

TRELIÇAS TIPO STEEL JOIST

Série “Manual de Construção em Aço”

- Galpões para Usos Gerais
- Ligações em Estruturas Metálicas
- Edifícios de Pequeno Porte Estruturados em Aço
- Alvenarias
- Painéis de Vedação
- Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço
- Tratamento de Superfície e Pintura
- Transporte e Montagem
- Steel Framing: Arquitetura
- Interfaces Aço-Concreto
- Steel Framing: Engenharia
- Pontes e Viadutos em Vigas Mistas
- Treliças Tipo Steel Joist

FLÁVIO CORREA D'ALAMBERT
MARCELO BRISOLA PINHEIRO

TRELIÇAS TIPO STEEL JOIST

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA
CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

RIO DE JANEIRO
2007

© 2007 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA/CENTRO BRASILEIRO DA
CONSTRUÇÃO EM AÇO

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por quaisquer meio, sem a prévia autorização desta
Entidade.

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Informações do IBS/CBCA

D136t	D’Alambert, Flávio Correa Trelças tipo steel Joist / Flávio Correa D’Alambert , Marcelo Brisola Pinheiro. - Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007. 85 p. ; 29 cm. — (Série Manual de Construção em Aço) Inclui CD-Rom ISBN 978-85-89819-13-8 1.Steel Joist 2. Trelças I. Títulos (série) II Pinheiro, Marcelo Brisola CDU 624.21:693.9(035)
-------	--

Instituto Brasileiro de Siderurgia / Centro Brasileiro da Construção em Aço
Av. Rio Branco, 181 / 28º Andar
20040-007 - Rio de Janeiro - RJ
e-mail: cbca@ibs.org.br
site: www.cbca-ibs.org.br

SUMÁRIO

Capítulo 1

Definição e histórico	09
-----------------------	----

Capítulo 2

Vantagens no uso de joists padronizados	11
---	----

Capítulo 3

Materiais utilizados	13
3.1 Aço	14
3.2 Duplo U laminado	14
3.3 Cantoneiras	15
3.4 T laminado	16
3.5 T eletro-soldado	17
3.6 Perfis formados a frio tipo U	18
3.7 Tubos circulares	19
3.8 Tubos quadrados	20

Capítulo 4

Premissas e normas utilizadas	23
4.1 Normas utilizadas	24
4.2 Premissas de projeto	24
4.2.1 Esquema estrutural	24
4.2.2 Geometria dos Joists	24
4.2.2.1 Joist para coberturas – Tipo 01 Leve	24
4.2.2.2 Joist para coberturas e apoio de lajes – Tipo 02	25
4.2.3 Apoios	26
4.2.4 Travamentos	27
4.2.4.1 Instalação	27
4.2.4.2 Tipo	27
4.2.4.3 Ligação dos travamentos	31
4.2.4.4 Ancoragem dos travamentos	31
4.2.4.5 Sistemas de travamentos	31
4.2.4.6 Espaçamento dos travamentos	31
4.2.4.7 Tolerâncias de fabricação	31
4.2.4.8 Travamentos necessários para Joist	31
4.2.5 Detalhes construtivos	32
4.2.6 Tipos de carregamento	40
4.2.6.1 Uniformemente distribuídos (CUD)	40
4.2.6.2 Cargas concentradas	41

Capítulo 5

Abertura para dutos	43
---------------------	----

Capítulo 6

Deformações Limite

45

Capítulo 7

Projetando Joists – exemplos de utilização

47

7.1 Perfis laminados tipo U

48

7.2 Cantoneiras laminadas

56

7.3 Perfil T laminado

62

7.4 Perfil T eletro-soldado

66

7.5 Perfil U formado a frio

69

7.6 Perfis tubulares – circulares e quadrados

75

Apresentação

O CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço tem a satisfação de oferecer aos profissionais da construção em aço o décimo terceiro manual de uma série cujo objetivo é a disseminação de informações técnicas e melhores práticas.

Este manual tem como foco as treliças planas do tipo *steel joist* de banzos paralelos, destacando sua utilização, as diferentes especificações, padronização de vãos, alturas e modulação dos *joists*, sempre visando os melhores resultados na relação entre peso e requisitos do projeto.

Podendo ser utilizadas em sistemas estruturais de coberturas, fechamentos laterais e pavimentos de edificações em geral, as treliças padronizadas tipo *steel joist* oferecem diversos benefícios. O baixo peso das treliças requer pilares mais esbeltos e fundações com menores cargas. A rapidez, a facilidade na montagem e maior flexibilidade do *lay-out* da edificação, permitem ganhos de produtividade na obra. O uso de aço de alta resistência amplia os benefícios citados de forma significativa.

O manual inclui um CD-ROM contendo tabelas para o dimensionamento utilizando os diferentes tipos de perfis existentes no mercado, sejam eles laminados, soldados, eletro-soldados, formados a frio ou tubulares de seção circular ou quadrada. Por ser um manual prático, torna-se uma ferramenta importante para aqueles que pretendem utilizar o sistema de treliças tipo *steel joist* em seus projetos.

Trata-se de uma publicação de referência, para ser utilizada exclusivamente como orientação e informação sobre práticas e técnicas consagradas no mercado. Ressaltamos que a aplicação em projetos dos conceitos aqui introduzidos requer a análise e a especificação ratificadas por profissional qualificado.

Centro dinâmico de serviços, capacitado para conduzir uma política de promoção do uso do aço na construção com foco exclusivamente técnico, o CBCA está seguro de que este manual enquadra-se no objetivo de contribuir para a difusão de competência técnica e empresarial no País.

Capítulo 1

Definição e histórico

A denominação Joist é largamente utilizada nos Estados Unidos da América (EUA) para especificar treliças planas.

Esta tecnologia é utilizada há muito tempo em todo o mundo, porém foi normalizada sob a forma de um código técnico pela 1ª vez no ano de 1928, quando foi constituído o Steel Joist Institute (SJI). Essa organização composta por fabricantes de estruturas de aço, tem como principal função, padronizar produtos e qualificar fabricantes de joists através do desenvolvimento de tecnologia de cálculo, projeto, fabricação e montagem.

Este manual tem por finalidade fornecer uma introdução à padronização no uso do sistema de treliças planas de banzos paralelos no Brasil.

A escolha dos perfis utilizados nos cálculos (ver capítulo 3) teve como critérios de seleção aqueles comumente encontrados em nosso mercado. Procurou-se padronizar vãos, alturas e modulações dos Joists para permitir equalização de resultados, porém, apesar das mais de 47 000 análises particulares, seria impossível varrer todas as possibilidades visando otimização de pesos.

Os cálculos dos joists foram realizados tendo em vista as versões mais atualizadas da norma americana (AISC – 2005) e norma brasileira (NBR 14762/2001), porém devem ser utilizados com critério por profissionais qualificados, pois seguindo tendência internacional, são apresentados valores de cálculo no Processo de Tensões Admissíveis (ASD – Allowable Stress Design) e dos Estados Limites Últimos (LRFD – Load and Resistance Factor Design). Como novidade também são colocados valores de cálculo que representam o estado limite de utilização referente à deformação.

- Datas significativas no desenvolvimento da Tecnologia Joist – EUA:

- 1928 – Fundação do SJI
- 1929 – Criação da 1ª tabela de cargas
- 1953 – Incremento de vigas para até 30 metros
- 1959 – Novas tabelas de carga para aços com limite de escoamento de 234 MPa
- 1961 – Novas tabelas de carga para aços com limite de escoamento de 253 MPa (ASTMA36)
- 1962 – Novas tabelas de carga para aços com limite de escoamento entre 253 e 350 MPa
- 1965 – Desenvolvimento de unificação de especificações com o AISC
- 1970 – Incremento de vigas para até 44 metros e desenvolvimento de novas séries.

Principais aplicações:

- Construção civil:
 - Coberturas de supermercados
 - Coberturas de galpões industriais
 - Coberturas de estabelecimentos comerciais
 - Coberturas para estádios, ginásios, praças esportivas em geral, etc.
 - Fechamentos laterais
 - Vigas de piso para apoio de laje

Capítulo 2

Vantagens no uso de joists
padronizados

Os joists têm sua maior eficiência quando utilizados em sistemas estruturais de cobertura, fechamentos laterais e pavimentos de edificações em geral, apresentando as seguintes vantagens:

- Eficiência do aço de alta resistência (ASTM A 36, ASTM A572-50, ASTM A 588);
- Baixo peso das estruturas, fruto de uma eficiente relação entre peso próprio x sobrecarga, o que ocasiona menores colunas e fundações;
- Velocidade e facilidade de montagem;
- Aumento das dimensões da construção, com redução do número de colunas e aumento de flexibilidade do layout da edificação;
- Otimização do pé-direito da edificação, conseguida pela passagem de dutos através do sistema treliçado da joist;
- Em pisos de concreto armado, quando combinadas com forma laje ou steel deck, eliminam completamente a utilização de escoramento;
- Podem ser aplicadas nos mais variados sistemas estruturais sejam metálicos ou mistos de concreto ou alvenaria.

Capítulo 3

Materiais utilizados

3.1 - Aço

Neste manual estão representados os perfis de uso normal de nosso mercado, tanto os laminados (cantoneiras, perfis tipo U e I) como também os conformados a frio de chapa (cantoneiras, perfis tipo U). Para tanto são elaboradas tabelas específicas para cada segmento. A norma brasileira pertinente à classificação dos tipos de aço é a ABNT NBR 7007.

Tipos de Aço:

ASTM	NBR	LE (MPa)
ASTM A 36	NBR 6650-CF26	253
ASTM A 570-40	-----	275
ASTM A 572-50	NBR 5000-G35 NBR 5004-Q40	345
ASTM A 588	NBR 5921 CFR 500	345

Obs: Aços de qualificação comercial e sem qualificação estrutural (exemplo: SAE 1008-1010), não serão contemplados neste manual.

Perfis utilizados – Tabela Resumo

A tabela a seguir indica os tipos de perfis utilizados na composição deste manual assim como dos aços considerados nos cálculos.

		Fy		
		250 MPa	300 MPa	345 MPa
1	U LAMINADO [I]	X		X
2	CATONEIRA - 2L	X		
3	T LAMINADO - T			X
4	T ELETRO-SOLDADO - T			X
5	U DE CHAPA - U	X	X	
6	TUBO CIRCULAR - ϕ		X	
7	TUBO QUADRADO - []		X	

3.2 - Duplo U laminado

Na Figura 1 verifica-se a seção transversal típica dos banzos utilizando-se duplo U laminado.

Na Tabela 1 são indicadas as características geométricas para diversos tipos de perfis duplo U laminado (banzo inferior, banzo superior ou diagonais e montantes).

Nas tabelas de pré-dimensionamento, utilizou-se como premissa a mesma bitola para os banzos superior e inferior.

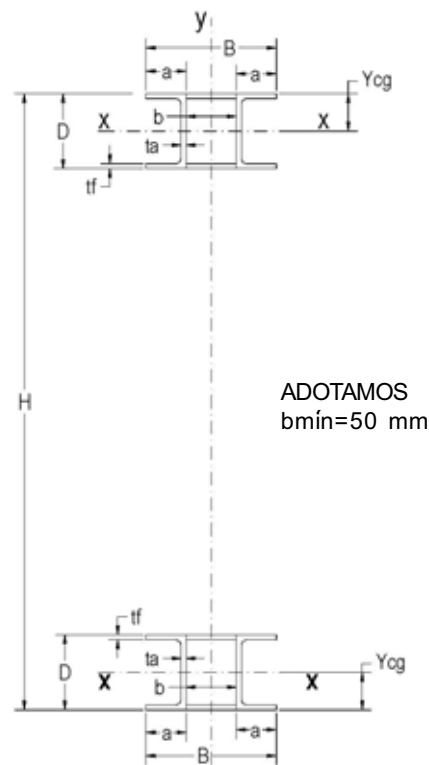


Figura 1 - Seção transversal típica para os banzos

LEGENDA

x-x = EIXO LOCAL X
y-y = EIXO LOCAL = GLOBAL Y
b = afastamento entre perfis
a = aba do perfil
tf = espessura do flange
D = altura total do perfil
ta = espessura da alma
Ycg = posição do C.G. local
B = largura total do joist
H = altura total do joist

Tabela 1 – Características geométricas perfis duplo U laminado.

PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA (cm ²)	I _{xx} (cm ⁴)	W _{xx} (cm ³)	r _x (cm)	y (cm)	I _{yy} (cm ⁴)	r _y (cm)	r min (cm)
50,8x25,4x2	3,06	3,90	15,52	6,11	1,99	2,54	42,63	3,31	0,79
76,2x38,1x2,5	5,82	7,42	67,47	17,54	3,00	3,81	103,00	3,73	1,19
76,2x38,1x3,18	7,32	9,32	83,31	21,64	2,98	3,81	131,00	3,75	1,18
101,6x50,8x3,17	9,80	12,48	201,74	39,72	4,02	5,08	221,00	4,21	1,59
101,6x50,8x4,76x3,17	12,36	15,52	268,20	52,80	4,16	5,08	308,00	4,45	1,64

3.3 - Cantoneiras

Na Figura 2 verifica-se a seção transversal típica dos banzos utilizando-se cantoneiras.

Na Tabela 2 são indicadas as características geométricas para diversos tipos de cantoneiras duplas (banzo inferior, banzo superior ou diagonais e montantes).

Nas tabelas de pré-dimensionamento, utilizou-se como premissa a mesma bitola para os banzos superior e inferior.

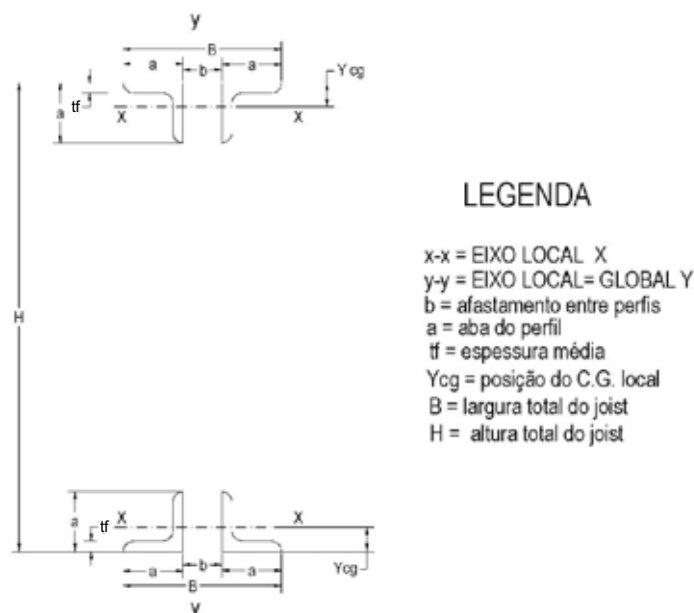


Figura 2 - Seção transversal típica para os banzos

Tabela 2 – Características geométricas cantoneiras duplas isoladas.

PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA (cm ²)	I _{xx} (cm ⁴)	W _{xx} (cm ³)	r _x (cm)	y (cm)	I _{yy} (cm ⁴)	r _y (cm)	r min (cm)	B adotado (mm)
1"x1"x1/8"	2,32	2,96	1,81	0,99	0,76	0,76	13,94	2,17	0,51	25
1 1/4"x1 1/4"x1/8"	3,03	3,86	3,66	1,55	0,96	0,91	27,85	2,69	0,63	32
1 1/2"x1 1/2"x1/8"	3,64	4,64	6,48	2,29	1,16	1,06	47,45	3,20	0,76	38
1 3/4"x1 3/4"x1/8"	4,24	5,40	10,47	3,10	1,35	1,21	76,46	3,76	0,89	45
2"x2"x1/8"	4,87	6,20	15,24	4,10	1,55	1,39	110,46	4,22	1,01	50
1 3/4"x1 3/4"x3/16"	6,28	8,00	14,9	4,56	1,34	1,29	115,07	3,79	0,89	50
2"x2"x3/16"	7,19	9,16	23,2	6,06	1,54	1,44	159,00	4,17	1,02	50
2 1/2"x2 1/2"x3/16"	9,11	11,60	45,8	10,00	1,98	1,75	249,00	4,63	1,24	50
3"x3"x3/16"	11,04	14,06	77,4	15,00	2,38	2,08	394,40	5,30	1,50	50
3"x3"x1/4"	14,59	18,58	99,8	19,00	2,36	2,13	540,00	5,39	1,50	50
4"x4"x1/4"	19,60	25,02	250	32,80	3,17	2,77	1039,00	6,44	2,01	50
6"x6"x3/8"	44,44	56,24	1282	114,80	4,78	4,17	3652,00	8,06	3,02	50
6"x6"x5/8"	72,00	91,72	2014	187,00	4,67	4,17	6547,00	8,45	3,02	50

Obs: O valor r min corresponde ao raio de giro do perfil cantoneira simples

3.4 - T Laminado

Na Figura 3 verifica-se a seção transversal típica dos banzos utilizando-se T laminado, derivado do perfil W.

Na Tabela 3 são indicadas as características geométricas para diversos tipos de perfis T laminado (banzo inferior, banzo superior). Para diagonais e montantes recomenda-se o uso de perfis do tipo $[[$, 2 L ou L.

Nas tabelas de pré-dimensionamento, utilizou-se como premissa a mesma bitola para os banzos superior e inferior.

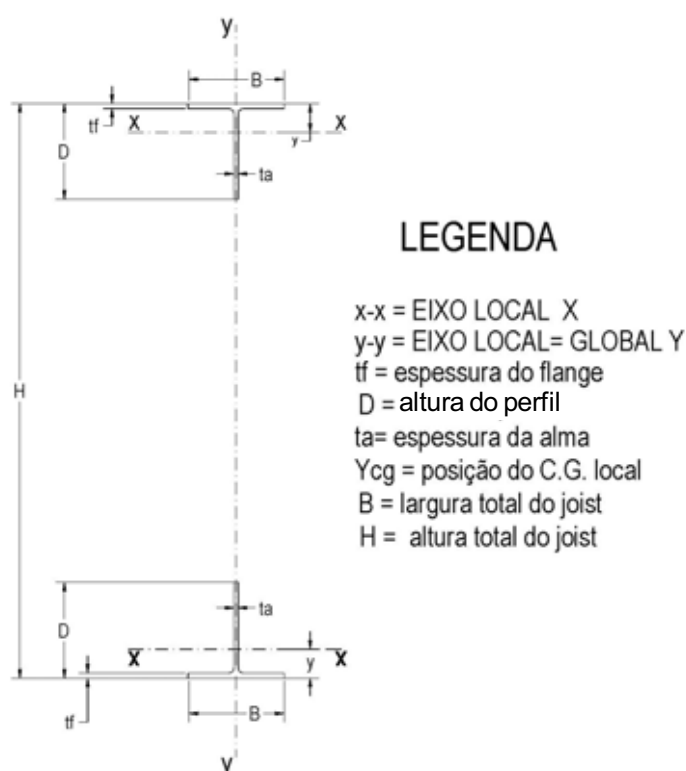


Figura 3 - Seção transversal típica para os banzos.

Tabela 3 – Características geométricas perfis T laminado

PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA (cm ²)	Ixx (cm ⁴)	Wxx (cm ³)	rx (cm)	y (cm)	b/t	Iyy (cm ⁴)	ry (cm)
WT 75x6,5	6,50	8,30	33,00	5,70	2,01	1,55	10,20	41,00	2,22
WT 100x7,5	7,50	9,70	90,00	11,90	3,05	2,39	9,61	43,00	2,11
WT 100x9,65	9,65	12,60	125,00	16,50	3,15	2,59	8	58,00	2,15
WT 125x11,15	11,15	14,40	232,00	25,00	4,01	3,44	7,00	61,00	2,06
WT 125x14,2	14,20	18,30	282,00	29,00	3,93	3,25	5,10	89,00	2,21
WT 125x16,35	16,35	21,00	289,00	28,40	3,71	2,72	8,02	236,00	3,35
WT155X19,35	19,35	24,90	486,00	39,30	4,42	3,13	8,51	363,00	3,82
WT 155X26	26,00	33,50	676,00	53,80	4,49	3,28	6,33	513,00	3,91
WT205X30	30,00	38,10	1393,00	88,40	6,05	4,59	7,95	603,00	3,98
WT265X42,5	42,50	53,90	3724,00	190,90	8,32	7,24	5,03	632,00	3,42
WT305X62,5	62,50	80,10	7053,00	306,00	9,39	7,55	5,84	1967,00	4,96
WT 305X77,5	77,50	99,00	7836,00	326,80	8,89	6,52	8,53	5391,00	7,38

3.5 - T eletro-soldado

Na Figura 4 verifica-se a seção transversal típica dos banzos utilizando-se T eletro-soldado, derivado do perfil I eletro-soldado (NBR 15279/2005).

Na Tabela 4 são indicadas as características geométricas para diversos tipos de perfis T eletro-soldado (banzo inferior, banzo superior). Para diagonais e montantes recomenda-se o uso de perfis do tipo J , 2L ou L .

Nas tabelas de pré-dimensionamento, utilizou-se como premissa a mesma bitola para os banzos superior e inferior.

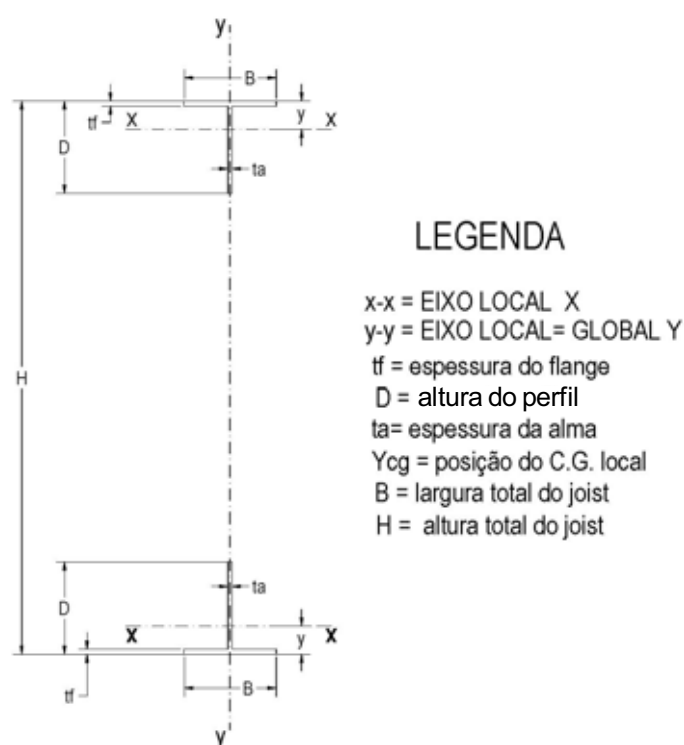


Figura 4 - Seção transversal típica para os banzos

Tabela 4 – Características geométricas perfis T eletro-soldado

PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA (cm ²)	Ixx (cm ⁴)	Wxx (cm ³)	rx (cm)	y (cm)	Iyy (cm ⁴)	ry (cm)
VET 75X6,5	6,50	8,09	41,4	7,24	2,26	1,79	39,6	2,21
VET 100X8,0	8,00	10,5	98,5	13,0	3,06	2,40	77,4	2,72
VET 100X12,5	12,50	15,8	134	17,3	2,91	2,24	130,0	2,87
VET 125X13,5	13,50	17,4	252	26,7	3,81	3,06	130,0	2,73
VET 150X16,5	16,50	21,0	442	38,8	4,59	3,64	225,0	3,27
VET 175X21,5	21,50	27,1	734	53,8	5,20	3,87	425,0	3,96
VET 225X22,5	22,50	32,7	1538	88,8	6,86	5,19	634,0	4,40
VET 250X30,5	30,50	39,0	2190	112,0	7,49	5,37	1237,0	5,63
VET 250X39,5	39,50	50,3	2743	140,0	7,38	5,26	1629,0	5,69

3.6 - Perfis formados a frio tipo U

Na Figura 5 verifica-se a seção transversal típica dos banzos utilizando-se perfis tipo U formados a frio (NBR 14762/2001).

Na Tabela 5 são indicadas as características geométricas para diversos tipos de perfis tipo U formados a frio (banzo inferior, banzo superior). Para diagonais e montantes recomenda-se o uso de perfis do tipo][ou 2 L.

Nas tabelas de pré-dimensionamento, utilizou-se como premissa a mesma bitola para os banzos superior e inferior.

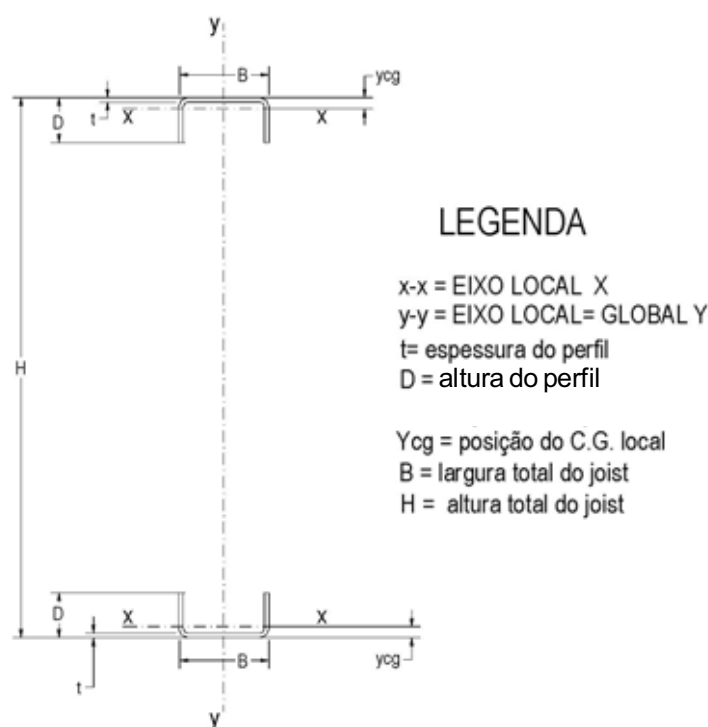


Figura 5 - Seção transversal típica para os banzos – eixos de referência

Tabela 5 – Características geométricas perfis formado a frio tipo U

NUM	PERFIL	H (mm)	B (mm)	t (mm)	MASSA kg/m	ÁREA (cm ²)	I _{xx} (cm ⁴)	W _{xx} (cm ³)	r _x (cm)	X ₀ (cm)	I _{yy} (cm ⁴)	W _y (cm ³)	r _y (cm)	I _t (cm ⁴)	C _w	r _o (cm)	Y _{cg} cm
1	50X25X3	50	25	3,00	2,12	2,7	1,57	0,91	0,76	1,5	9,71	3,89	1,9	0,081	6,27	2,53	0,77
2	75X40X3,0	75	40	3,00	3,42	4,35	6,85	2,42	1,25	2,49	37,76	10,07	2,94	0,130	63,34	4,06	1,17
3	100X40X3	100	40	3,00	4,01	5,1	7,52	2,53	1,21	2,23	74,48	14,9	3,82	0,153	126,66	4,59	1,02
5	100x40x3,75	100	40	3,75	4,94	6,29	9,09	3,09	1,2	2,21	89,89	17,98	3,78	0,294	151,48	4,54	1,06
6	100x50x4,75	100	50	4,75	6,88	8,76	20,86	5,91	1,54	3,02	130,09	26,02	3,85	0,658	339,43	5,13	1,47
7	125x50x4,75	125	50	4,75	7,81	9,95	22,45	6,11	1,5	2,76	221,87	35,5	4,72	0,747	583,83	5,67	1,32
8	150x50x6,30	150	50	6,30	11,34	14,45	29,8	8,01	1,44	2,51	433,86	57,85	5,48	1,909	1123,08	6,2	1,28
9	200x50x6,30	200	50	6,30	13,81	17,6	32,2	8,27	1,35	2,18	888,08	88,81	7,1	2,326	2252,32	7,55	1,11
10	200x75x6,30	200	75	6,35	16,29	20,75	104,47	18,61	2,24	4,05	1183,54	118,35	7,55	2,742	7070,81	8,86	1,89
11	200x100x8	200	100	8,00	23,25	29,62	286,79	40,39	3,11	6,1	1783,03	178,3	7,76	6,313	19025,36	10,35	2,90
12	300x100x8	300	100	8,00	29,53	37,93	326,12	42,73	2,94	5,15	4700	313,4	11,18	8,018	50523	12,66	2,37

3.7 - Tubos Circulares

Na Figura 6 verifica-se a seção transversal típica dos banzos utilizando-se tubos circulares.

Na Tabela 6 são indicadas as características geométricas para diversos tipos de perfis tipo tubo circular sem costura.

Nas tabelas de pré-dimensionamento, utilizou-se como premissa a mesma bitola para os banzos superior e inferior.

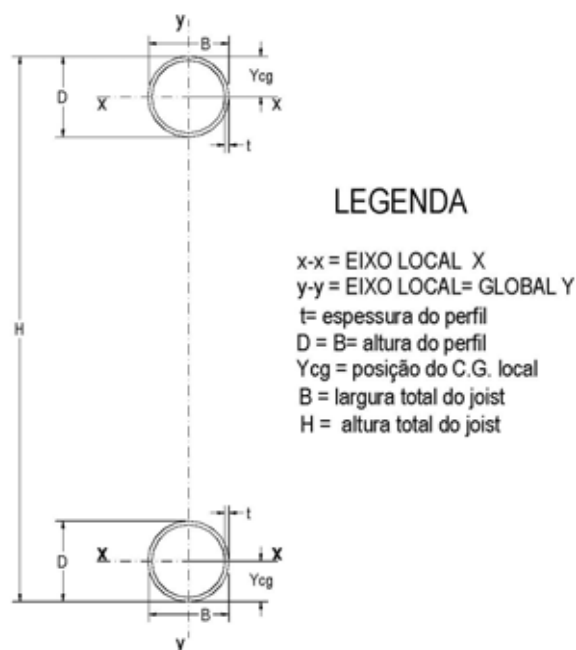


Figura 6 - Seção transversal típica para os banzos – eixos de referência

Tabela 6 – Características geométricas perfis tubulares circulares

NUM	PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA (cm ²)	I _{xx} =I _{yy} (cm ⁴)	W _{xx} =W _{yy} (cm ³)	r _x =r _y (cm)	y (cm)
1	TB 33,4x3,4	2,50	3,19	3,64	2,18	1,07	1,67
2	TB 38,1x5,0	4,08	5,2	7,28	3,82	1,18	1,90
3	TB 42,2x4,9	4,47	5,69	10,1	4,78	1,33	2,11
4	TB 48,3x5,1	5,41	6,9	16,3	6,76	1,54	2,41
5	TB 60,3x5,5	7,48	9,53	36,1	12,00	1,95	3,00
6	TB 73,0x7,0	11,40	14,5	80	21,90	2,35	3,65
7	TB 88,9x7,6	15,30	19,5	162	36,50	2,89	4,44
8	TB 101,6x8,1	18,60	23,7	261	51,50	3,32	5,08
9	TB 114,3x8,6	22,30	28,4	400	70,00	3,75	5,71
10	TB 141,3x9,5	31,00	39,5	861	122,00	4,67	7,06
11	TB 168,3x11,0	42,60	54,2	1690	200,00	5,58	8,41
12	TB 219,1x12,7	64,40	82,3	4400	402,0	7,31	10,95

3.8 - Tubos quadrados

Na Figura 7 verifica-se a seção transversal típica dos banzos utilizando-se tubos quadrados.

Na Tabela 7 são indicadas as características geométricas para diversos tipos de perfis tipo tubo quadrado sem costura.

Nas tabelas de pré-dimensionamento, utilizou-se como premissa a mesma bitola para os banzos superior e inferior.



Figura 7 - Seção transversal típica para os banzos – eixos de referência

Tabela 7 – Características geométricas perfis tubulares quadrados

NUM	PERFIL	MASSA kg/m	ÁREA (cm ²)	I _{xx} =I _{yy} (cm ⁴)	W _{xx} =W _{yy} (cm ³)	R _x =r _y (cm)	y (cm)
1	TQ 50x50x3,6	5,03	6,41	23,70	9,50	1,89	2,50
2	TQ 60x60x3,6	6,16	7,85	42,70	14,20	2,28	3,00
3	TQ 70x70x3,6	7,57	9,64	69,50	23,80	2,65	3,50
5	TQ 90x90x3,9	10,01	12,75	164,00	36,50	3,51	4,50
6	TQ 100x100x4,4	12,65	16,11	253,00	50,60	3,90	5,00
7	TQ 100x100x4,8	13,75	17,52	273,00	54,60	3,88	5,00
9	TQ 120x120x4,8	16,71	21,29	485,00	80,80	4,70	6,00
10	TQ 130x130x5,2	19,34	24,64	646,00	99,38	5,10	6,50
11	TQ 140x140x5,6	22,47	28,04	901,00	128,71	5,48	7,00
12	TQ 150x150x9,5	41,70	52,08	1660,00	221,00	5,75	7,50
13	TQ 160x160x12,7	56,69	72,22	2640,00	330,00	6,02	8,00
14	TQ 200x200x12,7	72,60	92,48	5400,00	540,00	7,65	10,00

Tabela 7A - Planilha resumo - Equivalência de perfis para composição de joists

	PEL	MASSA kg/m	CANTONEIRAS NUM	MASSA kg/m	WT LAMINADO	MASSA kg/m	WT ELETROSOLDADO	MASSA kg/m	UDC	MASSA kg/m	TUBO CIRC.	MASSA kg/m	TUBO QUADRADO	MASSA kg/m	Lmax (m)	H (m)
1			1"x1/8"	2,32					50x25x3	2,12	TB 33,4x3,4	2,50			12,00	0,2 a 0,6
2	50,8x25,4x2	3,08	1 1/4"x1/8"	3,03											12,00	0,2 a 0,6
3			1 1/2"x1/8"	3,64					75x40x3,0	3,42					12,00	0,2 a 0,6
4			1 3/4"x1/8"	4,24					100x40x3	4,01	TB 38,1x5,0	4,08			15,00	0,5 a 0,9
5			2"x1/8"	4,87					100x40x3,75	4,94	TB 42,2x4,9	4,47	TQ 50x50x3,6	5,03	15,00	0,5 a 0,9
6	76,2x38,1x2,5	5,82	1 3/4"x3/16"	6,28					100x50x4,75	6,88	TB 48,3x5,1	5,41	TQ 60x60x3,6	6,16	15,00	0,5 a 0,9
7	76,2x38,1x3,18	7,32	2"x3/16"	7,19					125x50x4,75	7,81	TB 60,3x5,5	7,48	TQ 70x70x3,6	7,57	18,00	0,7 a 1,10
8	101,6x50,8x3,17	9,80	2 1/2"x3/16"	9,11									TQ 90x90x3,9	10,01	22,00	0,7 a 1,10
9	101,6x50,8x4,76x3,17	12,18	3"x3/16"	11,04									TQ 100x100x4,4	12,65	24,00	1,0 a 1,40
10			3"x3"x1/4"	14,59					150x50x6,30	11,34	TB 73,0x7,0	11,40			24,00	1,0 a 1,40
11									200x50x6,30	13,81			TQ 100x100x4,8	13,76	26,00	1,10 a 1,50
12			4"x4"x1/4"	19,60					200x75x6,30	16,29	TB 89,9x7,6	15,30	TQ 120x120x4,8	16,71	26,00	1,20 a 1,70
13													TQ 130x130x5,2	19,34	26,00	1,40 a 1,80
14									200x100x8	23,25	TB 114,3x8,6	22,30	TQ 140x140x5,6	22,47	30,00	1,40 a 1,80
15			6"x6"x3/8"	44,44					300x100x8	29,53	TB 141,3x9,5	31,00			30,00	1,40 a 1,80
16													TQ 150x150x9,5	41,70	30,00	1,40 a 1,80
17			6"x6"x5/8"	72,00									TQ 160x160x12,7	56,69	30,00	1,40 a 1,80
													TQ 200x200x12,7	72,60	30,00	1,40 a 1,80

Capítulo 4

Premissas e normas
utilizadas

4.1 - Normas utilizadas

Na elaboração deste manual, os joists foram projetados utilizando-se as seguintes normas técnicas:

Normas brasileiras – ABNT:

- NBR 8800:86 - Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios;
- NBR 6355:2003 – Perfis Estruturais de aço formados a frio - Padronização;
- NBR 14762:2001- Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados à frio;
- NBR 15279:2005- Perfis estruturais soldados por alta frequência (eletrofusão) – Requisitos – Perfis I, H e T.

Normas internacionais:

- AISC – 13th EDITION – 2005; LRFD e ASD
- S.J.I. – STEEL JOIST INSTITUTE – 1994;
- CISC – Canadian Institute of Steel Construction;

NOTA:

As informações presentes neste manual técnico não devem ser utilizadas sem a verificação ou validação de um profissional habilitado.

4.2 - Premissas de projeto

4.2.1 - Esquema Estrutural

As estruturas dos joists foram dimensionadas como vigas treliçadas, considerando-se como simplesmente apoiadas, carregadas uniformemente, suportando telhados, fechamentos laterais e pisos.

Devido ao tipo de carregamento adotado (uniformemente distribuído), considerou-se os banzos superiores *Flexo-comprimidos*, igualando-se o perfil do banzo superior e inferior para termos linha neutra centrada.

As diagonais e montantes poderão ser escolhidos caso a caso em função do tipo de carregamento e distribuição de esforços com o auxílio das tabelas de dimensionamento de peças comprimidas.

4.2.2 - Geometria dos joists

4.2.2.1 - Joist para coberturas – Tipo 01 - Leve

Dimensões de referência:

- | | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| - Variação de vão livre | $6,0\text{ m} < L < 12\text{ m}$ |
| - Variação de altura | $0,20\text{ m} < H < 0,60\text{ m}$ |

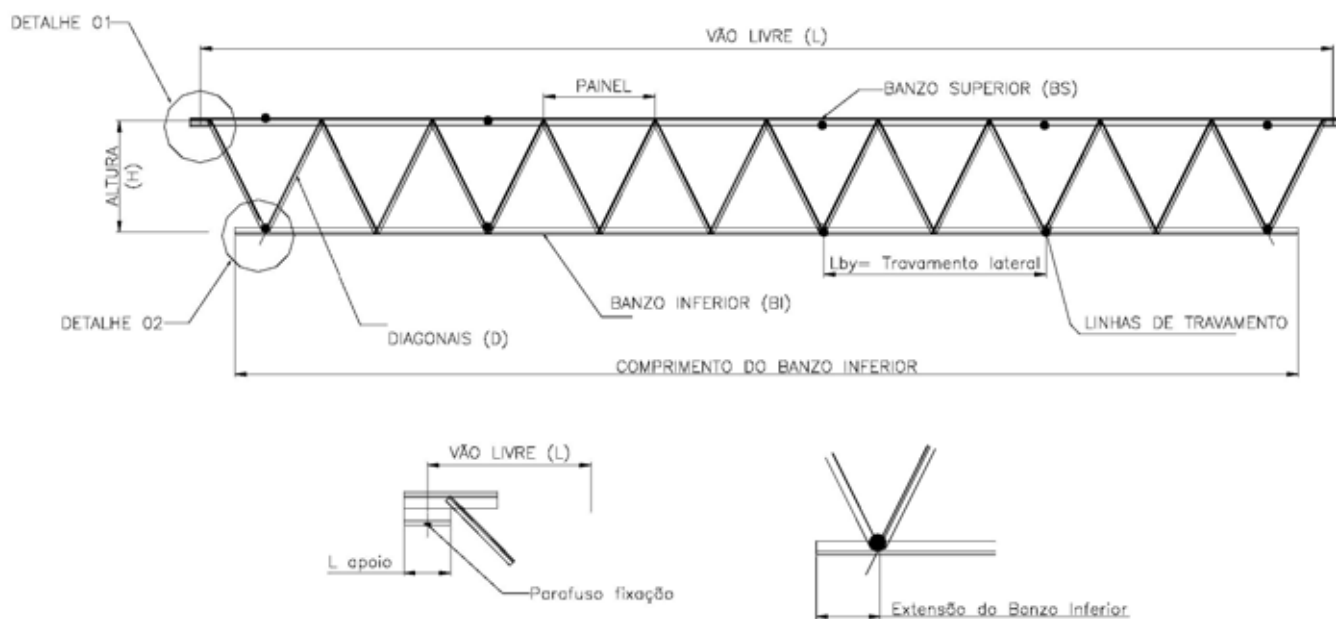


Figura 8 – Geometria Padrão tipo 1

4.2.2.2 - Joist para coberturas e apoio de lajes – Tipo 02

Joists constituído por banzos paralelos, montantes e diagonais preparadas para suportar cargas uniformemente distribuídas.

Podem ser utilizados como suporte de lajes, tesouras principais ou vigas mestras.

Dimensões de referência:

- Variação de vão livre $12,0 \text{ m} < L < 30 \text{ m}$
- Variação de altura $0,60 \text{ m} < H < 1,80 \text{ m}$

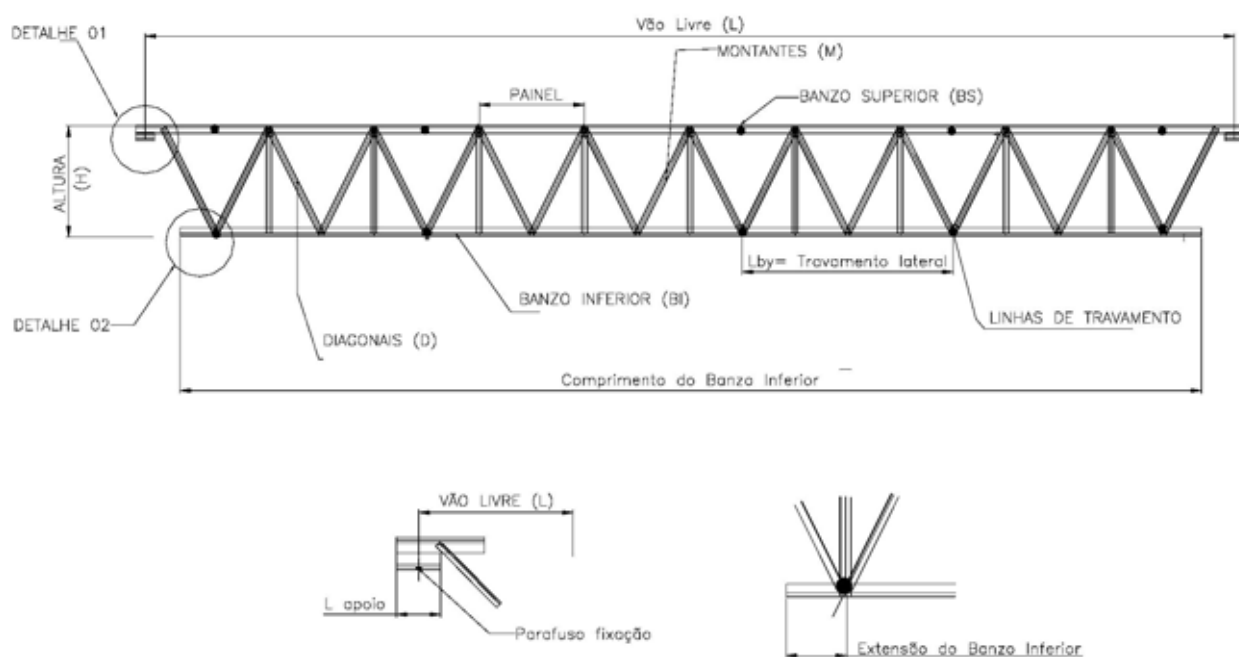


Figura 9 – Geometria Padrão – Tipo 2

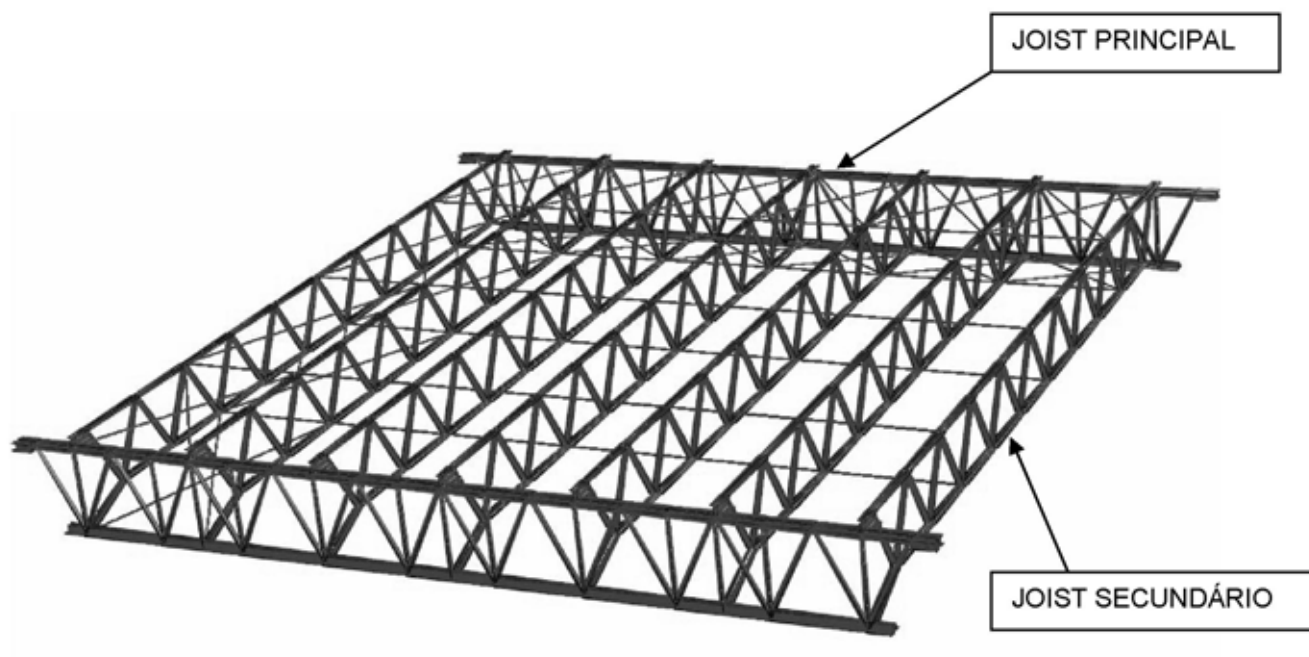


Figura 10 – Isométrica Esquemática – Módulo Padrão

4.2.3 - Apoios

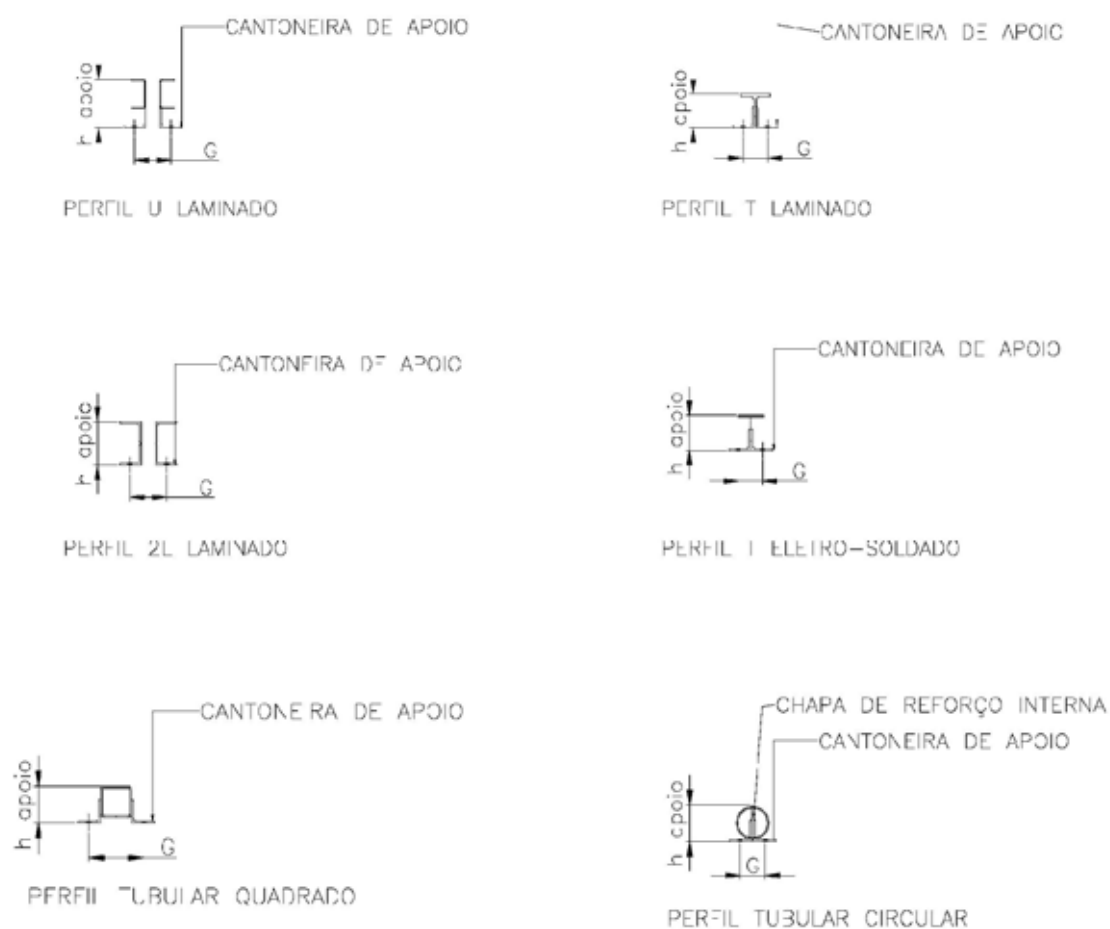


Figura 11 – Tipos Genéricos de Apoios

4.2.4 - Travamentos

Os travamentos são elementos posicionados transversalmente aos joists e têm como função prover a estrutura de estabilidade lateral tanto na montagem como no trabalho normal, assim como limitar o comprimento de flambagem L_{by} dos banzos. Os travamentos não têm a função dos contraventamentos.

4.2.4.1- Instalação

Todos os travamentos devem ser colocados antes do carregamento da estrutura.

4.2.4.2 - Tipo

A) Travamento Horizontal

Formado por uma linha contínua interligando os banzos superiores ou os banzos inferiores aos joists adjacentes. O índice de esbeltez limite deverá ser 200 ou seja $(K.L_{by}/r_y) < 200$.



Figura 12 – Esquema Típico do Travamento Horizontal



Figura 13 – Isométrica Esquemática do Travamento Horizontal

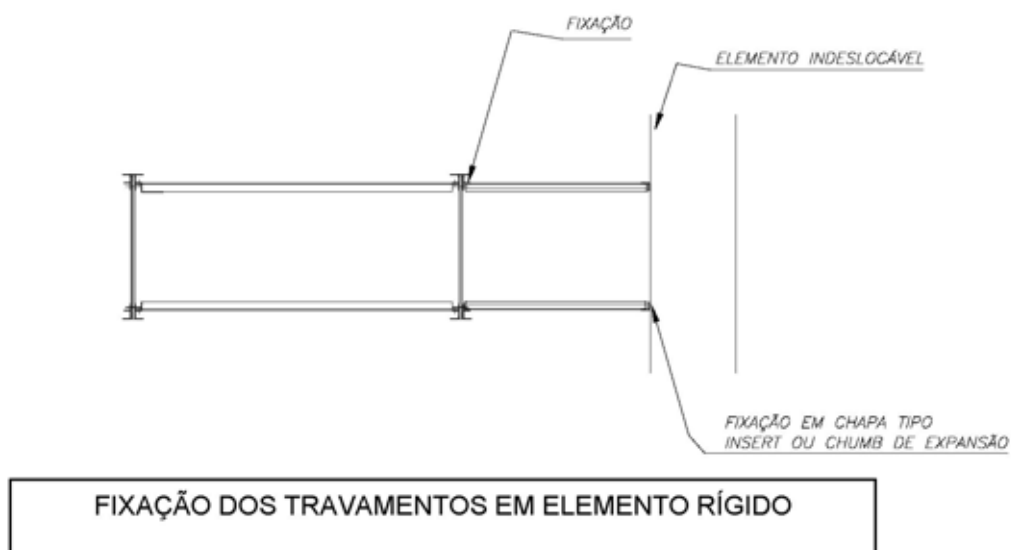


Figura 14 – Ancoragem do Travamento Horizontal em Alvenaria ou Concreto

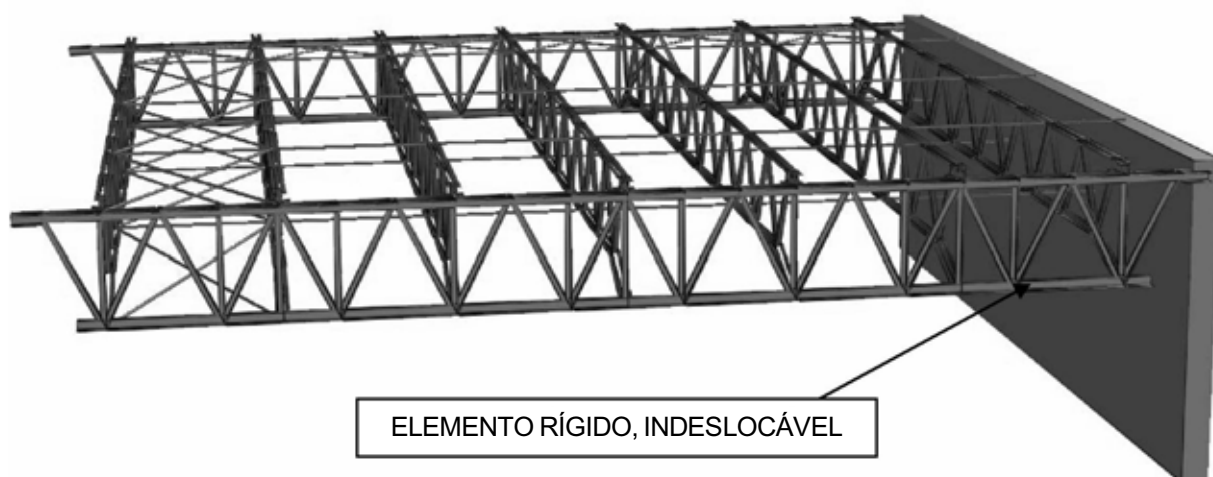


Figura 15 – Isométrica Esquemática do Travamento Horizontal em Elemento Rígido

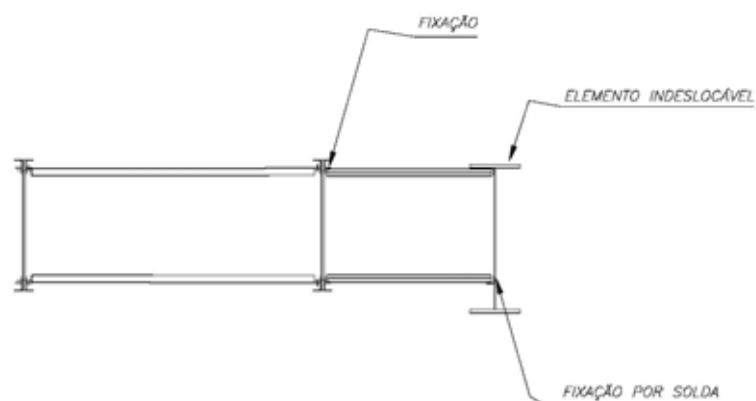


Figura 16 – Ancoragem do Travamento em Viga Metálica

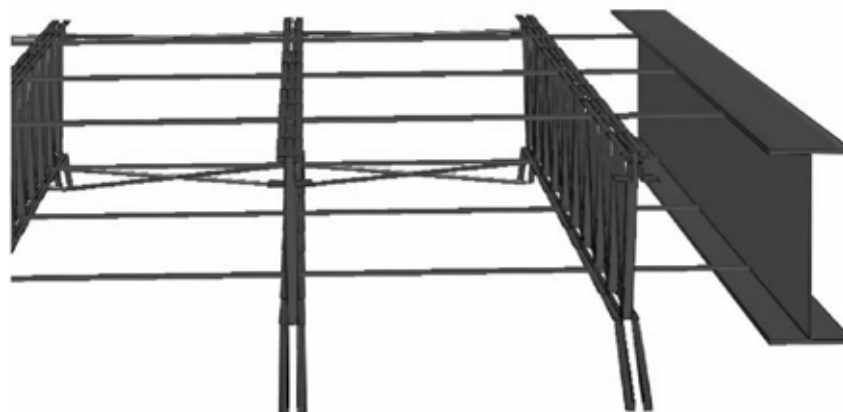


Figura 17 – Isométrica Esquemática do Travamento Horizontal em Viga Metálica

Obs: Neste caso de travamento verificar a indeslocabilidade lateral da viga metálica nas abas superior e inferior. Exemplo: Laje de concreto, contravento, painéis horizontais rígidos, etc.

NOTA – O MÁXIMO ESPAÇAMENTO PARA TRAVAMENTO HORIZONTAL DOS JOISTS É DADO NAS TABELAS DE CARGAS COM A DESIGNAÇÃO Lby.

Tabela 8 - Máximo espaçamento entre joists para travamento horizontal (mm)

Bitolas das Cantoneiras para Travamento Horizontal						
L25X3	L32X3	L38X3	L44X3	L51X3	L64X5	L75X5
960	1280	1520	1780	2000	2480	3000

B) Travamento Diagonal – módulo rígido

São aqueles constituídos por cantoneiras interligando o banzo inferior de uma joist ao banzo superior das joists adjacentes e assim por diante.

O índice de esbeltez máximo para o elemento do travamento é 200, sendo L o comprimento da peça.

Todas as diagonais devem ser ligadas por parafuso ou solda nas joists.

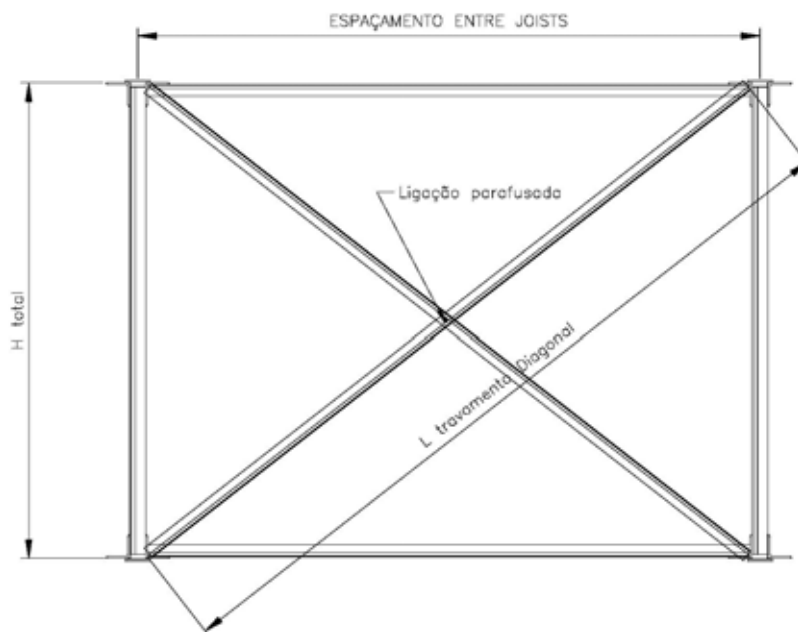


Figura 18 - Esquema Típico do Travamento em Diagonal

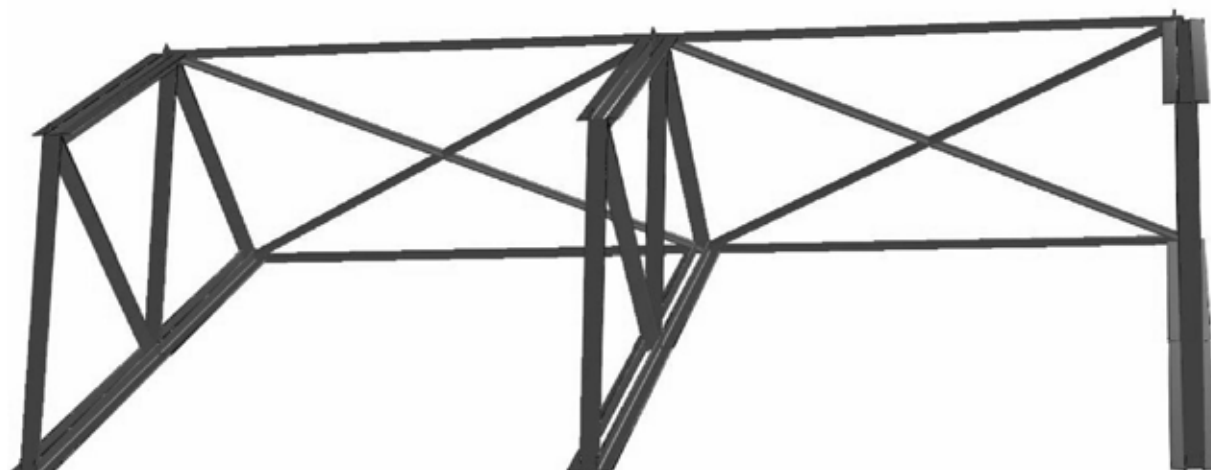


Figura 19 – Isométrica Esquemática do Travamento Diagonal Rígido

Tabela 9 - Máximo Espaçamento entre Joists para Travamento em Diagonal

altura mm	BITOLAS DAS CANTONEIRAS PARA TRAVAMENTO EM DIAGONAL						
	L25X3	L32X3	L38X3	L44X3	L51X3	L64X5	L 76X5
200	1547	1990	2331	2793	3154	3955	4776
300	1531	1977	2321	2784	3146	3949	4771
400	1508	1960	2306	2771	3135	3940	4763
500	1478	1936	2286	2755	3120	3928	4754
600	1440	1908	2262	2735	3103	3914	4742
700	1394	1873	2233	2711	3081	3898	4728
800	1339	1833	2199	2683	3057	3878	4713
900	1274	1786	2160	2651	3029	3856	4695
1000	1197	1732	2116	2615	2998	3832	4674
1100	1106	1670	2065	2575	2962	3804	4652
1200	997	1600	2009	2530	2923	3774	4627
1300	862	1520	1946	2480	2880	3741	4600
1400	688	1428	1875	2425	2833	3704	4570
1500	428	1323	1796	2364	2781	3665	4539
1600	—	1200	1708	2298	2725	3622	4504
1700	—	1054	1608	2225	2664	3577	4467
1800	—	872	1495	2145	2597	3527	4428

4.2.4.3 - Ligação dos Travamentos

As ligações dos travamentos, sejam horizontais, sejam diagonais nos banzos deverão ter uma resistência mínima axial de 3 KN (300 kgf).

4.2.4.4 - Ancoragem dos Travamentos

Cada linha de travamento deve ser adequadamente ancorada nas duas extremidades, junto à estrutura principal do edifício. Caso não seja possível, os travamentos em diagonal ou horizontal devem contemplar módulos em contraventamento indesejáveis (figuras 14 a 19).

4.2.4.5 - Sistemas de Travamentos

Os sistemas de travamentos incluindo dimensões das peças e todos os detalhes necessários devem ser mostrados nos desenhos.

Se um específico sistema de travamento for necessário pelo projeto, os desenhos devem conter todas as informações necessárias para fabricação e montagem.

4.2.4.6 - Espaçamento dos Travamentos

Tanto os travamentos em diagonal como os horizontais deverão estar espaçados de forma a contemplar as condições de flambagem e estabilidade dos banzos.

O comprimento sem travamento (L_{by}) para os banzos deverá ser limitado em:

- a) Para banzos flexo-comprimidos , $90 r_y$
 - b) Para banzos tracionados , $240 r_y$
- r_y = Raio de Giração em y.

4.2.4.7 - Tolerâncias de Fabricação

a) A tolerância na fabricação dos joists da altura nominal para a altura real é de no máximo ± 7 mm.

b) Para demais limites atender ao determinado pela NBR 8800/86

4.2.4.8 - Travamentos necessários para Joist

a) Em todas as tabelas de carga estão indicadas as distâncias máximas para travamento do banzo comprimido das Joists (L_{by})

b) Nos casos onde ocorrerem compressão no banzo inferior (exemplo – efeito de sucção do vento) uma linha de travamento deverá ser posicionada no primeiro e último nó do banzo inferior, além dos normais conforme 4.2.4.6-a

c) Para estabilização lateral do banzo inferior, pode-se utilizar o sistema de mãos francesas. A quantidade de linhas de mãos francesas pode ser selecionada pela tabela abaixo:

Tabela 10 - Máximo Comprimento da Mão Francesa - LKB (mm)

BITOLAS DAS CANTONEIRAS PARA TRAVAMENTO HORIZONTAL						
L25X3	L32X3	L38X3	L44X3	L51X3	L64X5	L75X5
960	1280	1520	1780	2000	2480	3000

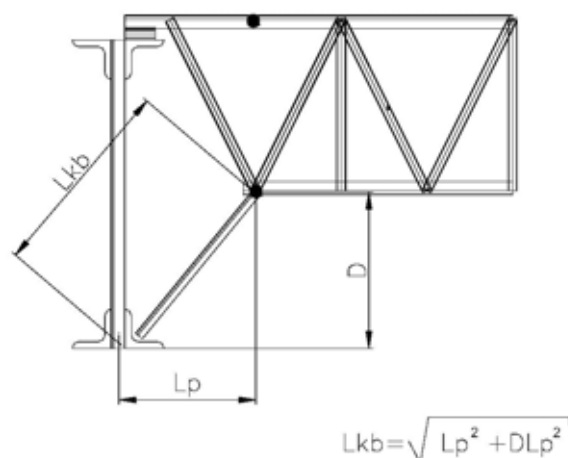


Figura 20 – Mão Francesa para Travamento de Joist

4.2.5 - Detalhes Construtivos

Neste manual os joists foram analisados como vigas bi apoiadas, determinando reações verticais e horizontais nos apoios.

Muitos são os detalhes de apoio de joists que podem ser usados. Como ponto de partida deve-se fazer uma criteriosa análise dos esforços envolvidos para dimensionamento da ligação de apoio, verificação da compatibilidade com o elemento que irá suportar a carga (viga metálica, viga de concreto, pilar metálico, pilar de concreto, alvenaria armada, etc.) e finalmente o dimensionamento, segundo critérios normalizados das chapas, chumbadores ou parafusos, tensão de contato, etc.

Os joists são estruturas de aço e portanto devem sempre ser especificados e analisados por profissionais qualificados.

A título de orientação fornecemos a seguir detalhes que podem ser utilizados para apoio dos joists:

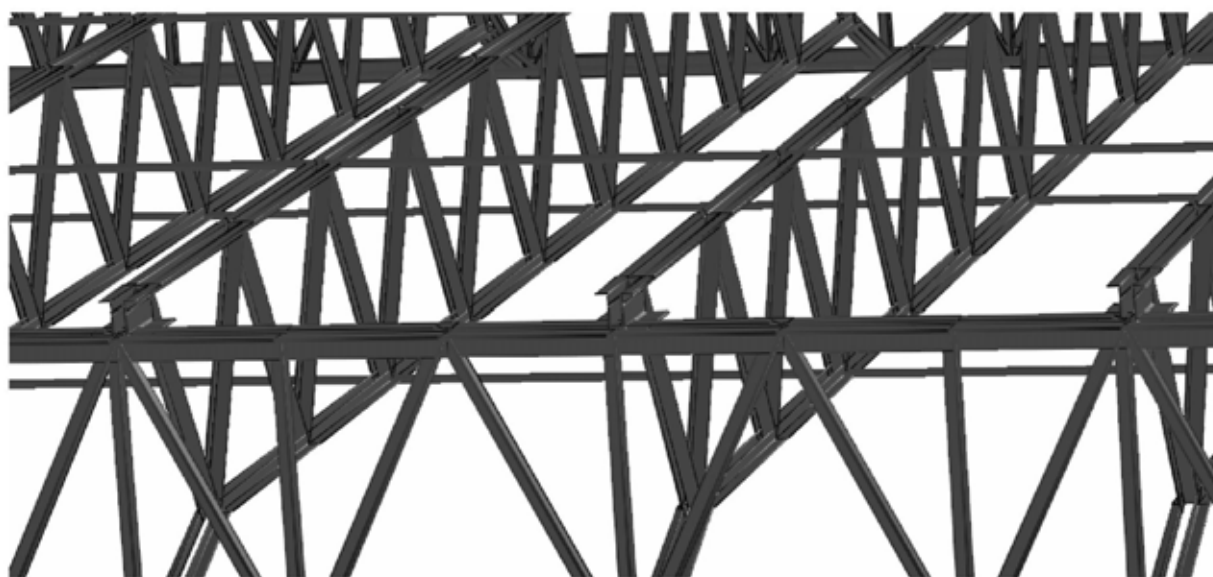


Figura 21 – Esquema Indicativo do Apoio Típico de Joist sobre Viga Mestra

TIPO A1

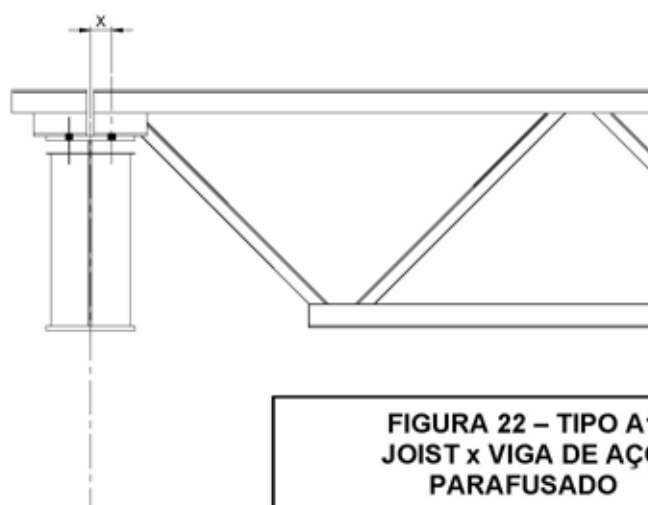


FIGURA 22 – TIPO A1
JOIST x VIGA DE AÇO
PARAFUSADO

TIPO A2

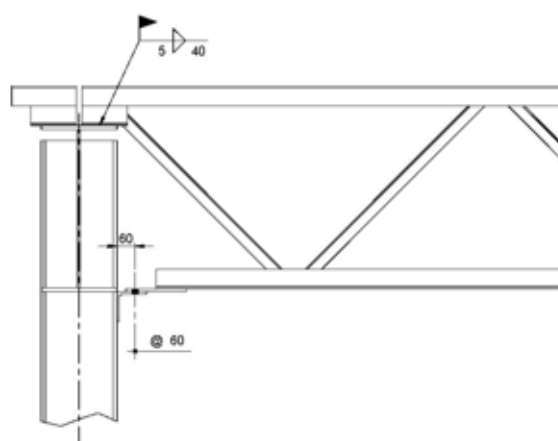


FIGURA 23 – TIPO A2
JOIST x VIGA DE AÇO EM COLUNA
SOLDADO

TIPO A3

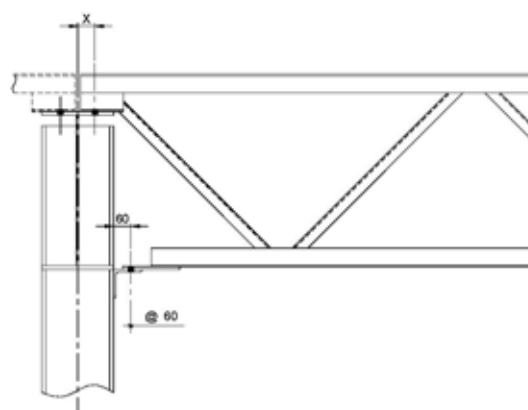
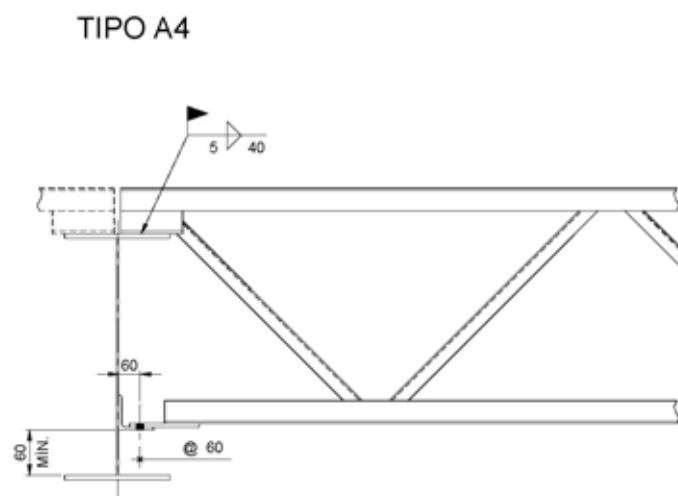
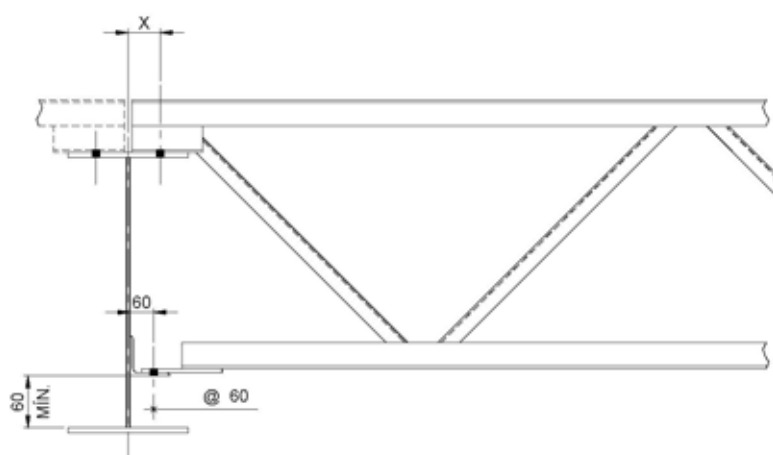


FIGURA 24 – TIPO A3
JOIST x VIGA DE AÇO EM COLUNA
PARAFUSADO

**FIGURA 25 – TIPO A4
JOIST x VIGA DE AÇO**

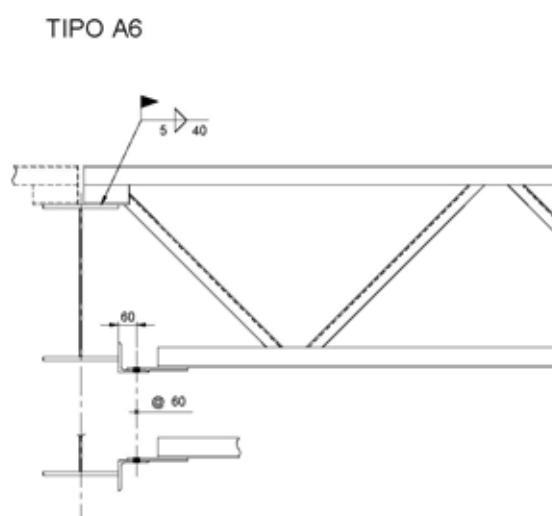


TIPO A5



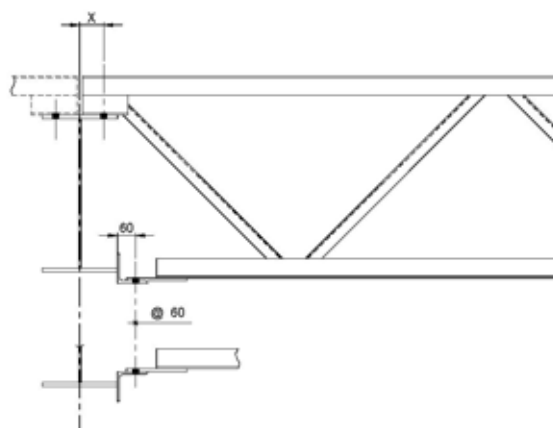
**FIGURA 26 – TIPO A5
JOIST x VIGA DE AÇO**

**FIGURA 27 – TIPO A6
JOIST x VIGA DE AÇO**

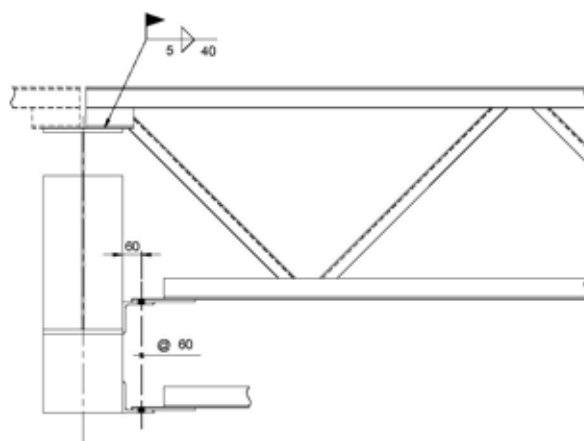


**FIGURA 28 – TIPO A7
JOIST x VIGA DE AÇO**

TIPO A7



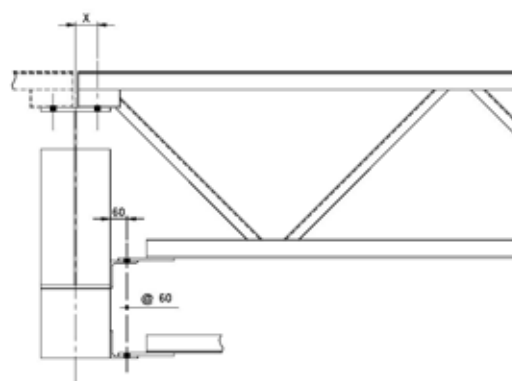
TIPO A8



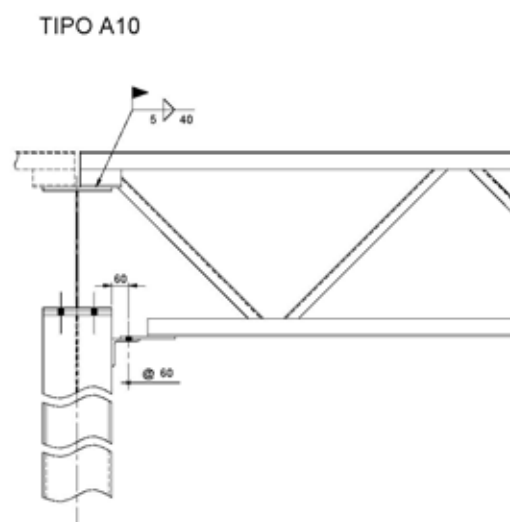
**FIGURA 29 – TIPO A8
JOIST x VIGA DE AÇO**

**FIGURA 30 – TIPO A9
JOIST x VIGA DE AÇO**

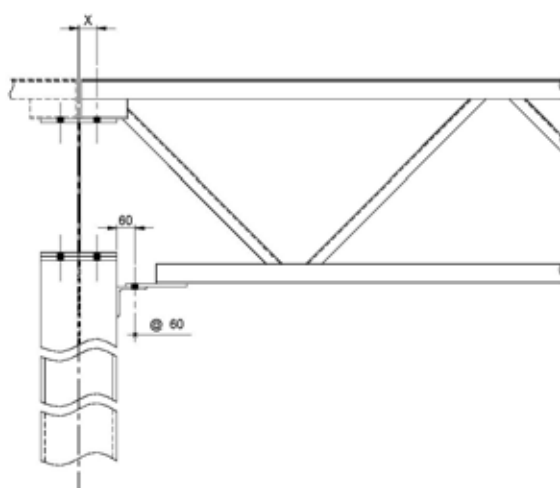
TIPO A9



**FIGURA 31 – TIPO A10
JOIST x VIGA DE AÇO + COLUNA**

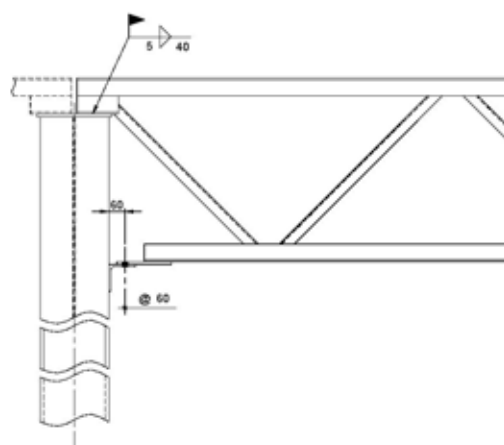


TIPO A11



**FIGURA 32 – TIPO A11
JOIST x VIGA DE AÇO + COLUNA**

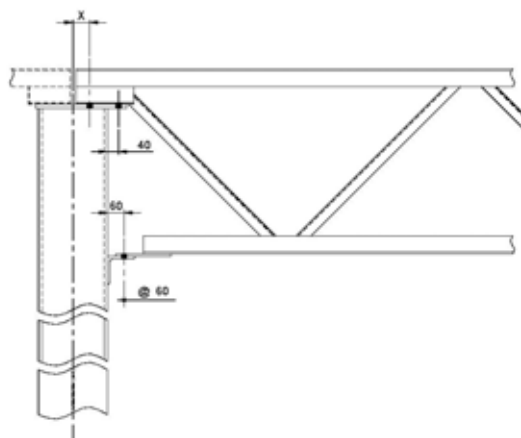
TIPO A12



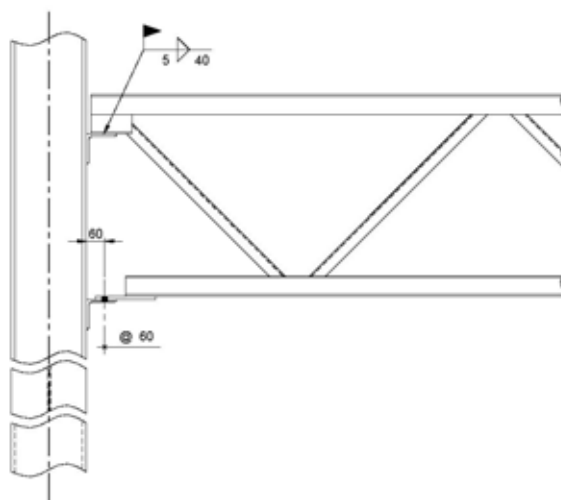
**FIGURA 33 – TIPO A12
JOIST x COLUNA**

**FIGURA 34 – TIPO A13
JOIST x COLUNA**

TIPO A13



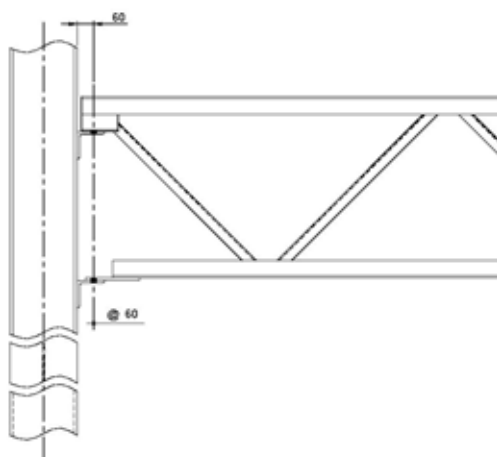
TIPO A14



**FIGURA 35 – TIPO A14
JOIST x COLUNA**

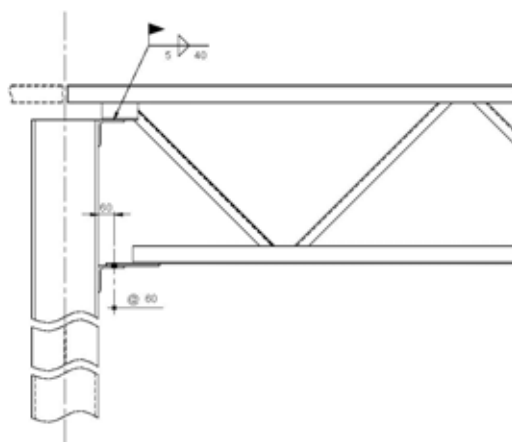
**FIGURA 36 – TIPO A15
JOIST x COLUNA**

TIPO A15

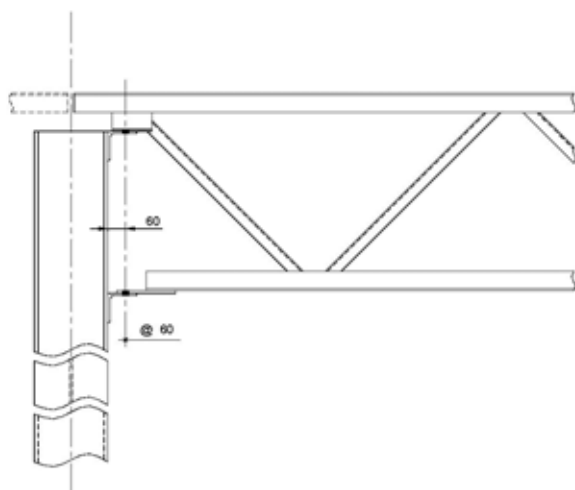


**FIGURA 37 – TIPO A16
JOIST x COLUNA**

TIPO A16



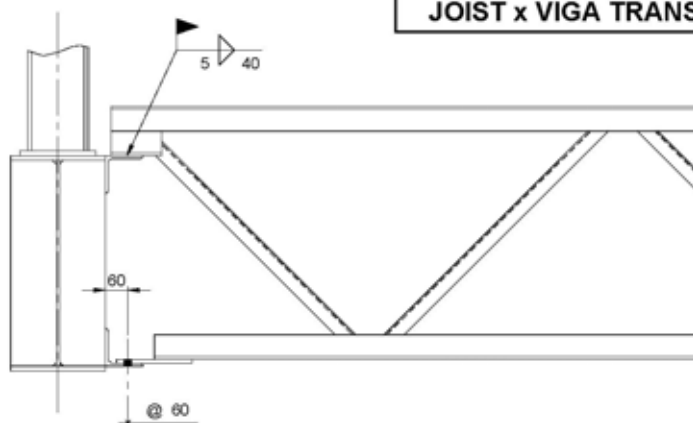
TIPO A17



**FIGURA 38 – TIPO A17
JOIST x COLUNA**

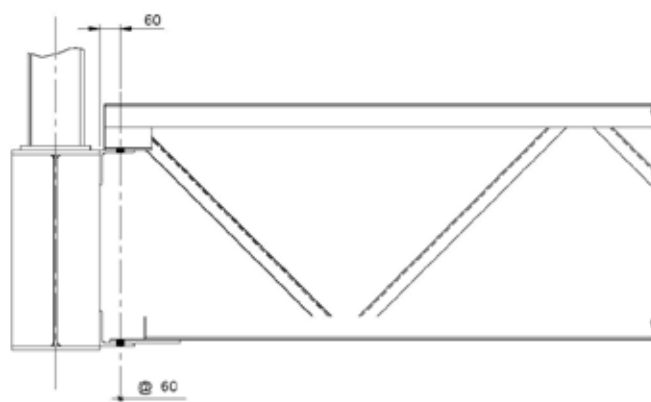
TIPO A18

**FIGURA 39 – TIPO A18
JOIST x VIGA TRANSIÇÃO**

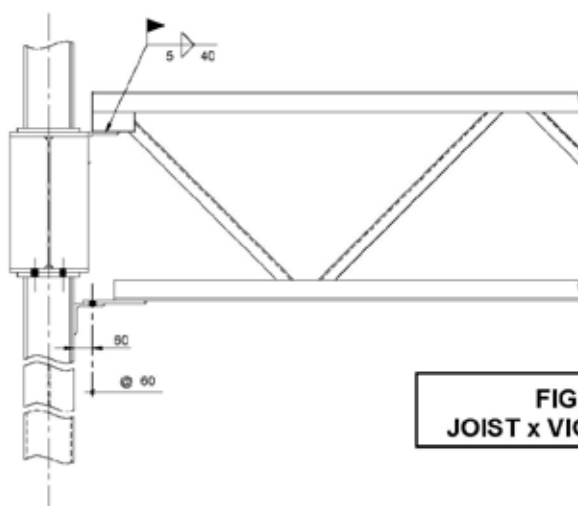


**FIGURA 40 – TIPO A19
JOIST x VIGA TRANSIÇÃO**

TIPO A19

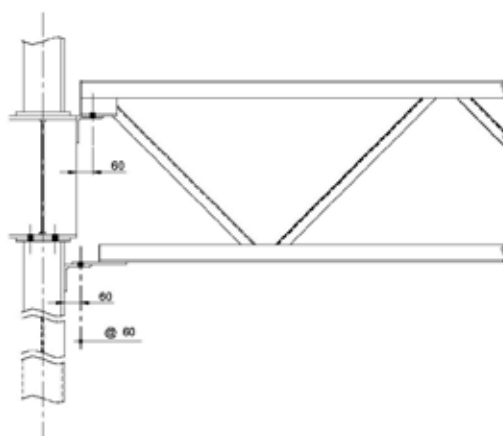


TIPO A20



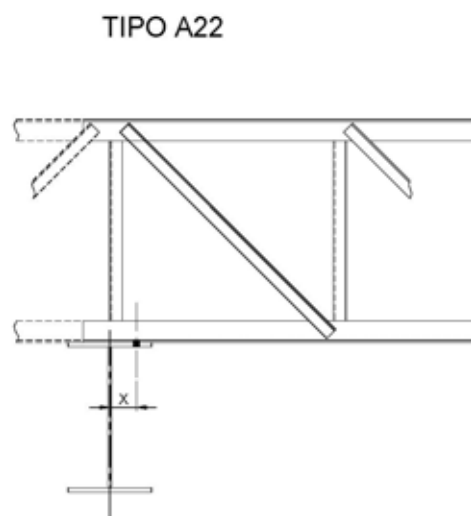
**FIGURA 41 – TIPO A20
JOIST x VIGA TRANSIÇÃO+ COLUNA**

TIPO A21



**FIGURA 42 – TIPO A21
JOIST x VIGA TRANSIÇÃO+ COLUNA**

**FIGURA 43 – TIPO A22
JOIST x VIGA TRANSIÇÃO+ COLUNA**



4.2.6 - Tipos de Carregamento

4.2.6.1 – Uniformemente Distribuídos (CUD)

Como premissa para os joists constantes neste manual, utilizamos carregamento uniformemente distribuído (cud) aplicado no banzo superior (telhas ou laje).

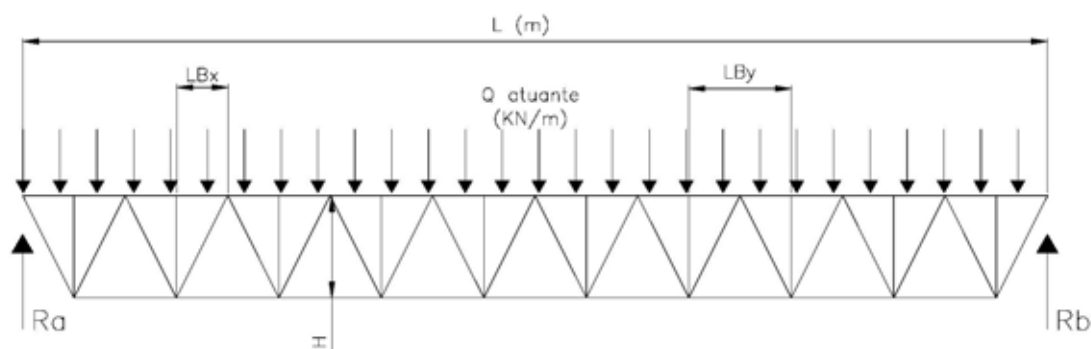


Figura 44 – Carregamento Uniformemente Distribuído

4.2.6.2 – Cargas Concentradas

Para as situações de cargas concentradas, os joists poderão ser carregados em todos os nós do banzo superior ou somente nos nós dos montantes ou das diagonais (ver figura abaixo). Cuidado especial deve ser tomado para o caso de cargas concentradas muito espaçadas (viga mestra recebendo poucos e espaçados joists), pois haverá a necessidade de travamento dos banzos (conforme capítulo 4.2.4) além da verificação das diagonais ou montantes que recebem as cargas.

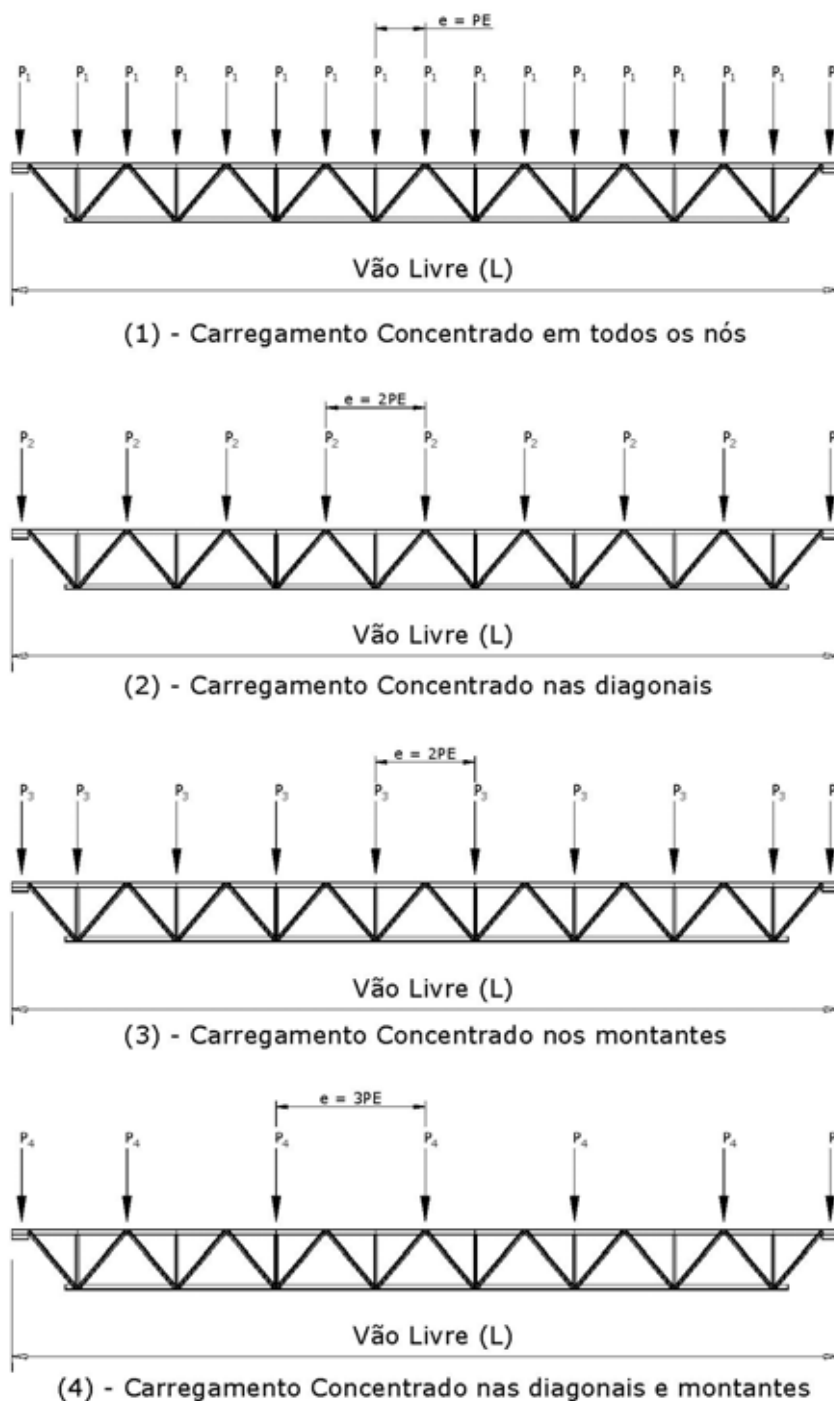


Figura 45 – Carregamentos Possíveis nas Joists

Premissas e normas utilizadas

Onde:

$$P(n) = q \times e$$

Onde: $P(n)$ = Carga concentrada (KN).

q = carga admissível distribuída (KN/m)

e = 1PE a 3PE conforme figura 45.

PE = Comprimento painel externo (m)

Tabela 11- Cargas Permanentes Normalmente adotadas em Projeto

Materiais		t/m3
Concreto armado		2,5
Concreto celular		0,7
Entulho		1,6
Argila expandida		0,8
Terra p\ jardim		1,9
Bloco de concreto 14x19x39 c\ fundo p\ enchimento de laje nervurada		1,25
Bloco de concreto 19x19x39 c\ fundo p\ enchimento de laje nervurada		1
		X pé direito
Alvenarias revestidas	espessura	t/m2
Tijolo de barro maciço	20cm	0,41
Tijolo de barro maciço	15cm	0,25
Tijolo cêramico 8 furos	20cm	0,24
Tijolo cêramico 8 furos	15cm	0,15
Tijolo laminado	15cm	0,19
Bloco de concreto 6*19*39cm	9cm	0,14
Bloco de concreto 9*19*39cm	12cm	0,17
Bloco de concreto 14*19*39cm	15cm	0,21
Bloco de concreto 19*19*39cm	20cm	0,25
Bloco cêramico 6*19*39cm	9cm	0,1
Bloco cêramico 9*19*39cm	12cm	0,12
Bloco cêramico 14*9*39cm	15cm	0,14
Bloco cêramico 19*19*39cm	20cm	0,17
Bloco de concreto celular	10cm	0,11
Bloco de concreto celular	12cm	0,13
Painel de concreto celular	12cm	0,13
Divisórias	6cm	0,02
Gesso acartonado (dry wall)	65\85mm	0,03
Caxilhos		0,1
Revestimentos de piso+forro		0,1
		x m ² de projeção
Telhado incluindo madeiramento		t/m2
Telha de fibrocimento (estr. madeira)		0,05
Telha francesa (estr. madeira)		0,09
Telha capa e canal (estr. madeira)		0,12
Telha de alumínio (estr. metálica)		0,03
Telha de aço (estr. metálica)		0,06
		x m ² de projeção
Laje de concreto armado	espessura	t/m2
Lajes mistas pré-fabricadas	16 cm	0,22
Panéis protendidos alveolares	10 cm	0,16
Panéis protendidos alveolares	15 cm	0,22
Panéis protendidos alveolares	20 cm	0,28
Panéis protendidos alveolares	25 cm	0,34

Capítulo 5

Abertura para dutos

Abertura para dutos

Os joists por serem estruturas treliçadas permitem a passagem de dutos conforme dimensões abaixo discriminadas.

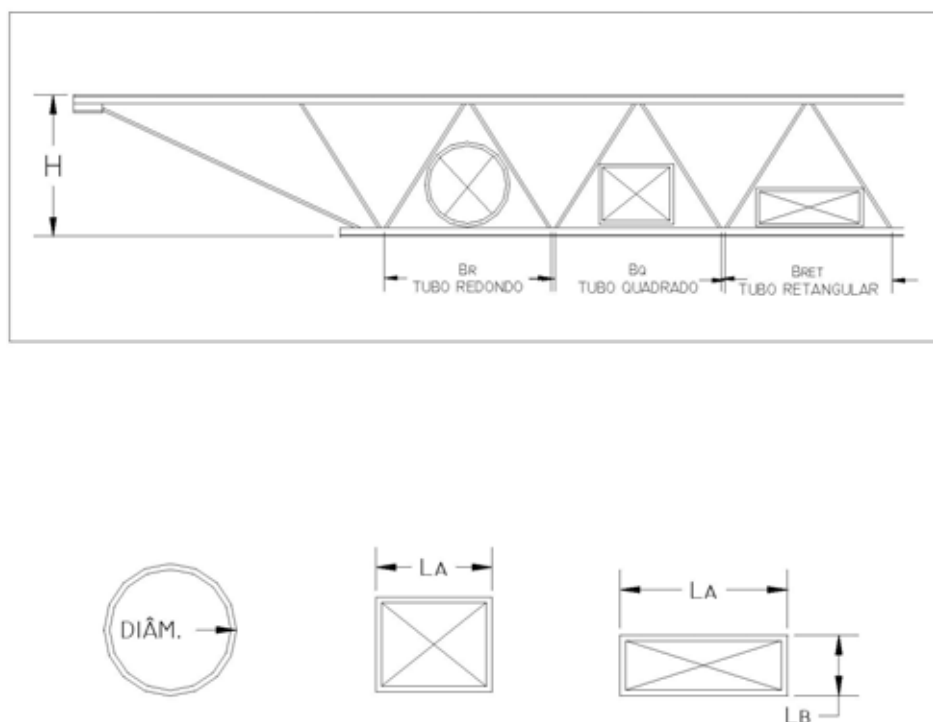


Tabela 12 - Resumo – Passagem de Dutos

DIMENSÕES DO JOIST		MÁXIMA DIMENSÃO DOS DUTOS			
ALTURA JOIST (mm)	DO	PAINEL INFERIOR B (mm)	CIRCULAR DIÂMETRO (mm)	QUADRADA La (mm)	RETANGULAR La x Lb (mm)
200		480	127	80x80	75x150
250		480	150	100x100	75x150
300		480	175	125x125	75x200
350		480	200	150x150	125x175
400		600	220	175x175	150x225
450		600	250	200x200	150x250
500		600	250	200x200	150x250
550		600	250	210x210	175x275
600		1200	400	300x300	250x450
650		1200	400	330x330	300x450
700		1200	450	330x330	300x450
750		1200	450	375x375	325x450
800		1600	500	400x400	325x550
900		1800	550	450x450	400x550
1000		2000	650	520x520	425x675
1100		2200	700	575x575	500x750
1200		2400	750	625x625	500x850

Capítulo 6

Deformações limite

Todas as normas técnicas oferecem recomendações para limitação da deformação máxima de trabalho. Na tabela 13 são mostrados os valores máximos de deformação vertical para uso normal.

Tabela 13 - Deformação vertical máxima

TIPO DA CONSTRUÇÃO	CARREGAMENTO	APLICAÇÃO	DEFORMAÇÃO MÁXIMA
INDUSTRIAL	SOBRECARGA	Vigas Bi apoiadas, suportando coberturas rígidas	$L < 1/240$
	SOBRECARGA	Vigas Bi apoiadas, suportando coberturas flexíveis	$L < 1/180$
	SOBRECARGA	Vigas Bi apoiadas, suportando pisos	$L < 1/300$
OUTROS	SOBRECARGA	Vigas Bi apoiadas, suportando pisos ou coberturas rígidas sujeitas a trincas	$L < 1/360$
	SOBRECARGA	Vigas Bi apoiadas, suportando pisos ou coberturas rígidas não sujeitas a trincas	$L < 1/300$

Capítulo 7

Projetando Joists -
exemplos de utilização

7.1 - Perfis laminados tipo U:

a) Dados de Projeto

- Comprimento do Joist	$L = 18 \text{ m}$
- Aplicação	Coberturas rígidas
- Distância entre Joist	$B = 2,0 \text{ m}$
- Deformação Limite	$\Delta_{lim} = L/240$
- Altura máxima do joist	$h_{max} = 1000 \text{ mm}$
- Cargas permanentes	$Q_{perm} = 0,3 \text{ KN/m}^2$
- Sobrecarga de utilização	$Q_{sob} = 0,75 \text{ KN/m}^2$
- Carga vento	$Q_w = +/- 1,5 \text{ KN/m}^2$

b) Escolha do Joist pela tabela – tabela 1.4 (CD-ROM) - Apêndice A Perfis Laminados tipo U

b.1) Ponderação de cargas – método LRFD

- Permanentes + sobrecargas	
- Perm+ Sc = $0,30 \times 2,0 \times 1,25 + 0,75 \times 2,0 \times 1,50$	= 3,0 KN/m
- Permanentes + vento sucção	
- Perm+ Vsc = $0,30 \times 2,0 \times 1,00 - 1,50 \times 2,0 \times 1,40$	= -3,60 KN/m
- Permanentes + vento pressão	
- Perm+ Vpr = $0,30 \times 2,0 \times 1,00 + 1,50 \times 2,0 \times 1,40$	= 4,80 KN/m
- Permanentes + sobrecargas + vento pressão	
- Perm+ Sc + Vpr = $0,30 \times 2,0 \times 1,25 + 0,75 \times 2,0 \times 1,50 + (1,4 \times 0,6) \times 2,0 \times 1,5$	= 5,52 KN/m
- Para verificação das deformações:	
- Perm+ Sc = $0,3 \times 2,0 + 0,75 \times 2,0$	= 2,10 KN/m
- Sc = $0,75 \times 2,0$	= 1,50 KN/m

Perfil 2 U 101,6x50,8x3,18 mm

Massa estimada do joist = 29,94 kg/m

- Joist	$h = 1000 \text{ mm} < 1000 \text{ mm (OK)}$
- Carga admissível	$Q_{LRFD} = 5,55 \text{ KN/m} > 5,52 \text{ (OK)}$
- Carga admissível para flecha	$Q_{def} = 3,51 \times 360/240 = 5,27 \text{ KN/m} > 2,10 \text{ (OK)}$

c) Roteiro de cálculo para comprovação dos resultados

c.1) Características geométricas do joist escolhido

Dados do banzo superior e inferior (tabela 1) – $F_y = 345 \text{ MPa}$

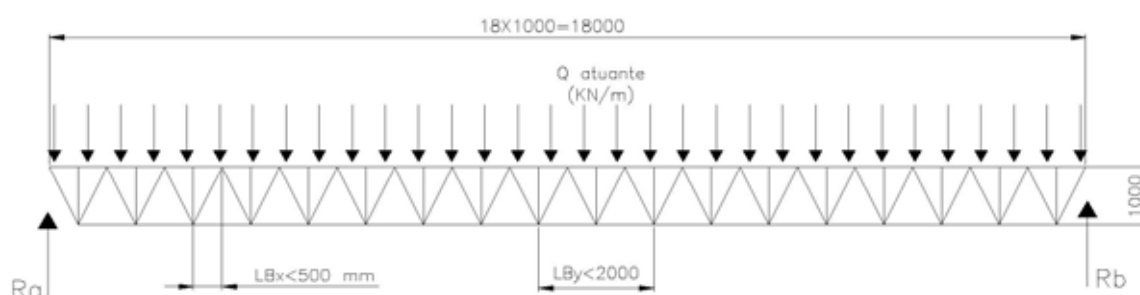
Área do banzo superior = banzo inferior $A_g = 12,48 \text{ cm}^2$

Momento resistente perfil do banzo	$W_{2U} = 39,72 \text{ cm}^3$
Raio de giro eixo local x-x	$r_x = 4,02 \text{ cm}$
Raio de giro eixo local y-y	$r_y = 4,21 \text{ cm}$ (para $b=50 \text{ mm}$)
Raio de giro mínimo perfil simples	$r_{\text{mín}} = 1,59 \text{ cm}$

Dados do banzo superior e inferior (tabela 1.3 - CD-ROM -Apêndice A)

Inércia da viga joist	$I_{\text{joist}} = 50\,768 \text{ cm}^4$
Momento resistente Viga Joist	$W_{\text{joist}} = 1015,36 \text{ cm}^3$

c.2) Esquema estrutural

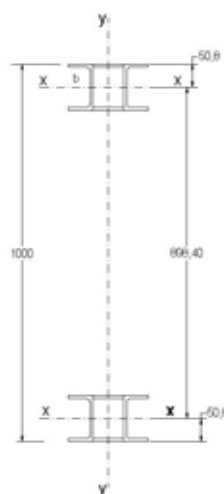


c.3) Determinação dos esforços externos reativos

- $Q_{\text{atuante}} = 5,55 + 0,2994 = 5,85 \text{ KN/m}$
- $R_a = R_b = 5,85 \times 18/2 = 52,64 \text{ KN}$

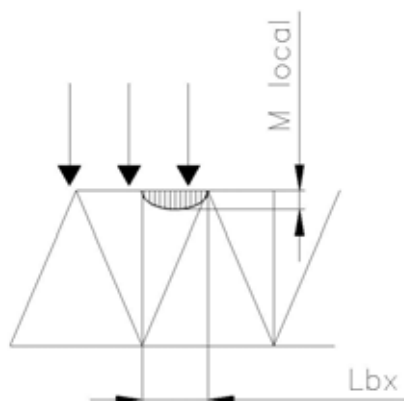
c.4) Determinação dos esforços internos de dimensionamento dos banzos

- $M_{\text{máx global}} = 5,85 \times (18)^2 / 8 = 236,93 \text{ KN.m}$



$$- M_{\text{máx local}} = 5,85 \times (0,50)^{2/8} = 0,18 \text{ KN.m}$$

Comentário – $M_{\text{máx local}}$ é o momento fletor que ocorre devido a aplicação de carga uniformemente distribuída no banzo superior do joist.



c.5) Dimensionamento dos banzos

c.5.1)- Compressão

$$L_{bx} < 500 \text{ mm}$$

$$L_{by} < 2000 \text{ mm}$$

$$(K L_x)/r_x = 13$$

$$(K L_y)/r_y = 47,51$$

$$(K L_{\text{mín}})/r_{\text{mín}} < 16$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{ym} = \sqrt{\left(\frac{KL_y}{r_y}\right)^2 + \left(\frac{KL_{\text{mín}}}{r_{\text{mín}}}\right)^2}$$

Comentário – adotamos para efeito de cálculo a distância entre conectores de ligação das cantoneiras $50/2=25 \text{ cm}$, ou seja, o índice de esbeltez do perfil simples $(K L_{\text{mín}})/r_{\text{mín}}$ limitado a 40.

$$(KL/r)_m = 50$$

OBS: índice de esbeltez modificado, considerando perfil composto por 2 Pel.

- Relação largura espessura de perfis tipo U:

$$\text{Mesa} - b/t = (50,8)/3,17 = 16 > 0,38 \sqrt{E/F_y} = 9,26 \text{ (não compacto)}$$

$$\text{Alma} - b/t = (101,6 - (3,17 \times 2))/3,17 = 30 > 1,49$$

$$\sqrt{E/F_y} = 36,32$$

$$E = 205\,000 \text{ MPa}$$

$$F_y = 345 \text{ MPa}$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \times (b/t) \times \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = 0,93$$

$$F_{e_x} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL_x}{r_x}\right)^2} \quad F_{e_{ym}} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL_y}{r_y}\right)^2}$$

O valor de dimensionamento será

$$F_{ey} = 809,31 \text{ MPa}$$

Se $F_e > 0,44 \times Q \times F_y$ então

$$F_{cr_x} = Q_x(0,658^{\frac{Q_x F_y}{F_{ex}}}) \times F_y \quad F_{cr_y} = Q_x(0,658^{\frac{Q_x F_y}{F_{ey}}}) \times F_y$$

$$F_{cry} = 272 \text{ MPa}$$

- Momento resistente:

$$- M_{\text{res}} = F_{cr} \times W_x \text{ global} \times 0,9 \text{ (LRFD)}$$

$$- M_{\text{res}} = 248,56 \text{ KN.m (LRFD)}$$

Portanto

$$IR1 = 236,93/248,56 \text{ KN.m} = 0,95 < 1,0 \text{ (Ok)}$$

(relação entre momento atuante e admissível)

C.5.2) Flexão local no banzo

Comentário – Em razão da flexão ocorrer no banzo superior entre montantes, temos que o estado limite de flambagem lateral por torção não irá ocorrer ($L_b < L_p$).

$$M_n = F_{cr} \times 0,9 \times W_x \text{ local}$$

$$M_n = 9,72 \text{ KN.m}$$

Portanto

$$IR2 = 0,18/9,72 = 0,02 < 1,0 \text{ (Ok)}$$

(relação entre momento local atuante e admissível)

Finalmente temos que
 $IR1 + IR2 = 0,97 < 1,0$ (OK)

c.6) Dimensionamento das diagonais (Tabela 1.2
- CD-ROM - Apêndice A)

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para as diagonais

- Diagonais

$L = 1\,120\text{ mm}$

$P_{at} = 52,64 \times 1.120/1000 = 58,96\text{ KN}$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é Pel 76,2x38,1x2,5 simples.

Massa = 2,91 kg/m

c.7) Dimensionamento dos montantes –
Tabela 1.2 - Apêndice A - (CD-ROM)

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para os montantes

- Montantes $L = 1\,000\text{ mm}$

Comentário – A composição geométrica do joist proporciona que os montantes tenham a função de travamento sem carga real, portanto como critério adotaremos:

$P_{montantes} = 0,05 R_a = 0,05 \times 52,64 = 2,63\text{ KN}$

Da tabela de capacidade à compressão tiramos que o perfil mais adequado é Pel 76,2x38,1x2,5 simples

Massa = 2,91 kg/m

- **CONCLUSÃO :**

- BANZO SUPERIOR=
Perfil duplo Pel 101,6x50,8x3,17

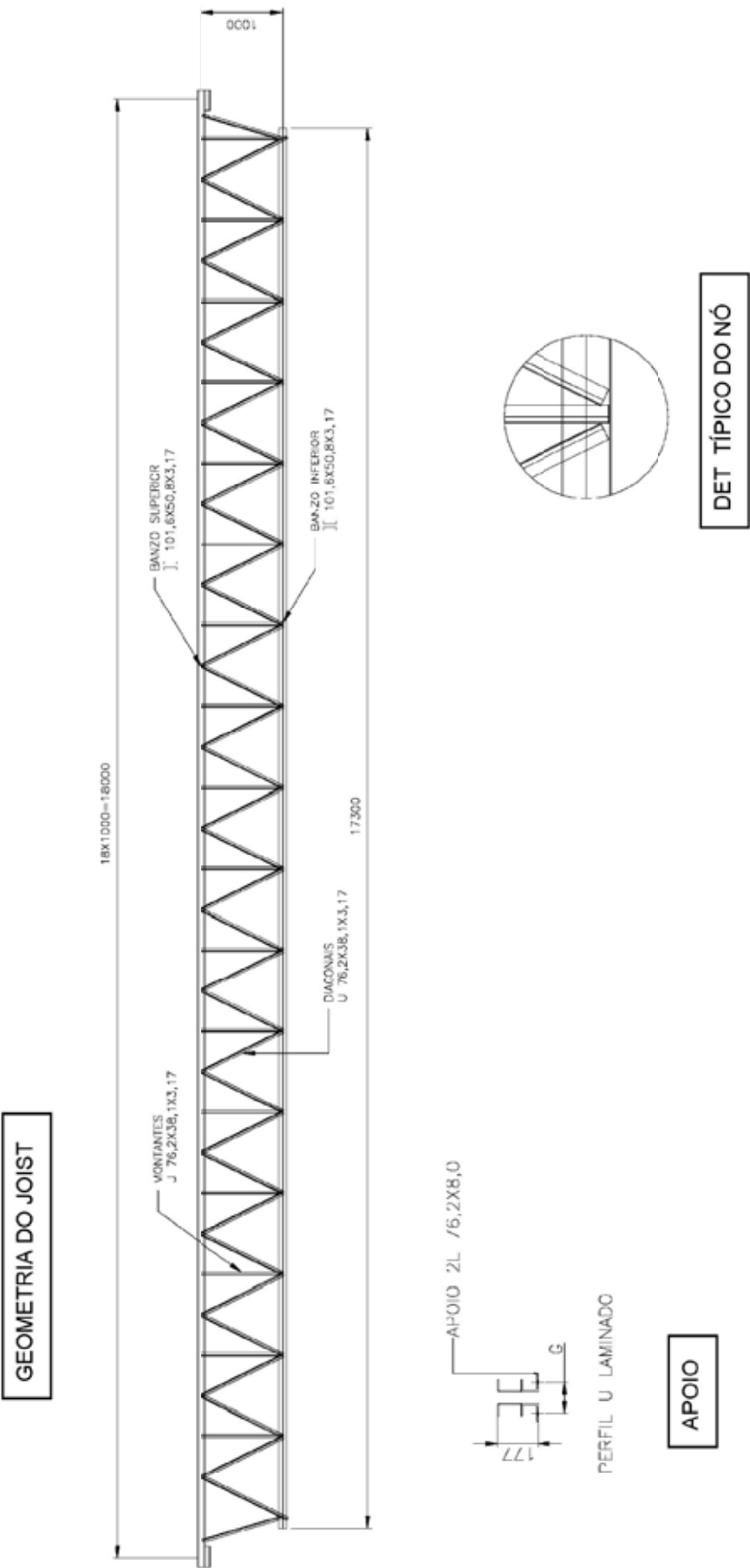
- BANZO INFERIOR =
Perfil duplo Pel 101,6x50,8x3,17

- DIAGONAIS =
Perfil Pel 76,2x38,1x2,5 simples

- MONTANTES =
Perfil Pel 76,2x38,1x2,5 simples

Tabela de Seções			
Seção	Comprimento Total (m)	Peso (t)	Sub-total (t)
U PEL76X2.5	58.25	0.168	0.512
U PEL101X3	70.00	0.344	
Peso perfis		0.512	
Peso chapas		0.025	
Peso total estimado:		0.537	

Peso estimado – tabela Apêndice A (CD-ROM)=
 $29,94 \times 18 = 538\text{ kg}$ (OK)



ISOMÉTRICA ESQUEMÁTICA





FOTO 1 -JOIST FORMADA POR 2 U LAMINADOS



FOTO 2 -JOIST FORMADA POR 2 U LAMINADOS
MONTADA



**FOTO 3 – MONTAGEM DE MÓDULO COMPLETO
JOIST FORMADA POR 2 U LAMINADOS**



**FOTO 4 – MÓDULO COMPLETO MONTADO E ESTABILIZADO
JOIST FORMADA POR 2 U LAMINADOS**

7.2 - Cantoneiras Laminadas:

a) Dados de Projeto

- Comprimento do Joist	$L = 23 \text{ m}$
- Altura máxima do joist	$h_{\max} = 1600 \text{ mm}$
- Carga necessária	$Q_{\text{nec}} = 5,0 \text{ KN/m}$
- Deformação Limite	$\Delta_{\text{lim}} = L/360$

b) Escolha do Joist pela tabela – tabela 2.5 - cantoneiras (CD-ROM) - Apêndice B

Perfil 2 L 4"x4"x1/4" (101,6x101,6x6,35 mm) Joist

Massa estimada do joist = 65,66 kg/m

- Joist	$h = 1500 \text{ mm} < 1600 \text{ mm (OK)}$
- Carga admissível	$Q_{\text{ASD}} = 5,12 \text{ KN/m} > 5,0 \text{ (OK)}$
- Carga admissível para flecha	$Q_{\text{def}} = 8,75 \text{ KN/m} > 5,0 \text{ (OK)}$

c) Roteiro de cálculo para comprovação dos resultados

c.1) Características geométricas do joist escolhido (tabela 2)

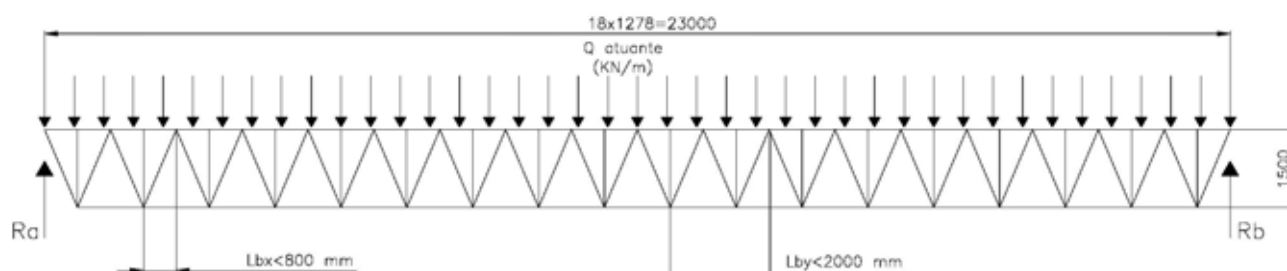
Dados dos banzos inferior e superior: Tabela 2

Área do banzo superior = banzo inferior	$A_g = 25,02 \text{ cm}^2$
Raio de giro eixo local x-x	$r_x = 3,17 \text{ cm}$
Raio de giro eixo local y-y	$r_y = 6,44 \text{ cm}$
Raio de giro mínimo perfil simples	$r_{\min} = 2,01 \text{ cm}$

Dados da viga joist - Tabela 2.4 - Apêndice B - (CD-ROM)

Inércia da viga joist	$I_{\text{joist}} = 261567 \text{ cm}^4$
Momento resistente perfil simples	$W_{2L} = 32,80 \text{ cm}^3$

c.2) Esquema estrutural



c.3) Determinação dos esforços externos reativos

- Q atuante = $5,12 + 0,6566 = 5,78 \text{ KN/m}$
- $R_a = R_b = 5,78 \times 23/2 = 66,43 \text{ KN}$

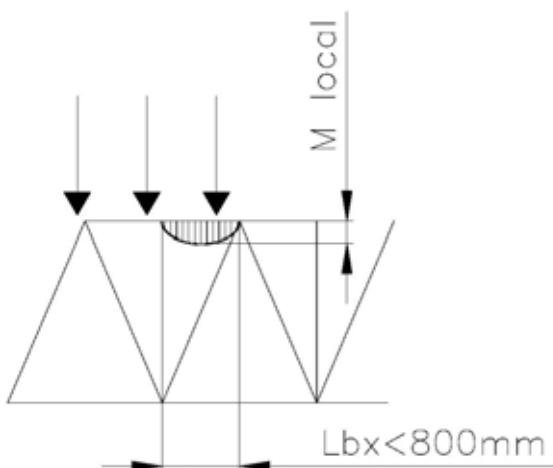
c.4) Determinação dos esforços internos de dimensionamento dos banzos

- $M_{\text{max global}} = 5,78 \times (23)^2/8 = 382,20 \text{ KN.m}$
- $P_{\text{max}} = 382,20/1,444$
- $P_{\text{max}} = 264,68 \text{ KN}$



- $M_{\text{max local}} = 5,78 \times (0,80)^2/8 = 0,46 \text{ KN.m}$

Comentário – $M_{\text{máx local}}$ é o momento fletor que ocorre devido à aplicação de carga uniformemente distribuída no banzo superior do joist.



c.5) Dimensionamento dos banzos

c.5.1) Compressão

- $L_{bx} < 800 \text{ mm}$
- $L_{by} < 2000 \text{ mm}$
- $(K L_x)/r_x = 25$
- $(K L_y)/r_y = 31,06$
- $(K L_{\text{min}})/r_{\text{min}} < 40$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{ym} = \sqrt{\left(\frac{KL_y}{r_y}\right)^2 + \left(\frac{KL_{\text{min}}}{r_{\text{min}}}\right)^2}$$

Comentário – adotamos para efeito de cálculo a distância entre conectores de ligação das cantoneiras $40 \times 2,01 \text{ cm} = 80,40 \text{ cm}$, ou seja o índice de esbeltez do perfil simples $((K L_{\text{min}})/r_{\text{min}})$ limitado a 40.

$$(KL/r)_{ym} = 50,64$$

OBS: índice de esbeltez modificado, considerando perfil composto por 2 cantoneiras.

- Relação largura espessura das cantoneiras:
 $b/t = 101,6/6,35 = 16 > 0,45 \sqrt{E/F_y} = 12,81$

$$E = 205\,000 \text{ MPa}$$

$$F_y = 253 \text{ MPa}$$

$$Q_s = 1,34 - 0,76 \times (b/t) \times \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = 0,91$$

$$F_{e_x} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL_x}{r_x}\right)^2} \quad F_{e_{ym}} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL_y}{r_y}\right)^2}$$

$$F_{e_x} = 3176 \text{ MPa}$$

$$F_{e_{ym}} = 788,98 \text{ MPa}$$

Se $F_e > 0,44 \times Q \times F_y$ então

$$F_{cr_x} = Q_x(0,658 \frac{Q_x F_y}{F_{ex}}) x F_y \quad F_{cr_y} = Q_x(0,658 \frac{Q_x F_y}{F_{ey}}) x F_y$$

$$F_{cr_x} = 224 \text{ MPa}$$

$$F_{cr_y} = 203 \text{ MPa}$$

- Força de compressão resistente:

$$- P_{nx} = 224 \times 2502 / 1,67 \text{ (ASD)}$$

$$- P_{nx} = 335\,597 \text{ N ou } 334,10 \text{ KN}$$

$$- P_{ny} = 203 \times 2502 / 1,67 \text{ (ASD)}$$

$$- P_{ny} = 304\,135 \text{ N ou } 304,13 \text{ KN}$$

Adotamos $P_n = 304,13 \text{ KN}$

Portanto $IR1 = 264,68/304,13 = 0,87 < 1,0 \text{ (Ok)}$
(relação entre carga atuante e admissível)

C 5.2) Flexão

Comentário – Em razão da flexão ocorrer no banzo superior entre montantes, temos que o estado limite de flambagem lateral por torção não irá ocorrer ($L_b < L_p$).

$$M_n = F_{cr} \times W_x \text{ local}$$

$$M_n = 6,658 \text{ KN.m}$$

$$\text{Portanto } IR2 = 0,46/6,658 = 0,07 < 1,0 \text{ (Ok)}$$

(relação entre momento local atuante e admissível)

Finalmente temos que $IR1 + IR2 = 0,94 < 1,0 \text{ (ok)}$

c.6) Dimensionamento das diagonais - Tabela 2.1 - Apêndice B

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para as diagonais

- Diagonais

$$L = 1\,630 \text{ mm}$$

$$P_{at} = 66,43 \times 1630/1500 = 72,19 \text{ KN}$$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é 2 L 2"x2"x3/16"

$$\text{Massa} = 7,19 \text{ kg/m}$$

c.7) Dimensionamento dos montantes - Tabela 2.1 - Apêndice B - (CD-ROM)

- Montantes

$$L = 1\,500 \text{ mm}$$

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para os montantes

Comentário – A composição geométrica do joist proporciona que os montantes tenham a função de travamento sem carga real, portanto como critério adotaremos:

$$P_{montantes} = 0,05 R_a = 0,05 \times 66,43 = 3,32 \text{ KN}$$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é 2 L 1 1/4"x1 1/4"x 1/8"

$$\text{Massa} = 3,03 \text{ kg/m}$$

- CONCLUSÃO :

- BANZO SUPERIOR =

Perfil 2 L 4"x4"x1/4"

- BANZO INFERIOR =

Perfil 2 L 4"x4"x1/4"

- DIAGONAIS =

Perfil 2 L 2"x2"x3/16"

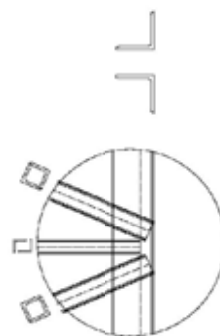
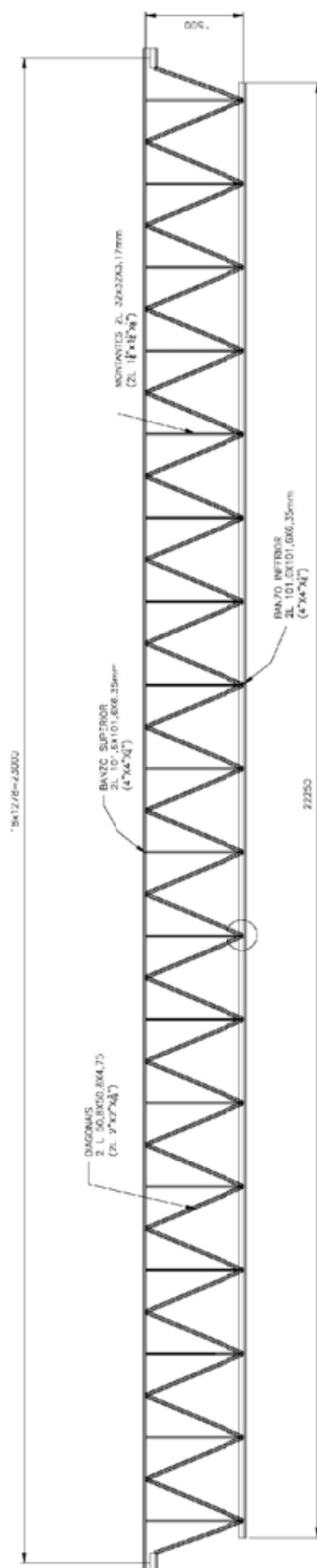
- MONTANTES =

Perfil 2 L 1 1/4"x1 1/4"x 1/8"

Tabela de Seções			
Seção	Comprimento Total (m)	Peso (t)	Sub-total (t)
L 1.25x1/8	48.00	0.072	1.412
L 2x3/16	106.43	0.383	
L 4x1/4	89.03	0.957	
Peso total perfis		1.412	
Peso estimado de chapas		0.141	
Peso total estimado		1.553	

Peso estimado – tabela Apêndice B = 65,66 x 23 = 1 510 kg (2,86%)

GEOMETRIA DO JOIST



DETALHE TÍPICO DO NÓ



PERFIL 2L LAMINADO

APOIO

ISOMÉTRICA ESQUEMÁTICA





**FOTO 5 – DETALHE DE NÓ DE JOIST FORMADO POR
CANTONEIRAS LAMINADAS**

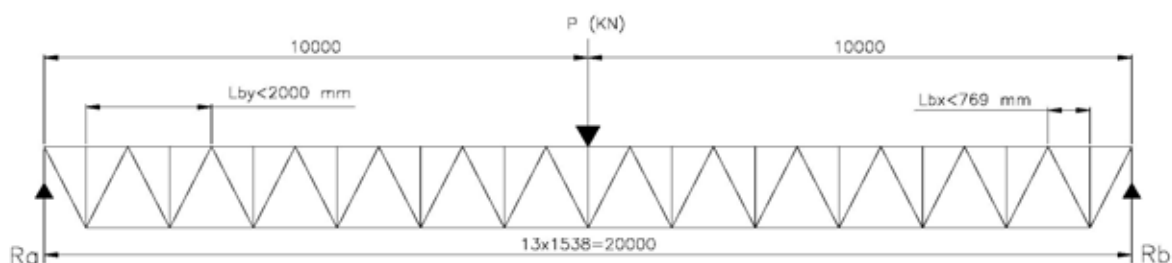


**FOTO 6 – DETALHE DE LIGAÇÃO DE JOIST SECUNDÁRIO EM
JOIST PRINCIPAL – CANTONEIRAS LAMINADAS**

7.3 - Perfil T Laminado:

a) Dados de Projeto

- Comprimento do Joist $L = 20 \text{ m}$
- Altura máxima do joist $h_{\text{máx}} = 1500 \text{ mm}$
- Banzos WT 155x19,35
- Flecha admissível $L/1000$
- Determinar a máxima carga concentrada P



b) Premissas geométricas e estruturais

Dados geométricos do perfil isolado do banzo superior e inferior - Tabela 3

Área do banzo superior = banzo inferior	$A_g = 24,90 \text{ cm}^2$
Raio de giro eixo local x-x	$r_x = 4,42 \text{ cm}$
Raio de giro eixo local y-y	$r_y = 3,82 \text{ cm}$

Dados geométricos da viga Joist - Tabela 3.7 - (CD-ROM) - Apêndice C:

Massa estimada do joist	$M = 64,82 \text{ kg/m}$
Inércia da viga joist	$I_{\text{joist}} = 258204 \text{ cm}^4$
Momento resistente	$W_{2L} = 3442,72 \text{ cm}^3$

- Carga admissível	$Q_{\text{ASD}} = 5,29 \text{ KN/m}$
- Carga admissível para flecha	$Q_{\text{def}} = 13,47 \text{ KN/m}$

OBS:

Travamentos laterais nos banzos inferior e superior a cada 1 500 mm

c) Roteiro de cálculo

c.1) Determinação do momento máximo resistente:

$$M_{asd} = 5,29 \times 20^2 / 8 = 264,50 \text{ KN.m}$$

$$M_{def} = 13,47 \times 20^2 / 8 = 673,50 \text{ KN.m}$$

Comentário

– M_{asd} = Momento fletor admissível para carga uniformemente distribuída pelo método das Tensões admissíveis.

– M_{def} = Momento fletor admissível para deformação elástica $D = L/360$

Sabemos que M_{asd} para 1 carga concentrada no meio vão é igual :

$$M_{asd} = \frac{P \times L}{4}$$

$$\text{Portanto } \frac{P \times L}{4} = 264,50$$

de onde tiramos que **$P_{asd} = 52,90 \text{ KN}$**

Para verificação de P_{max} para deformação elástica de $L/1000$:

Flecha máxima para peso próprio (cud)

$$\Delta_{pp} = 5 \times Q_{pp} \times L / (384 \times E \times I_{joist})$$

$$\Delta_{pp} = 0,26 \text{ cm}$$

Flecha máxima para carga concentrada

$$\Delta_P = P \times L^3 / (48 \times E \times I_{joist}) < L/1000 - 0,26$$

$$P_{def500} = 55,26 \text{ KN}$$

Conclusão: adotamos como máxima carga $P = 52,90 \text{ KN}$

Premissa: - Adotamos neste exemplo perfis padronizados para as diagonais

- Poderiam ser adotadas como diagonais cantoneiras, porém a título de exemplo utilizare-

mos perfil T

- Diagonais

$$L = 1690 \text{ mm}$$

$$P_{at} = (55,26/2 + 0,65 \times 10) \times 1690/1500 = 38,45 \text{ KN}$$

Da tabela 3.1 de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é WT 75X6,5
Massa = 6,5 kg/m

c.2) Dimensionamento dos montantes –
Tabela 3.1 - Apêndice C - (CD-ROM)

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para os montantes

- Poderiam ser adotados como montantes cantoneiras, porém a título de exemplo utilizaremos perfil T

- Montantes

$$L = 1500 \text{ mm}$$

Comentário – A composição geométrica do joist proporciona que os montantes tenham a função de travamento sem carga real, a menos do momento de aplicação da carga, portanto adotaremos como carga atuante para dimensionamento P

$$P_{montantes} = 55,26 \text{ KN}$$

Da tabela 3.1 - Apêndice C - de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é WT 75X6,5

$$\text{Massa} = 6,5 \text{ kg/m}$$

CONCLUSÃO :

- BANZO SUPERIOR = Perfil WT 155x19,35

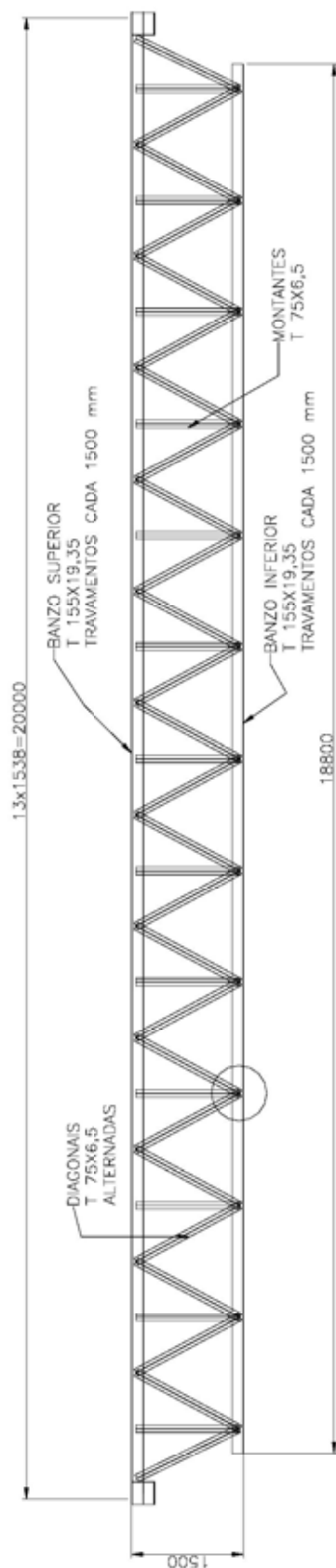
- BANZO INFERIOR = Perfil WT 155x19,35

- DIAGONAIS = Perfil WT 75X6,5

- MONTANTES = Perfil WT 75X6,5

Tabela de Seções			
Seção	Co (m) Total (meter)	Peso (t) (ton)	Sub-total (ton)
Te WT155X19.35	38.45	0.737	1.129
Te WT75X6.5	63.33	0.391	
Peso perfis		1.129	
Peso chapas (estimativo)		0,056	
Peso total:		1.185	

GEOMETRIA DO JOIST



ISOMÉTRICA ESQUEMÁTICA

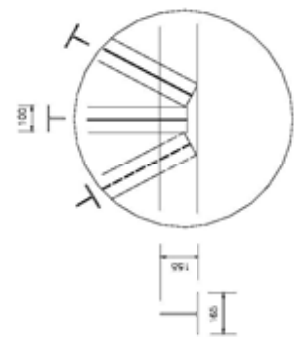




APOIO



SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA



DETALHE TÍPICO DO NÓ

7.4 - Perfil T Eletro-soldado:

a) Dados de Projeto

- Comprimento do Joist	$L = 16 \text{ m}$
- Altura máxima do joist	$h \text{ máx} = \text{livre}$
- Sobrecarga necessária	$Q_{\text{nec}} = 2,5 \text{ KN/m}^2$
- Deformação Limite	$D_{\text{lim}} = L/360$
- Laje espessura 10 cm	$\text{Massa} = 2,50 \text{ KN/m}^2$
- Distância entre Joists	$B = 1,40 \text{ m}$

b) Escolha do Joist

Determinação da carga atuante no joist:

- Laje	$2,50 \times 1,40 = 3,50 \text{ KN/m}$
- Sobrecarga	$2,50 \times 1,40 = 3,50 \text{ KN/m}$
- Carga de dimensionamento ASD (tensões admissíveis)	$= 7,31 \text{ KN/m}$

Da Tabela 4.6 - Apêndice D - $F_y = 345 \text{ MPa}$

Perfil VET 150X16,5 Joist $H=1600 \text{ mm}$

Massa estimada do joist = $59,73 \text{ kg/m}$

- Carga admissível	$Q_{\text{ASD}} = 7,31 \text{ KN/m} > 7,00 \text{ (OK)}$
- Carga admissível para flecha	$Q_{\text{def}} = 25,66 \text{ KN/m} > 7,00 \text{ (OK)}$

c) Roteiro de cálculo para comprovação dos resultados

c.1) Características geométricas do Joist escolhido

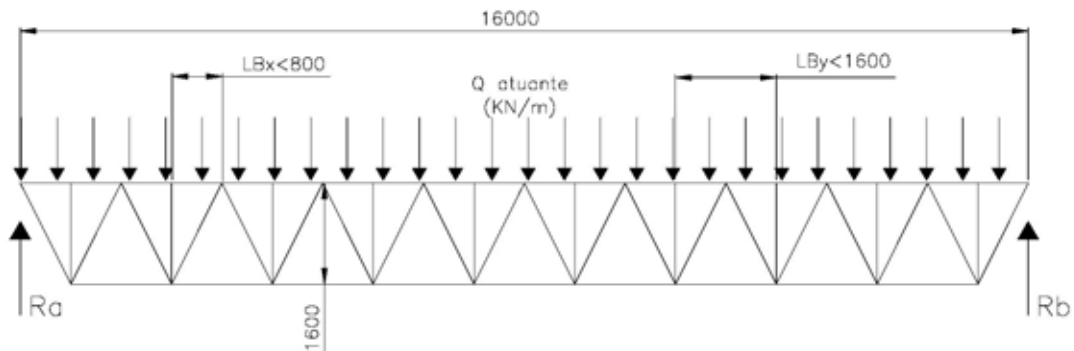
Dados dos banzos superior e inferior - tabela 4

Área do banzo superior = banzo inferior	$A_g = 21,00 \text{ cm}^2$
Momento Resistente	$W = 38,80 \text{ cm}^3$
Raio de giro eixo local x-x	$r_x = 4,59 \text{ cm}$
Raio de giro eixo local y-y	$r_y = 3,27 \text{ cm}$

Dados geométricos da viga Joist - Tabela 4.5 - Apêndice D - (CD-ROM)

Massa estimada do joist	$M = 59,73 \text{ kg/m}$
Inércia da viga joist	$I_{\text{joist}} = 245\,908 \text{ cm}^4$
Momento resistente	$W_T = 3073,85 \text{ cm}^3$

c.2) Esquema estrutural



c.3) Determinação dos esforços externos reativos

- $Q \text{ atuante} = 7,00 + 0,5973 = 7,5973 \text{ KN/m}$ (carga total com peso próprio do joist)
- $R_a = R_b = 7,5973 \times 16/2 = 60,78 \text{ KN}$

c.4) Determinação dos esforços internos de dimensionamento dos banzos



- $M_{\text{máx global}} = 7,5973 \times (16)^2 / 8 = 243 \text{ KN.m}$
- $P_{\text{máx}} = 243 / 1,527$
- $P_{\text{máx}} = 159,21 \text{ KN}$

- $M_{\text{máx local}} = 7,5973 \times (0,80)^2 / 8 = 0,61 \text{ KN.m}$

Comentário – $M_{\text{max local}}$ é o momento fletor que ocorre devido a aplicação de carga uniformemente distribuída no banzo superior do joist.

c.5) Dimensionamento dos banzos

c.5.1)- Compressão

$$L_{bx} < 800 \text{ mm} \\ (K L_x) / r_x = 17$$

$$L_{by} < 2000 \text{ mm} \\ (K L_y) / r_y = 61$$

- Relação largura espessura Perfil T:

$$d/t = 150/6,35 = 2,62 > 0,75 \sqrt{E/F_y} = 18,28$$

$$E = 205\,000 \text{ MPa}$$

$$Q_s = 0,73$$

$$F_y = 345 \text{ MPa}$$

$$F_{e_x} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL_x}{r_x}\right)^2} \quad F_{e_y} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL_y}{r_y}\right)^2}$$

Adotamos F_{ey} por ser mais desfavorável
 $F_{ey} = 541 \text{ MPa}$

Se $F_e > 0,44 \times Q \times F_y$ então

$$F_{cr_x} = Q \times (0,658^{\frac{Q \times F_y}{F_{ey}}}) \times F_y \quad F_{cr_y} = Q \times (0,658^{\frac{Q \times F_y}{F_{ey}}}) \times F_y$$

$$F_{cr_y} = 207 \text{ MPa}$$

$$F_{cr_z} = 308 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 158 \text{ MPa}$$

- Força de compressão resistente:

$$- P_{ny} = 158 \times 2100 / 1,67 \text{ (ASD)}$$

$$- P_{ny} = 198\,682 \text{ N ou } 199 \text{ KN}$$

Adotamos $P_n = 199 \text{ KN} > 159,21$

$$\text{Portanto } IR1 = 159,21/199 = 0,80 < 1,0 \text{ (Ok)}$$

(relação entre carga atuante e admissível)

c.5.2 - Flexão

Comentário – Em razão da flexão ocorrer no banzo superior entre montantes, temos que o estado limite de flambagem lateral por torção não irá ocorrer ($L_b < L_p$).

$$M_n = F_{cr} \times W_{x \text{ local}}$$

$$M_n = 6,13 \text{ KN.m}$$

$$\text{Portanto } IR2 = 0,61/6,13 = 0,10 < 1,0 \text{ (Ok)}$$

(relação entre momento local atuante e admissível)

Finalmente temos que $IR1 + IR2 = 0,90 < 1,0 \text{ (Ok)}$

c.6) Dimensionamento das diagonais -
Tabela 4.1 - Apêndice D - (CD-ROM)

$$\text{- Diagonais} \quad L = 1\,790 \text{ mm}$$

$$P_{at} = 60,78 \times 1790/1600 = 68,00 \text{ KN}$$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é VET 75x6,5
Massa = 6,50 kg/m

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para as diagonais

- Poderiam ser adotados como diagonais cantoneiras, porém a título de exemplo utilizaremos perfil T

c.7) Dimensionamento dos montantes -
Tabela 4.1 - Apêndice D - (CD-ROM)

$$\text{- Montantes} \quad L = 1\,600 \text{ mm}$$

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para os montantes

- Poderiam ser adotados como montantes cantoneiras, porém a título de exemplo utilizaremos perfil T

Comentário – A composição geométrica do joist proporciona que os montantes tenham a função de travamento sem carga real, portanto como critério adotaremos:

$$P_{montantes} = 0,05 R_a = 0,05 \times 60,78 = 3,08 \text{ KN}$$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é VET 75x6,5
Massa = 6,50 kg/m

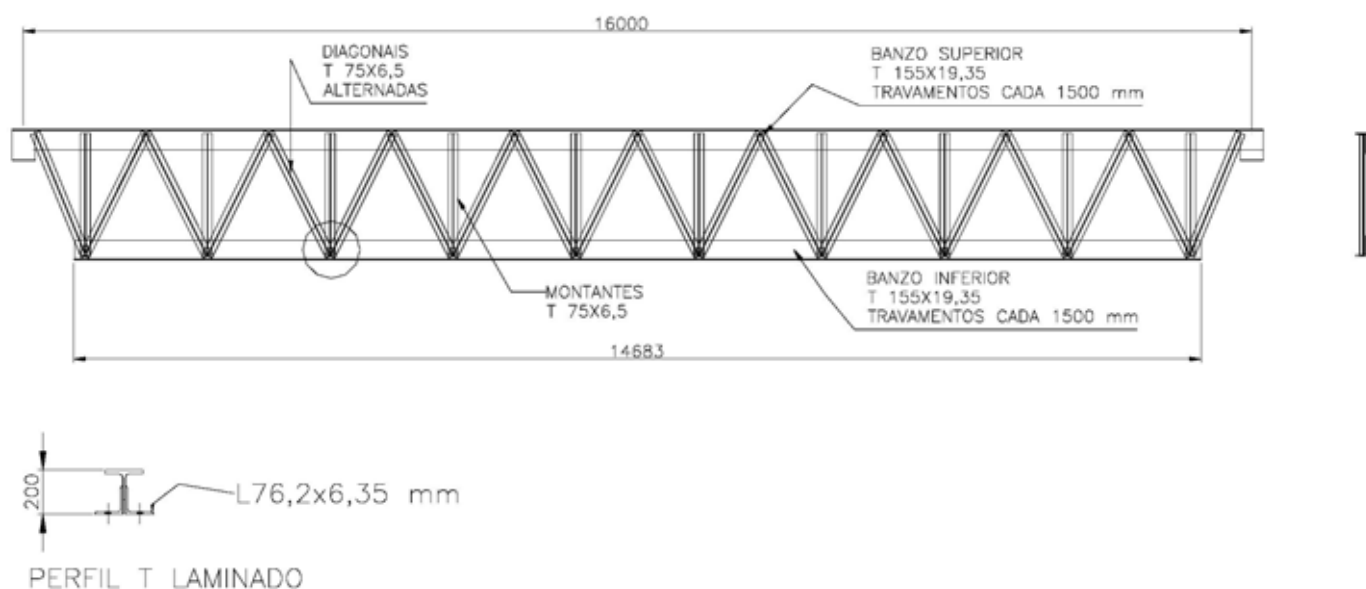
CONCLUSÃO :

- BANZO SUPERIOR = Perfil VET 150x16,5
- BANZO INFERIOR = Perfil VET 150x16,5
- DIAGONAIS = Perfil VET 75x6,5
- MONTANTES = Perfil VET 75x6,5

Tabela de Seções			
Seção	Comprimento Total (m)	Peso (t)	Sub-total (t)
Te VET 150X16,5	30.40	0.501	0.838
Te VET75X6.5	51.78	0.336	
Peso total perfis		0.838	
Peso estimado de chapas		0.084	
Peso total estimado		922	

Peso estimado – Tabela Apêndice D - (CD-ROM) = $59,73 \times 16 = 955 \text{ kg}$ (3,52%)

GEOMETRIA DO JOIST



APOIO

7.5 - Perfil U formado a frio:

a) Dados de Projeto

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| - Comprimento do Joist | $L = 20 \text{ m}$ |
| - Altura máxima do joist | $h_{\text{max}} = 1500 \text{ mm}$ |
| - Sobrecarga necessária | $Q_{\text{nec}} = 2,0 \text{ KN/m}^2$ |
| - Deformação Limite | $D_{\text{lim}} = L/240$ |
| - Telhado | $\text{Massa} = 0,15 \text{ KN/m}^2$ |
| - Distância entre Joists | $B = 1,50 \text{ m}$ |

b) Escolha do Joist pela tabela –

Determinação da carga atuante no joist:

- Cobertura $0,15 \times 1,50 = 0,23 \text{ KN/m}$
- Sobrecarga $2,00 \times 1,50 = 3,00 \text{ KN/m}$

- Carga de dimensionamento ASD (tensões admissíveis) = $3,23 \text{ KN/m}$

Tabela 5.6 - Apêndice E - (CD-ROM) - $F_y = 253 \text{ MPa}$

Perfil U150x50x6,35 Joist H=1200 mm

Massa estimada do joist = $37,88 \text{ kg/m}$

- Carga admissível	$Q_{ASD} = 3,45 \text{ KN/m} > 3,23 \text{ (OK)}$
- Carga admissível para flecha > $3,23 \text{ KN/m}$ (OK)	$Q_{def L/360} = 5,07 \times 360/240 = 7,61 \text{ KN/m}$

c) Roteiro de cálculo para comprovação dos resultados

c.1) Características geométricas do Joist escolhido

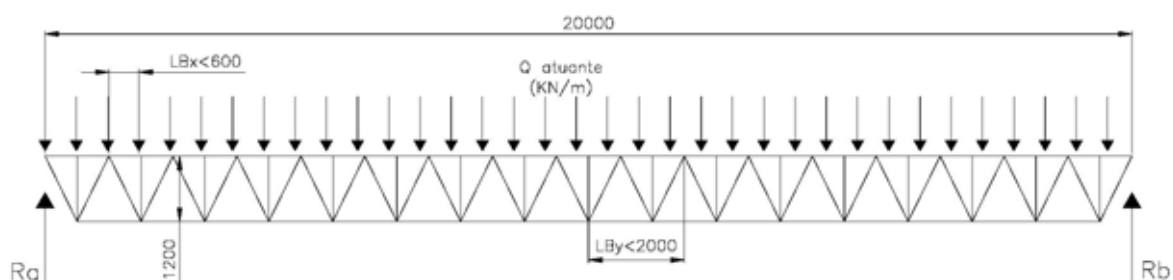
Dados dos banzos superior e inferior - Tabela 5

Área do banzo superior = banzo inferior	$A_g = 14,45 \text{ cm}^2$
Raio de giro eixo local x-x	$r_x = 1,44 \text{ cm}$
Raio de giro eixo local y-y	$r_y = 5,48 \text{ cm}$

Dados geométricos da viga Joist - Tabela 5.6 - Apêndice D - (CD-ROM)

Massa estimada do joist	$M = 37,88 \text{ kg/m}$
Inércia da viga joist	$I_{joist} = 99\,708 \text{ cm}^4$
Momento resistente	$W_T = 1\,662 \text{ cm}^3$

c.2) Esquema estrutural



c.3) Determinação dos esforços externos reativos

- Q atuante = $3,23 + 0,3788 = 3,61 \text{ KN/m}$
(carga total com peso próprio do joist)
- $R_a = R_b = 3,61 \times 20/2 = 36,10 \text{ KN}$

c.4) Determinação dos esforços internos de dimensionamento dos banzos

- $M_{\text{max global}} = 3,61 \times (20)^2 / 8 = 180,44 \text{ KN.m}$



- $N_1 \text{ max} = 18044/1662 = 10,86 \text{ KN/cm}^2$
- $M_{\text{max local}} = 3,61 \times (0,60)^2 / 8 = 0,16 \text{ KN.m}$

Comentário – $M_{\text{máx local}}$ é o momento fletor que ocorre devido a aplicação de carga uniformemente distribuída no banzo superior do joist.

- $N_2 \text{ máx} = 16/8,01 = 2,03 \text{ KN/cm}^2$
- $N_1 + N_2 = 12,89 \text{ KN/cm}^2 = 128,9 \text{ MPa}$
(máxima tensão de compressão nos perfis dos banzos)

c.5) Verificação dos banzos

Tensão máxima admissível

$N_s, cd = r \times F_y / 1,67 \text{ (ASD)}$ ou

$N_s, cd = r \times F_y / 1,1 \text{ (LRFD)}$

$r = H_o = 0,887$

Portanto:

$N_s, cd = 0,887 \times 253/1,67 = 134,38 \text{ Mpa} > 128,90$
(OK) $IR = 0,96$

c.6) Dimensionamento das diagonais - Tabela 5.1 - Apêndice E - (CD-ROM)

- Diagonais $L = 1336 \text{ mm}$

$P_{at} = 36,10 \times 1336/1200 = 40,19 \text{ KN}$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é 2 U 75x40x3,0 (soldado nas abas)

Massa = $2 \times 3,42 = 6,48 \text{ kg/m}$

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para as diagonais

- Poderiam ser adotados como diagonais cantoneiras, porém a título de exemplo utilizaremos perfil 2 U

c.7) Dimensionamento dos montantes - Tabela 5.1 - Apêndice E - (CD-ROM)

- Montantes $L = 1200 \text{ mm}$

Comentário – A composição geométrica do joist proporciona que os montantes tenham a função de travamento sem carga real, portanto como critério adotaremos:

$P_{\text{montantes}} = 0,05 R_a = 0,05 \times 36,10 = 1,81 \text{ KN}$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é U 50x25x3

Massa = $2 \times 2,12 = 4,24 \text{ kg/m}$

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para os montantes

- Poderiam ser adotados como montantes cantoneiras, porém a título de exemplo utilizaremos perfil 2 U

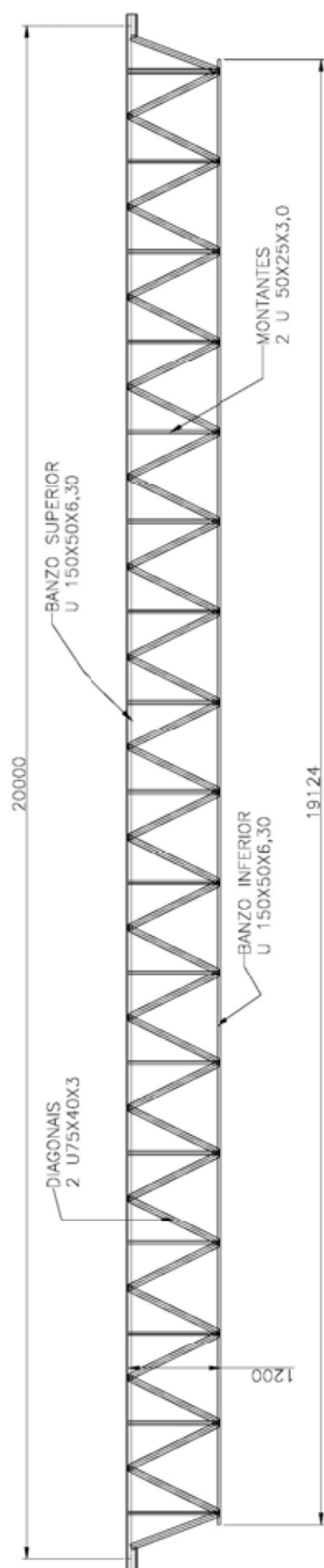
CONCLUSÃO :

- BANZO SUPERIOR = Perfil U 150x50x6,3
- BANZO INFERIOR = Perfil U 150x50x6,3
- DIAGONAIS = Perfil 2 U 75x40x3,0
- MONTANTES = Perfil 2 U 50x25x3

Seção	Comprimento Total (m)	Peso (t)
Chapa dobrada- Peso de		
2 U# 75x40#3.18	45.42	0.294
U# 150x50#6.3	38.80	0.440
2 U# 50x25#3.0	17.00	0.072
Peso total perfis		0,806
Peso estimado de chapas		0,050
Peso total estimado		0,856

Peso estimado – Tabela Apêndice E - (CD-ROM) = $37,88 \times 20 = 757,60$ kg (5,70%)

GEOMETRIA DO JOIST

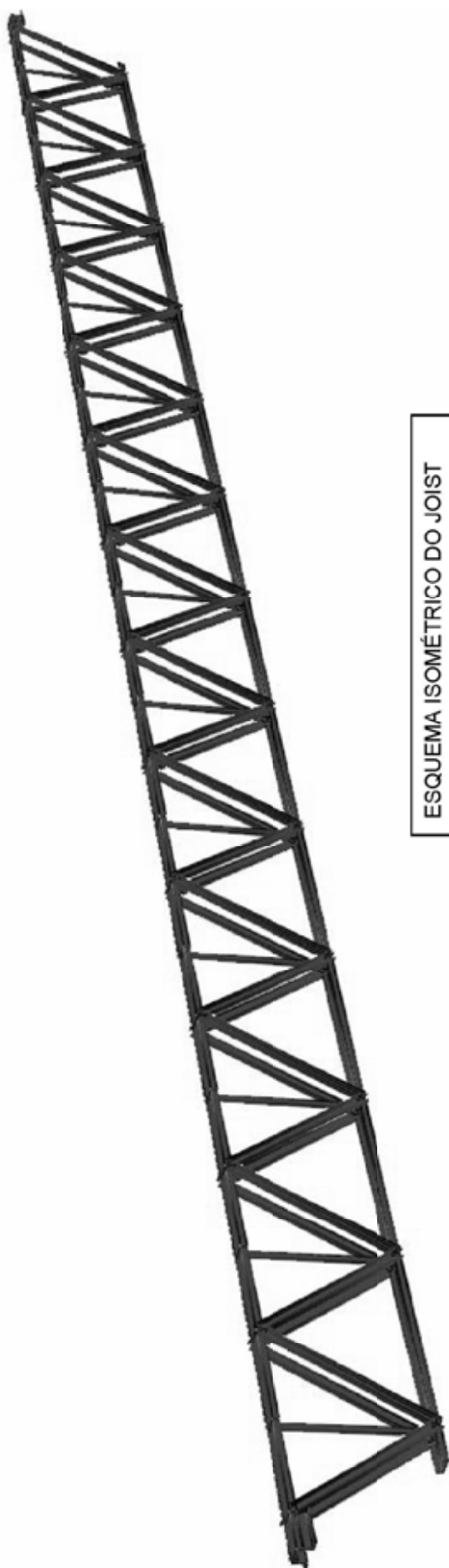


CANTONEIRA DE APOIO



PERFIL U FORMADO A FRIO

APOIO



ESQUEMA ISOMÉTRICO DO JOIST

7.6 - Perfis Tubulares - Circulares e Quadrados:

a) Dados de Projeto

- Comprimento do Joist	$L = 24 \text{ m}$
- Aplicação	Cobertura flexíveis
- Distância entre Joist	$B = 12,0 \text{ m}$
- Deformação Limite	$D_{lim} = L/240$
- Altura máxima do joist	$h_{max} = 1800 \text{ mm}$
- Cargas permanentes	$Q_{perm} = 0,15 \text{ KN/m}^2$
- Sobrecarga de utilização	$Q_{sob ut} = 0,20 \text{ KN/m}^2$
- Sobrecarga acidentais	$Q_{sob ac} = 0,25 \text{ KN/m}^2$

b) Escolha do Joist pela tabela – Apêndices E e F - (CD-ROM)

b.1) Ponderação de cargas – método LRFD

- Permanentes + sobrecargas	
- Perm+ Sc = $0,15 \times 12,0 \times 1,25 + (0,20 + 0,25) \times 12,0 \times 1,50$	$= 10,35 \text{ KN/m}$
- Para verificação das deformações:	
- Perm+ Sc = $0,15 \times 12,0 + 0,45 \times 12,0$	$= 7,20 \text{ KN/m}$
- Sc = $0,45 \times 12,0$	$= 5,40 \text{ KN/m}$

1ª Hipótese: Joist composto por perfis tubulares de seção circular

Perfil dos banzos - f 114,30 x 8,6 mm
Massa estimada do joist = 69,58 kg/m

- Joist	$h = 1600 \text{ mm} < 1800 \text{ mm (OK)}$
- Carga admissível	$Q_{LRFD} = 10,82 \text{ KN/m} > 10,35 \text{ (OK)}$
- Carga admissível para flecha	$Q_{def} = 9,25 \times 360/240 = 13,88 \text{ KN/m} > 5,40 \text{ (SC) (OK)}$

c) Roteiro de cálculo para comprovação dos resultados

c.1) Características geométricas do Joist escolhido

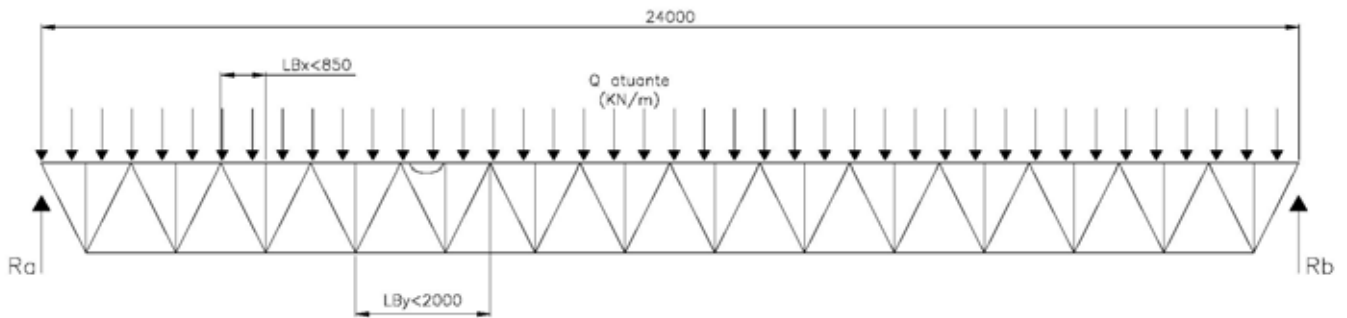
Dados do banzo superior e inferior - Tabela 6

Área do banzo superior = banzo inferior	$A_g = 28,40 \text{ cm}^2$
Momento resistente perfil do banzo	$W = 70,00 \text{ cm}^3$
Raio de giro	$r = 3,75 \text{ cm}$

Dados do banzo superior e inferior - Tabela 1.3 - Apêndice A - (CD-ROM)

Inércia da viga joist (apêndice B)	$I_{joist} = 314\,279 \text{ cm}^4$
Momento resistente Viga Joist	$W_{joist} = 3928 \text{ cm}^3$

c.2) Esquema estrutural



c.3) Determinação dos esforços externos reativos

- Q atuante = $10,35 + 0,6958 = 11,05$ KN/m
- $R_a = R_b = 11,05 \times 24/2 = 132,55$ KN

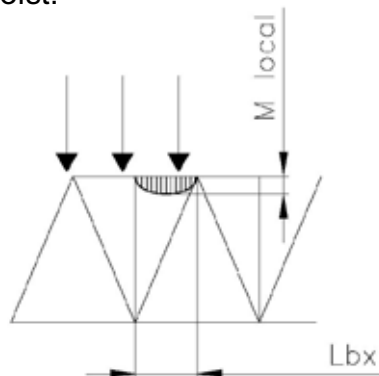
c.4) Determinação dos esforços internos de dimensionamento dos banzos

- $M_{\text{máx global}} = 11,05 \times (24)^2 / 8 = 795,60$ KN.m



- $M_{\text{máx local}} = 11,05 \times (0,80)^2 / 8 = 0,89$ KN.m

Comentário – $M_{\text{máx local}}$ é o momento fletor que ocorre devido a aplicação de carga uniformemente distribuída no banzo superior do joist.



c.5) Dimensionamento dos banzos

c 5.1)- Compressão

$$Lbx < 800 \text{ mm} \\ (K L_x)/r_x = 21$$

$$Lby < 2000 \text{ mm} \\ (K L_y)/r_y = 54$$

- Relação largura espessura de perfis tubulares seção circular:

$$\text{Mesa} - d/t = 114,3/8,6 = 13,29 < 0,007 \times E/F_y = 47,83 \text{ (compacto)}$$

$$E = 205\,000 \text{ MPa}$$

$$F_y = 300 \text{ MPa}$$

$$F_{e_x} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K L_x}{r_x}\right)^2} \quad F_{e_{ym}} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K L_y}{r_y}\right)^2}$$

O valor de dimensionamento será

$$F_{ey} = 684 \text{ MPa}$$

Se $F_e > 0,44 \times Q \times F_y$ então

$$F_{cr_x} = Q \times (0,658^{\frac{Q \times F_y}{F_{ey}}}) \times F_y \quad F_{cr_y} = Q \times (0,658^{\frac{Q \times F_y}{F_{ey}}}) \times F_y$$

$$F_{cry} = 250 \text{ MPa}$$

Momento resistente:

$$- M_{res} = F_{cr} \times W_x \text{ global} \times 0,9 \text{ (LRFD)}$$

$$- M_{res} = 883,80 \text{ KN.m (LRFD)}$$

Portanto

$$IR1 = 795,60 / 883,80 \text{ KN.m} = 0,90 < 1,0 \text{ (Ok)}$$

(relação entre momento atuante e admissível)

c 5.2)- Flexão local no banzo

Comentário – Em razão da flexão ocorrer no banzo superior entre montantes, temos que o estado limite de flambagem lateral por torção não irá ocorrer ($L_b < L_p$).

$$M_n = F_{cr} \times 0,9 \times W_x \text{ local}$$

$$M_n = 15,75 \text{ KN.m}$$

Portanto $IR2 = 0,89 / 15,75 = 0,06 < 1,0 \text{ (Ok)}$
(relação entre momento local atuante e admissível)

Finalmente temos que $IR1 + IR2 = 0,96 < 1,0 \text{ (Ok)}$

c.6) Dimensionamento das diagonais Tabela 6.1

- Apêndice F - (CD-ROM)

$$- \text{Diagonais} \quad L = 1\,790 \text{ mm}$$

$$P_{at} = 132,55 \times 1.790 / 1600 = 148,29 \text{ KN}$$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é tubo TB 60,3 x 5,5
Massa = 7,48 kg/m

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para as diagonais

c.7) Dimensionamento dos montantes –

Tabela 6.1 - Apêndice F - (CD-ROM)

$$- \text{Montantes} \quad L = 1\,600 \text{ mm}$$

Comentário – A composição geométrica do joist proporciona que os montantes tenham a função de travamento sem carga real, portanto como critério adotaremos:

$$P_{montantes} = 0,05 R_a = 0,05 \times 132,55 = 6,63 \text{ KN}$$

Da tabela de capacidade a compressão tiramos que o perfil mais adequado é tubo TB 33,4x3,4"
Massa = 2,50 kg/m

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para os montantes

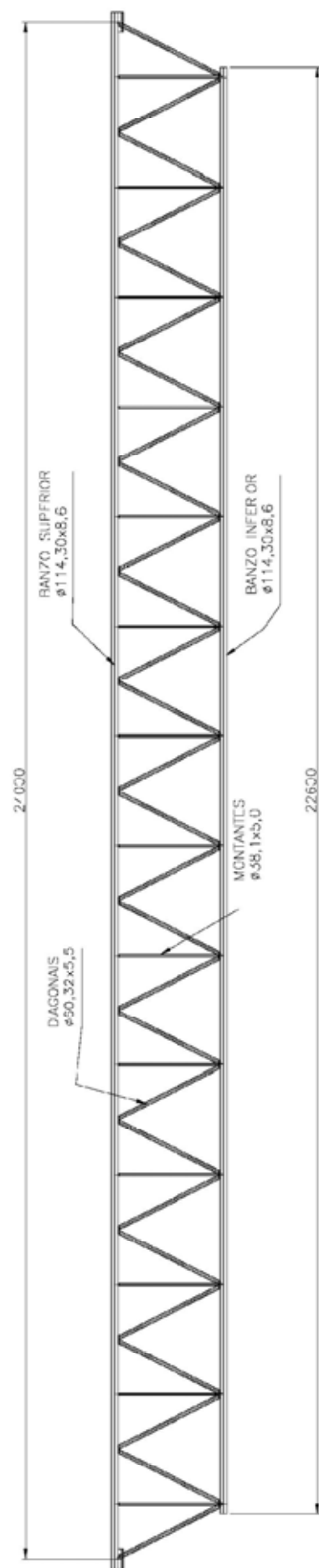
CONCLUSÃO :

- BANZO SUPERIOR = Perfil TB 114,30x8,6
- BANZO INFERIOR = Perfil TB 114,30x8,6
- DIAGONAIS = Perfil TB 60,3X5,5
- MONTANTES = Perfil TB 38,1X5,0

Tabela de Seções			
Seção	Comprimento Total (m)	Peso (t)	Sub-total (t)
Tubo 38.1x5.0	20.79	0.085	1,479
Tubo 60.3x5.5	48.01	0.357	
Tubo 114.3x8.6	46.28	1.037	
Peso perfis		1,419	
Peso chapas		0.085	
Peso total estimado:		1,564	

Peso estimado – tabela Apêndice A - (CD-ROM) = $69,58 \times 24 = 1669 \text{ kg}$ (6,29%-OK)

GEOMETRIA DO JOIST



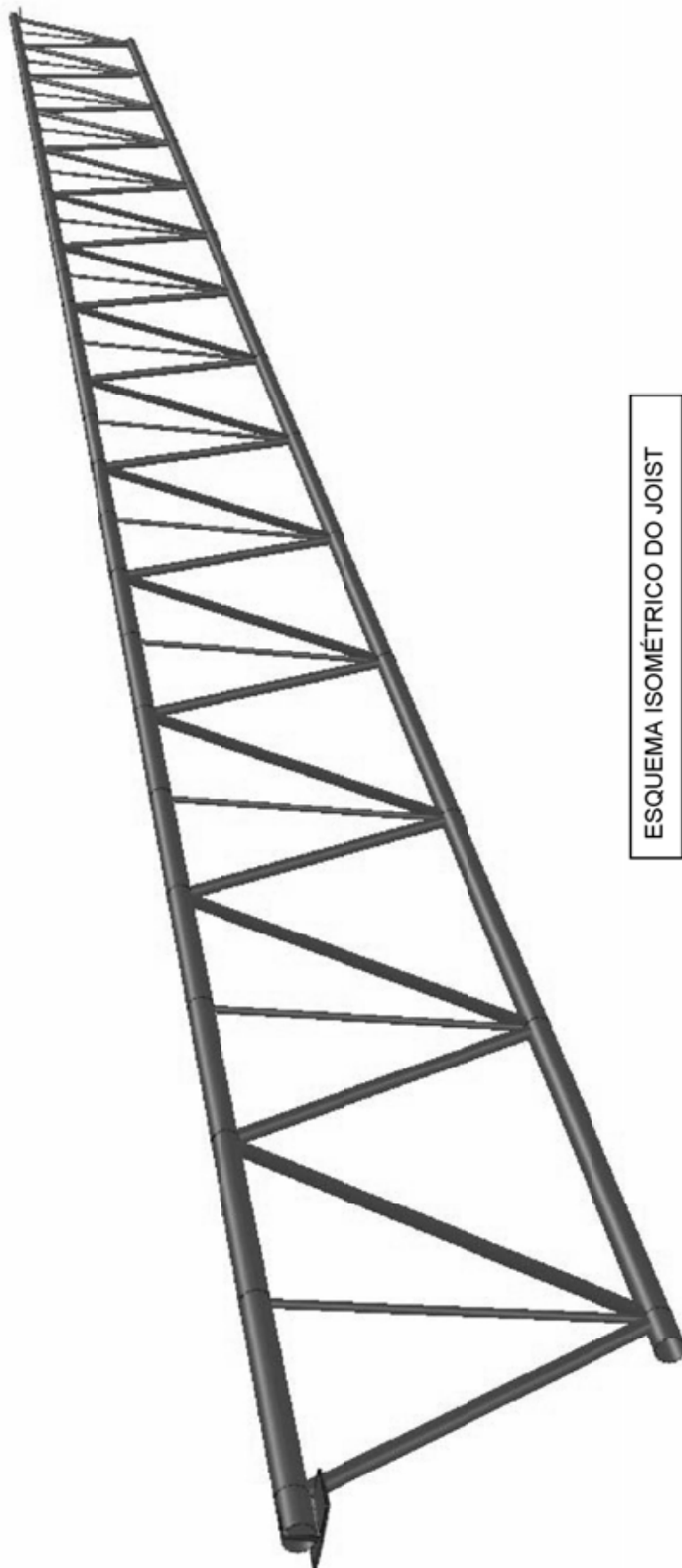
CHAPA DE REFORÇO INTERNA

L 76,2x6,35



APOIO

PERFIL TUBULAR CIRCULAR



ESQUEMA ISOMÉTRICO DO JOIST

2ª Hipótese: Joist composto por perfis tubulares de seção quadrada

Perfil dos banzos –[] 130x130x5,2 mm

Massa estimada do joist = 63,63 kg/m

- Joist	$h = 1700 \text{ mm} < 1800 \text{ mm (OK)}$
- Carga admissível	$Q_{LRFD} = 10,79 \text{ KN/m} > 10,35 \text{ (OK)}$
- Carga admissível para flecha	$Q_{def} = 9,01 \times 360/240 = 13,52 \text{ KN/m} > 5,40 \text{ (SC) (OK)}$

d) Roteiro de cálculo para comprovação dos resultados

d.1) Características geométricas do Joist escolhido

Dados do banzo superior e inferior - Tabela 7

Área do banzo superior = banzo inferior	$A_g = 24,64 \text{ cm}^2$
Momento resistente perfil do banzo	$W = 99,38 \text{ cm}^3$
Raio de giro	$r = 5,10 \text{ cm}$

Dados do banzo superior e inferior - Tabela 7.6 - (CD-ROM)) - Apêndice G

Inércia da viga joist	$I_{joist} = 304\,967 \text{ cm}^4$
Momento resistente Viga Joist	$W_{joist} = 3\,587 \text{ cm}^3$

d.2) Determinação dos esforços externos reativos

- Q atuante = $10,35 + 0,6363 = 10,99 \text{ KN/m}$
- $R_a = R_b = 10,99 \times 24/2 = 131,84 \text{ KN}$

d.3) Determinação dos esforços internos de dimensionamento dos banzos

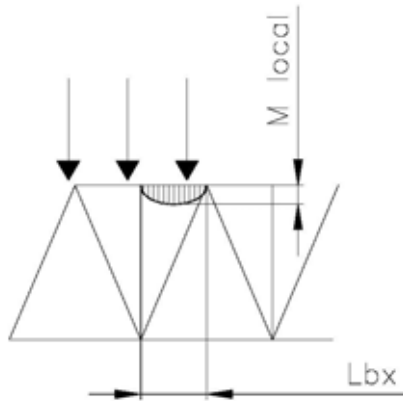
- $M_{\text{max global}} = 10,99 \times (24)^2 / 8 = 791,28 \text{ KN.m}$



- $M_{\text{máx local}} = 10,99 \times (0,80)^2 / 8 = 0,88 \text{ KN.m}$

Projetando Joists - exemplos de utilização

Comentário – $M_{\text{máx local}}$ é o momento fletor que ocorre devido à aplicação da carga uniformemente distribuída no banzo superior do joist.



d.4) Dimensionamento dos banzos

d.4.1)- Compressão

$$\begin{aligned} L_{bx} &< 800 \text{ mm} \\ L_{by} &< 2000 \text{ mm} \\ (K L_x)/r_x &= 16 \\ (K L_y)/r_y &= 31 \end{aligned}$$

- Relação largura espessura de perfis tubulares seção quadrada:

$$\begin{aligned} \text{Mesa} - d/t &= (130 - 2 \times 5,5)/5,5 = 21,64 < 1,12 \times \\ &\sqrt{E/F_y} = 29,28 \text{ (compacto)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= 205\,000 \text{ MPa} \\ F_y &= 300 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{e_x} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K L_x}{r_x}\right)^2} \quad F_{e_{ym}} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K L_y}{r_y}\right)^2}$$

O valor de dimensionamento será
 $F_e = 2137 \text{ MPa}$

Se $F_e > 0,44 \times Q \times F_y$ então

$$F_{cr_x} = Q_x \left(0,658^{\frac{Q_x F_y}{F_{e_x}}}\right) \times F_y \quad F_{cr_y} = Q_y \left(0,658^{\frac{Q_y F_y}{F_{e_y}}}\right) \times F_y$$

$$F_{cr} = 267 \text{ MPa}$$

Momento resistente:

$$\begin{aligned} - M_{\text{res}} &= F_{cr} \times W_x \text{ global} \times 0,9 \text{ (LRFD)} \\ - M_{\text{res}} &= 861,96 \text{ KN.m (LRFD)} \end{aligned}$$

Portanto

$$\begin{aligned} IR1 &= 791,28 / 861,96 \text{ KN m} = 0,92 < 1,0 \text{ (Ok)} \\ &\text{(relação entre momento atuante e admissível)} \end{aligned}$$

C.5.2- Flexão local no banzo

Comentário – Em razão da flexão ocorrer no banzo superior entre montantes, temos que o estado limite de flambagem lateral por torção não irá ocorrer ($L_b < L_p$).

$$\begin{aligned} M_n &= F_{cr} \times 0,9 \times W_x \text{ local} \\ M_n &= 23,881 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

Portanto

$$\begin{aligned} IR2 &= 0,88 / 23,881 = 0,04 < 1,0 \text{ (Ok)} \\ &\text{(relação entre momento local atuante e admissível)} \end{aligned}$$

Finalmente temos que $IR1 + IR2 = 0,96 < 1,0 \text{ (Ok)}$

c.6) Dimensionamento das diagonais Tabela 7.1 - Apêndice G

$$\begin{aligned} - \text{Diagonais} \quad L &= 1\,790 \text{ mm} \\ P_{at} &= 131,84 \times 1.790 / 1600 = 147,50 \text{ KN} \end{aligned}$$

Da tabela de capacidade à compressão tiramos que o perfil mais adequado é tubo TQ 60x60x3,6
Massa = 6,16 kg/m

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para as diagonais

c.7) Dimensionamento dos montantes – Tabela 7.1 - Apêndice G

$$\begin{aligned} - \text{Montantes} \quad L &= 1\,600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Comentário – A composição geométrica do joist proporciona que os montantes tenham a função de travamento sem carga real, portanto como critério adotaremos:

$$P_{\text{montantes}} = 0,05$$

$$R_a = 0,05 \times 131,84 = 6,59 \text{ KN}$$

Da tabela de capacidade à compressão tiramos que o perfil mais adequado é o tubo TQ50X50X3,6

$$\text{Massa} = 5,03 \text{ kg/m}$$

Premissa: adotamos neste exemplo perfis padronizados para os montantes.

- CONCLUSÃO:

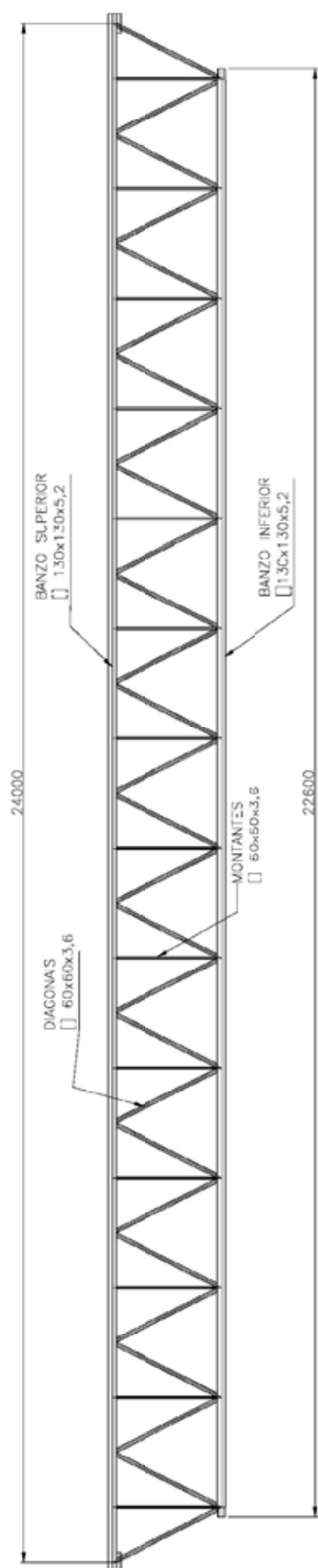
- BANZO SUPERIOR = Perfil TQ 130X130X5,2
- BANZO INFERIOR = Perfil TQ 130X130X5,2
- DIAGONAIS = Perfil TQ 60X60X3,6
- MONTANTES = Perfil TQ 50X50X3,6

Tabela de Seções			
Seção	Comprimento Total (m)	Peso (t)	Sub-total (t)
TUBO Π 130X130X5,2	46,28	0,995	
TUBO Π 50X50X3,6	20,79	0,109	
TUBO Π 60X60X3,6	48,01	0,306	
Peso perfis:		1,410	
Peso chapas		0,080	
Peso total estimado:		1,490	

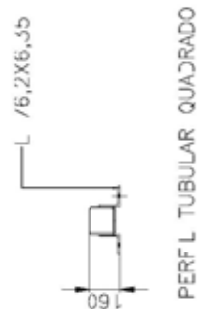
Peso estimado – tabela Apêndice A = $63,63 \times 24 = 1527 \text{ kg}$ (2,42%-OK)

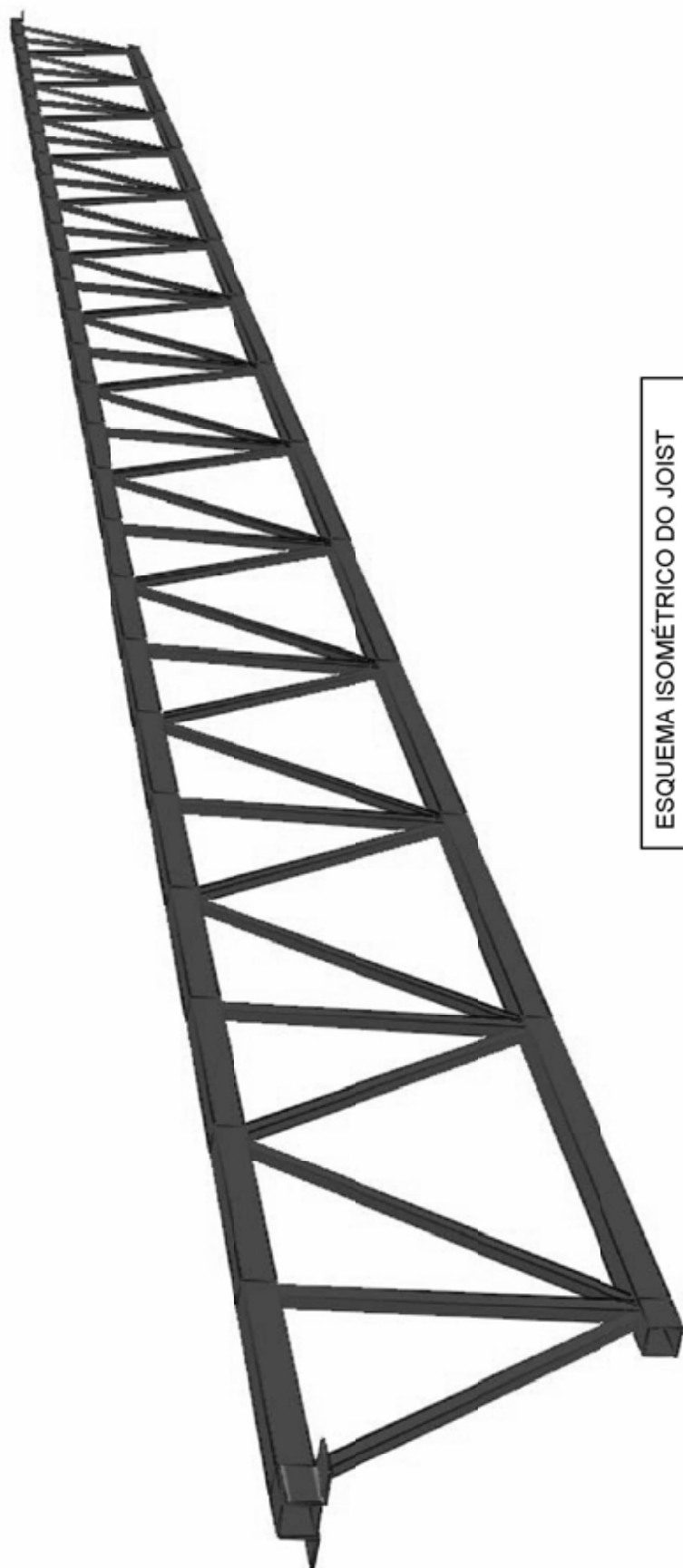
OBS IMPORTANTE: Em todos os exemplos focamos as análises no dimensionamento das barras constituintes dos joists, porém apoios e ligações deverão ser projetados conforme requisitos da NBR 8800.

GEOMETRIA DO JOIST



APOIO





ESQUEMA ISOMÉTRICO DO JOIST