 \text{ mm}$$

$$\Delta_{adm} := \frac{L}{600} = 15 \text{ mm}$$

7 - Enrijecedores verticais de apoio

$$t \geq t_w$$

$$b := 85 \text{ mm}$$

$$t := 8 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t} = 10.63$$

$$\leq 11$$

$$0.56 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} = 15.84$$

$$A := 2 \cdot b \cdot t + 12 \cdot t_w^2$$

$$A = 21.28 \text{ cm}^2$$

$$I_{y_{cor}} := \frac{t \cdot (2 \cdot b + t_w)^3}{12}$$

$$I_{y_{cor}} = 375.98 \text{ cm}^4$$

$$r_y := \sqrt{\frac{I_{y_{cor}}}{A}}$$

$$r_y = 4.2 \text{ cm}$$

$$K = 0.75$$

$$L_y = h$$

$$\lambda_y := \frac{K \cdot L_y}{r_y}$$

$$\lambda_y = 12.04$$

$$P = \frac{f_y \cdot \lambda_y^2}{\pi^2 \cdot E_a} \quad F_a = 0.6 \cdot f_y \cdot 0.658^P \quad F_a = 14.89 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$N_R = F_a \cdot A$$

$$N_R = 316.76 \text{ kN}$$

$$\geq$$

$$Q_{VRV} = 81.2 \text{ kN}$$

8 - Enrijecedores intermediários

$$\frac{h}{t_w} = 84.38 \quad \leq \quad 260$$

$$k_v = 5.0 \quad \text{Sem enrijecedor}$$

$$156 \cdot \sqrt{\frac{k_v}{f_y}} = 69.77 \quad \leq \quad \frac{h}{t_w} = 84.38 \quad \leq \quad 194 \cdot \sqrt{\frac{k_v}{f_y}} = 86.76$$

$$C_v = \frac{156 \cdot \sqrt{\frac{k_v}{f_y}}}{\frac{h}{t_w}} \quad C_v = 0.83$$

$$A_w = h \cdot t_w \quad A_w = 54 \text{ cm}^2$$

$$V_R = 0.4 \cdot f_y \cdot C_v \cdot A_w \quad V_R = 446.5 \text{ kN} \quad \geq \quad Q_{VRV} = 81.2 \text{ kN} \quad h = 0.68 \text{ m}$$

Não há necessidade de enrijecedores intermediários, mas para combater qualquer excentricidade do trilho, vamos colocá-los a uma distância em torno de 3 vezes "h" ($3 \times 675 = 2025 \text{ mm}$). Será adotado 1800 mm de espaçamento entre os enrijecedores.

9 - Soldas

Trilho adotado: TR-37

$$Q = Q_{VRV}$$

$$h_T = 122.24 \text{ mm} \quad \alpha = 45^\circ$$

$$Impacto = 1.25$$

$$N = \frac{2(h_T + t_{ps})}{\tan(\alpha)} \quad N = 269.48 \text{ mm}$$

$$q_x = \frac{M_x \cdot Q}{2 \cdot I_x} \quad q_x = 0.54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

$$q_y = \frac{P_{Mtx} \cdot Impacto}{2 \cdot N} \quad q_y = 0.81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

$$q = \sqrt{q_x^2 + q_y^2}$$

$$q = 0.98 \frac{kN}{cm}$$

$$ec = q \cdot \frac{10 \frac{mm}{cm}}{10.4 \frac{kN}{cm}}$$

$$ec = 0.94 \text{ mm}$$

$$w_{Adotado} = 5 \text{ mm}$$

$$w \geq 6 \text{ mm}$$

Seria adotado $w = 5 \text{ mm}$, conforme a determinação de solda mínima para metal base entre espessuras de 6.35 mm e 12.5 mm, porém recomenda-se usar no mínimo $w = 6 \text{ mm}$ em vigas de rolamento.

10 - Tensões locais em vigas de rolamento (AISE n°13/03) - Esmagamento da Alma

$$F_{bw} = \frac{P_{Max} \cdot \alpha}{N \cdot t_w}$$

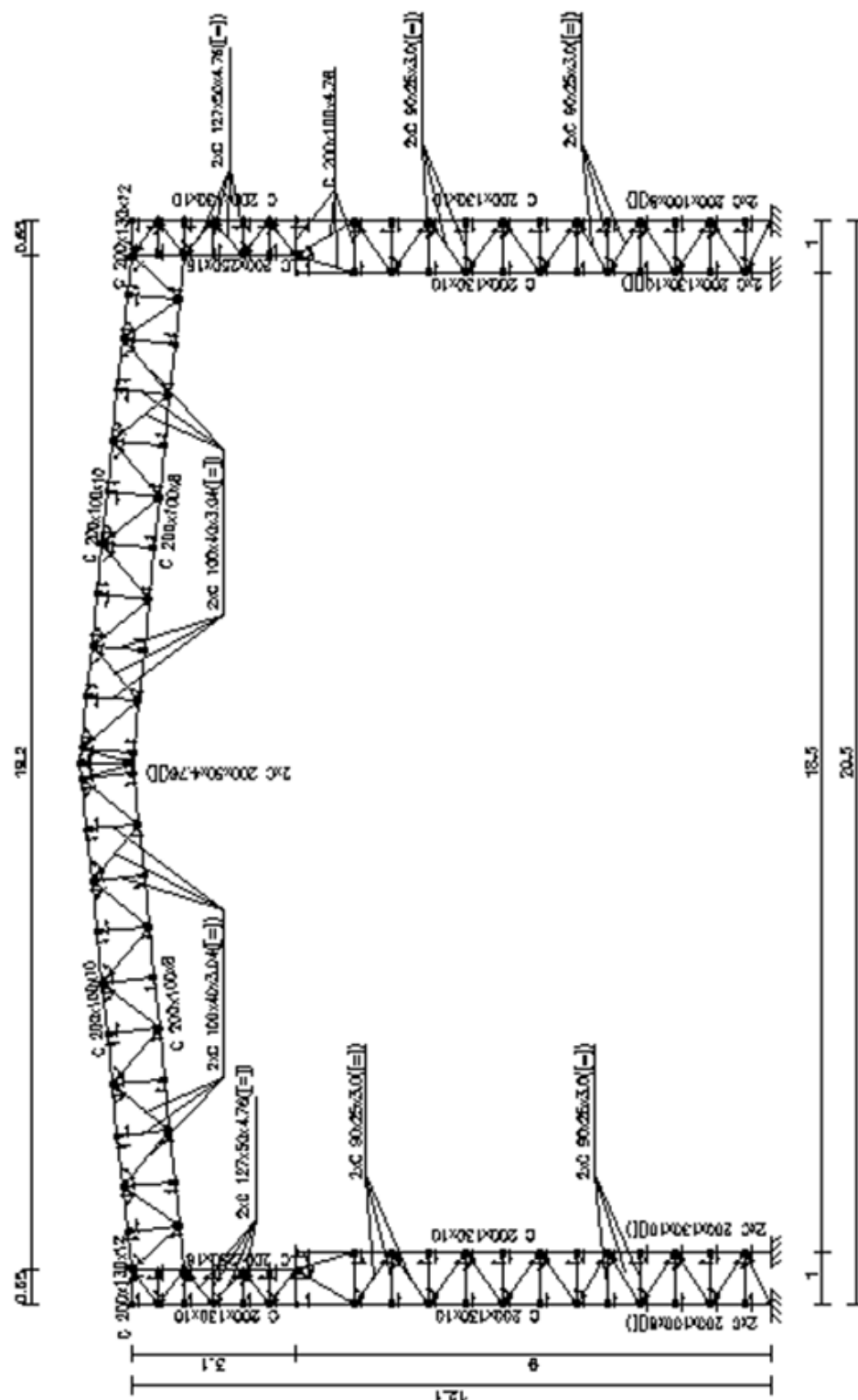
$$\leq$$

$$f_{bw} = 0.9 \cdot f_y$$

$$F_{bw} = 1.28 \frac{kN}{cm^2}$$

$$f_{bw} = 22.5 \frac{kN}{cm^2}$$

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS



Esquema do pórtico final com as medidas alteradas.

	ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS TURMA 2015-2016 Memorial de Cálculo	PROJETO FINAL DE CURSO	
		Rev.: 00	Data: 28/01/17
		Página 92 of 92	

Tabela resumo dos materiais utilizados por pórtico

Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Série (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço dobrado	A-36	Perfil C	C 90x25x3.0, Caixa dupla com presilhas	50.760			0.040			310.91		
			C 200x100x4.76	6.864			0.013			98.54		
			C 127x50x4.76, Caixa dupla com presilhas	15.212			0.031			240.10		
			C 200x100x12, Caixa dupla soldada	2.000			0.017			135.72		
			C 200x50x4.76, Duplo I união soldada	1.005			0.003			21.35		
			C 200x100x10	19.297			0.071			555.66		
			C 200x100x8	19.297			0.058			452.57		
			C 200x250x16	6.270			0.065			509.48		
			C 200x130x12	1.302			0.007			51.53		
			C 200x50x4.76	1.300			0.002			13.81		
			C 100x40x3.04, Caixa dupla com presilhas	49.439			0.051			400.93		
			C 200x130x10, Duplo I união soldada	5.000			0.043			335.06		
			C 200x130x10	32.200			0.137			1078.88		
			C 200x100x8, Duplo I união soldada	5.000			0.030			234.53		
					214.945			0.565			4439.06	
						214.945			0.565			4439.06

A estrutura foi dimensionada pelo ELS, pois o limite dos deslocamentos no nível do trilho da ponte rolante deve ser menor ou igual a $L/400$ e não pelo ELU.

Isso fez com que tivéssemos que alterar algumas vezes as dimensões dos pilares, afim de não ultrapassar estes limites imagino fazer isto sem uma ferramenta como temos hoje, parabenizamos o pessoal da régua de cálculo, pelas estruturas projetadas e executadas no passado, que ainda estão até hoje ai como por exemplo a TORRE EIFEL, ESTAÇÕES DE TREM, PONTES E EDIFÍCIOS.

Estas alterações também deveram ser compatibilizadas no projeto arquitetônico pois as dimensões externas sofreram mudanças também.

Executar este tipo de obra com chapas dobradas, eleva a quantidade de mão de obra para execução e a posterior manutenção, podendo assim surgir pontos de ferrugem em vários locais inacessíveis, encurtando a sua vida útil o que desvalorizará tanto a obra como o seu projetista.

Uma estrutura não somente deve estar resistente e estável, mas deverá parecer estável e sólida e com bom aspecto ao longo da sua vida útil.