Memória de Cálculo Estrutural

GALPÃO METÁLICO

Obra	Galpão 15x30
Proprietário	—
Local	—
Código da obra	—
Empresa	Neway Engenharia
Responsável técnico	—
Sistema estrutural	Galpão metálico

Documento gerado em 29/09/2026 às 08:48

1. NORMAS E REFERÊNCIAS ADOTADAS

O dimensionamento desta estrutura foi conduzido conforme as prescrições das normas técnicas brasileiras vigentes, a saber:

Norma	Título / aplicação
ABNT NBR 14762	Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio
ABNT NBR 6355	Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização
ABNT NBR 8800	Projeto de estruturas de aço e mistas de edifícios (coeficientes de combinação)
ABNT NBR 6120	Ações para o cálculo de estruturas de edificações
ABNT NBR 6123	Forças devidas ao vento em edificações

Método dos estados-limites: verificações de Estado-Limite Último (ELU) e Estado-Limite de Serviço (ELS).

2. GEOMETRIA E TIPOLOGIA

A estrutura é composta por **7** treliça(s) do tipo **Tesoura Pratt**, conforme dados geométricos abaixo:

Comprimento da treliça	15,00 m	**Altura inicial**	0,50 m
Inclinação da cobertura	10,00 %	**Quantidade de nós**	11
Distância entre terças	1,50 m	**Vão de influência**	5,00 m
Travamento banzo superior	1,50 m	**Travamento banzo inferior**	1,50 m
Vão máx. calculado da terça	5,00 m	**Travamentos intermediários da terça**	2 × 1,67 m

Vãos entre treliças: 5,00 m + 5,00 m + 5,00 m + 5,00 m + 5,00 m + 5,00 m (total 30,00 m)

O banzo superior da treliça é travado lateralmente pelas terças de cobertura ou sistema equivalente, com espaçamento máximo de **1,50 m** entre pontos de travamento.

O banzo inferior deve ser travado por mão francesa ou elemento equivalente, com espaçamento máximo de **1,50 m** entre pontos de travamento. A ausência desse travamento pode comprometer a estabilidade ao flambagem lateral.

As terças devem ser travadas contra torção e deslocamento lateral a cada **1,67 m** por corrente rígida ou sistema equivalente (2 travamento(s) intermediário(s) por vão). Esse espaçamento é o adotado no cálculo do momento resistente de flambagem lateral com torção.

2.1 A edificação

O galpão tem **15,00 m** de vão livre transversal e pé-direito de **6,00 m** — a altura do pilar, do nível do engaste até o apoio da treliça. Com a treliça por cima, a altura total do pórtico chega a **6,50 m** no beiral e sobe 10,00 % até a cumeeira. No sentido longitudinal são **30,00 m**, em 7 pórtico(s).

Pé-direito (altura do pilar)	6,00 m	**Tipologia do pilar**	Treliçado de dois banzos
Seção do pilar	—	**Pilares no galpão**	14
Largura entre banzos do pilar	0,50 m	**Divisões do reticulado**	10

*O vínculo dos pilares com a fundação é **engaste**, e é dele que saem as reações do Tópico 11. Os dois pilares e a treliça foram resolvidos na mesma matriz de rigidez — a treliça amarra os dois topos, e eles repartem o vento na proporção da rigidez de cada um.*

A obra tem **marquise** — ambos os lados —, um balanço engastado na face do pilar. Ela avança **3,00 m** além da linha dos apoios e se prende na cota **3,60 m**, medida do pé do pilar. É a única peça do galpão que passa da projeção da cobertura, e por isso entra no cálculo do pilar como carga **com braço**: ela entrega peso e momento na cota de fixação (Tópico 11).

Avanço do balanço	3,00 m	**Forma**	Altura variável (banzo inferior horizontal)
Altura junto ao pilar	3,60 m	**Altura na ponta**	0,25 m
Cota de fixação	3,60 m	**Marquises no galpão**	14

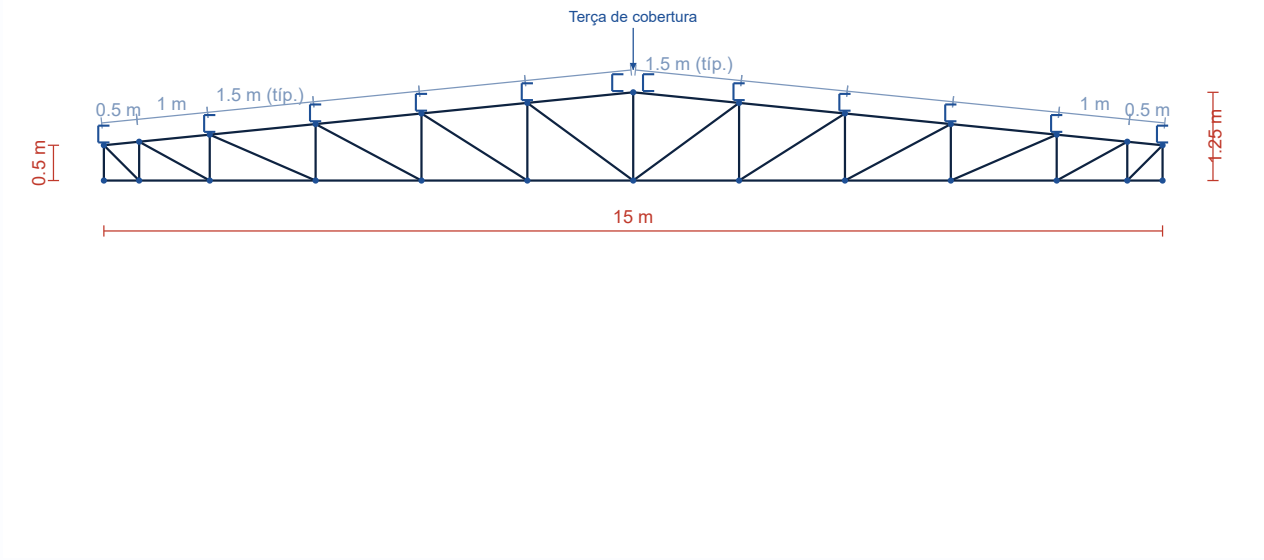


Figura 1 — Vista frontal da treliça Tesoura Pratt com cotas principais

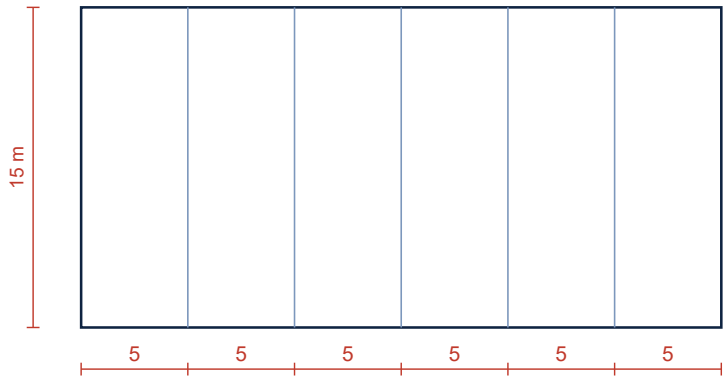


Figura 2 — Vista superior: disposição das treliças e vãos

3. MATERIAIS

Tipo de aço	A36	**Resistência ao escoamento (f_y)**	250 MPa
Resistência à ruptura (f_u)	400 MPa	**Módulo de elasticidade (E)**	200.000 MPa
Perfil dos banzos	Perfil U simples	**Perfil de diagonais/montantes**	Perfil U simples

Perfis formados a frio padronizados conforme ABNT NBR 6355.

4. CARREGAMENTOS CONSIDERADOS

As ações atuantes sobre a cobertura, informadas no projeto, são apresentadas a seguir. As cargas permanentes (G) e variáveis (Q) seguem a classificação da ABNT NBR 8800.

Ação	Classe	Valor	Unidade
Peso próprio das telhas	Permanente (G)	5,00	kg/m²
Peso próprio das terças	Permanente (G)	2,88	kg/m²
Sobrecarga de norma	Variável (Q)	25,00	kgf/m²
Sobrecargas adicionais	Variável (Q)	15,00	kgf/m²
Vento de sucção	Variável (Q)	-70,00	kgf/m²
Vento de sobrepressão	Variável (Q)	0,00	kgf/m²

O peso próprio dos perfis da treliça é considerado automaticamente pelo programa em iteração de cálculo.

5. COMBINAÇÕES DE AÇÕES

Os coeficientes de ponderação e de combinação seguem a ABNT NBR 8800. A seguir, as combinações últimas (ELU) e de serviço (ELS) consideradas, com o valor resultante de cada uma:

Combinações últimas (ELU)

Comb.	Peso próprio	Telhas	Sobrecargas	Vento sucção	Vento sobrepr.	Resultante
ELU 01	1,25	1,40	1,50	0,00	0,84	**70,59 kgf/m²**
ELU 02	1,25	1,40	1,20	0,00	1,40	**58,59 kgf/m²**
ELU 03	1,00	1,00	0,00	1,40	0,00	**-90,12 kgf/m²**

Combinações de serviço (ELS)

Comb.	Peso próprio	Telhas	Sobrecargas	Vento sucção	Vento sobrepr.	Resultante
ELS 01	1,00	1,00	0,70	0,00	0,00	**35,88 kgf/m²**
ELS 02	1,00	1,00	0,60	0,00	0,30	**31,88 kgf/m²**
ELS 03	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	**-62,12 kgf/m²**

*Valores resultantes em kgf/m². As envoltórias de esforços consideram todas as combinações ELU para a verificação de cada barra. **Esta tabela é a da COBERTURA** — treliças e terças. Os pilares e as marquises têm jogos próprios de coeficientes, impressos nos Tópicos 11 e 12.*

6. VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS (ELU)

Para cada grupo de barras, apresenta-se o perfil adotado, o esforço solicitante de cálculo (envoltória das combinações ELU), o tipo de esforço e o fator de utilização. O critério de aprovação é fator de utilização ≤ 100%.

Elemento	Perfil adotado	Esforço	Fator uso	Situação
Banzo superior	US100x50x3.00	Axial	**86 %**	APROVADO
Banzo inferior	US100x50x3.00	Axial	**93 %**	APROVADO
Diagonal	US100x50x3.75	Axial	**95 %**	APROVADO
Montante	US125x50x2.25	Axial	**99 %**	APROVADO
Terça	Ue125x50x17x2.25	Momento Fletor	**94 %**	APROVADO
Banzo do pilar	U200x50x2,65	Axial	**92 %**	APROVADO
Diagonal do pilar	U60x30x2,00	Axial	**89 %**	APROVADO
Banzo da marquise	U60x30x2,00	Axial	**94 %**	APROVADO
Diagonal da marquise	U50x25x1,50	Axial	**80 %**	APROVADO
Terça da marquise	Ue100x50x17x1.50	Axial	**90 %**	APROVADO

A verificação contempla escoamento da seção bruta, ruptura da seção líquida e instabilidade (flambagem) conforme ABNT NBR 14762:2010.

7. VERIFICAÇÃO DE DEFORMAÇÕES (ELS)

7.1 Treliça — O deslocamento vertical máximo foi avaliado para cada combinação de serviço. O deslocamento-limite adotado é de L/250 = **60,00 mm**, para um vão de 15,00 m.

Combinação	Flecha máxima	Limite	Situação
ELS 01	13,02 mm	60,00 mm	ATENDE
ELS 02	11,70 mm	60,00 mm	ATENDE
ELS 03 ◄ crítico	19,60 mm	60,00 mm	ATENDE

A combinação crítica é a **ELS 03**, com flecha de **19,60 mm**, **inferior** ao limite de 60,00 mm. A estrutura **atende** ao estado-limite de serviço.

7.2 Terça — Verificação da flecha vertical para o vão de cálculo de **5,00 m** (L/250 = **20,00 mm**). Carga de serviço ELS governante: **53,81 kgf/m**. Fórmula: $\delta = 5qL^4/(384EI)$, com E = 200.000 MPa e I_x bruto do perfil.

Elemento	Carga ELS (kgf/m)	Flecha calculada	Limite L/250	Situação
Ue125x50x17x2.25	53,81 kgf/m	**16,34 mm**	20,00 mm	ATENDE

A terça **Ue125x50x17x2.25** apresenta flecha de **16,34 mm**, **inferior** ao limite de 20,00 mm (L/250). **Atende** ao ELS.

8. RESUMO DE MATERIAIS

Elemento	Perfil	Comprimento total	Peso total
Banzo superior	US100x50x3.00	105,52 m	472,51 kg
Banzo inferior	US100x50x3.00	105,00 m	470,17 kg
Diagonal	US100x50x3.75	123,46 m	682,09 kg
Montante	US125x50x2.25	72,45 m	278,46 kg
Terça	Ue125x50x17x2.25	360,00 m	1.552,80 kg
Travamento	L40x40x2	178,49 m	214,77 kg
Tirante	Ferro ⌀ 3/8"	106,28 m	59,45 kg
Contravento	Ferro ⌀ 1/2"	85,18 m	84,70 kg
Mão francesa	L40x40x2	139,88 m	168,32 kg
Banzo do pilar	U200x50x2,65	168,00 m	1.018,08 kg
Diagonal do pilar	U60x30x2,00	186,34 m	331,84 kg
Banzo da marquise	U60x30x2,00	84,28 m	150,09 kg
Diagonal da marquise	U50x25x1,50	78,21 m	87,60 kg
Terça da marquise	Ue100x50x17x1.50	300,00 m	791,77 kg

Peso total estimado da estrutura metálica **6.362,65 kg**

9. DETALHAMENTO DAS BARRAS DA TRELIÇA

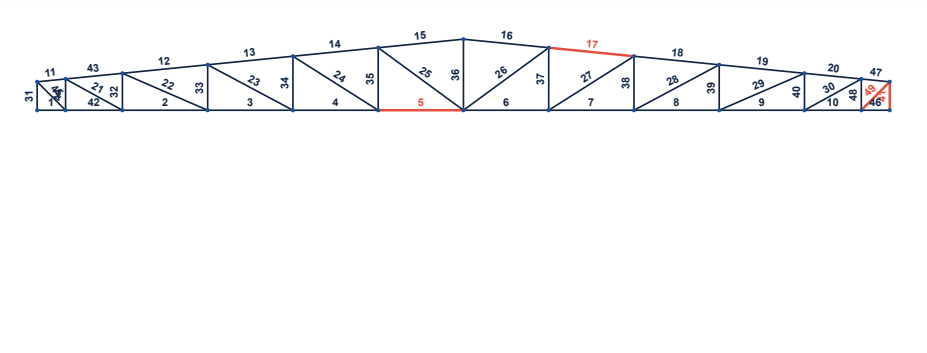


Figura — Numeração das barras da treliça. Barras governantes destacadas em vermelho.

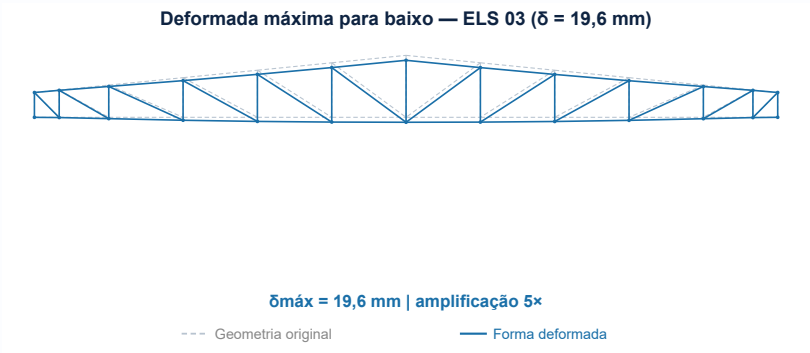


Figura — Forma deformada — deflexão máxima para baixo (ELS). Deformações amplificadas para visualização.

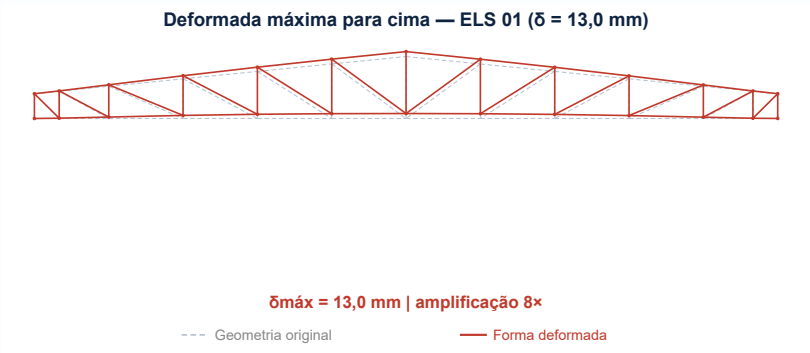


Figura — Forma deformada — deflexão máxima para cima (ELS). Deformações amplificadas para visualização.

Tabela de barras da treliça — Esforços axiais máximos por combinação ELU. A barra governante (▲) é a de maior fator de utilização para cada tipo de elemento.

Nº	Tipo	Perfil	Comp. (m)	Compressão máx. (kgf)	Combinação	Tração máx. (kgf)	Combinação
1	Banzo inferior	US100x50x3.00	0,500	501,8	ELU 01	439,0	ELU 03
2	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,500	1.357,2	ELU 03	1.016,3	ELU 02
3	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,500	5.093,7	ELU 03	4.073,0	ELU 01
4	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,500	6.612,1	ELU 03	5.483,3	ELU 01
5	**Banzo inferior ▲**	**US100x50x3.00**	**1,500**	**6.821,0**	**ELU 03**	**5.741,5**	**ELU 01**
6	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,500	6.821,0	ELU 03	5.741,5	ELU 01
7	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,500	6.612,1	ELU 03	5.483,3	ELU 01
8	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,500	5.093,7	ELU 03	4.073,0	ELU 01
9	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,500	1.357,2	ELU 03	1.016,3	ELU 02
10	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,000	5.359,0	ELU 01	6.389,6	ELU 03
11	Banzo superior	US100x50x3.00	0,502	5.892,7	ELU 03	4.732,8	ELU 01
12	Banzo superior	US100x50x3.00	1,507	4.587,7	ELU 01	5.577,2	ELU 03
13	Banzo superior	US100x50x3.00	1,507	5.999,4	ELU 01	7.163,5	ELU 03
14	Banzo superior	US100x50x3.00	1,507	6.254,7	ELU 01	7.437,5	ELU 03
15	Banzo superior	US100x50x3.00	1,507	5.768,4	ELU 01	6.872,8	ELU 03
16	Banzo superior	US100x50x3.00	1,507	5.768,4	ELU 01	6.872,8	ELU 03
17	**Banzo superior ▲**	**US100x50x3.00**	**1,507**	**6.254,7**	**ELU 01**	**7.437,5**	**ELU 03**
18	Banzo superior	US100x50x3.00	1,507	5.999,4	ELU 01	7.163,5	ELU 03
19	Banzo superior	US100x50x3.00	1,507	4.587,7	ELU 01	5.577,2	ELU 03
20	Banzo superior	US100x50x3.00	1,005	1.502,0	ELU 02	1.768,0	ELU 03
21	Diagonal	US100x50x3.75	1,141	6.352,3	ELU 03	5.375,8	ELU 01
22	Diagonal	US100x50x3.75	1,635	4.903,1	ELU 03	4.157,5	ELU 01
23	Diagonal	US100x50x3.75	1,700	2.312,0	ELU 03	1.953,0	ELU 01
24	Diagonal	US100x50x3.75	1,776	696,4	ELU 03	596,1	ELU 02
25	Diagonal	US100x50x3.75	1,860	600,0	ELU 01	787,8	ELU 03
26	Diagonal	US100x50x3.75	1,860	600,0	ELU 01	787,8	ELU 03

Tabela de barras da treliça (continuação 2/2)

Nº	Tipo	Perfil	Comp. (m)	Compressão máx. (kgf)	Combinação	Tração máx. (kgf)	Combinação
27	Diagonal	US100x50x3.75	1,776	696,4	ELU 03	596,1	ELU 02
28	Diagonal	US100x50x3.75	1,700	2.312,0	ELU 03	1.953,0	ELU 01
29	Diagonal	US100x50x3.75	1,635	4.903,1	ELU 03	4.157,5	ELU 01
30	Diagonal	US100x50x3.75	1,141	6.352,3	ELU 03	5.375,8	ELU 01
31	Montante	US125x50x2.25	0,500	6.152,6	ELU 03	4.910,4	ELU 01
32	Montante	US125x50x2.25	0,650	2.578,2	ELU 01	3.071,3	ELU 03
33	Montante	US125x50x2.25	0,800	1.637,1	ELU 01	1.962,3	ELU 03
34	Montante	US125x50x2.25	0,950	902,5	ELU 01	1.101,2	ELU 03
35	Montante	US125x50x2.25	1,100	301,8	ELU 02	386,3	ELU 03
36	Montante	US125x50x2.25	1,250	701,0	ELU 03	607,1	ELU 01
37	Montante	US125x50x2.25	1,100	301,8	ELU 02	386,3	ELU 03
38	Montante	US125x50x2.25	0,950	902,5	ELU 01	1.101,2	ELU 03
39	Montante	US125x50x2.25	0,800	1.637,1	ELU 01	1.962,3	ELU 03
40	Montante	US125x50x2.25	0,650	2.578,2	ELU 01	3.071,3	ELU 03
41	**Montante ▲**	**US125x50x2.25**	**0,500**	**6.152,6**	**ELU 03**	**4.910,4**	**ELU 01**
42	Banzo inferior	US100x50x3.00	1,000	5.359,0	ELU 01	6.389,6	ELU 03
43	Banzo superior	US100x50x3.00	1,005	1.502,0	ELU 02	1.768,0	ELU 03
44	Montante	US125x50x2.25	0,550	3.071,2	ELU 01	3.610,3	ELU 03
45	Diagonal	US100x50x3.75	0,707	6.659,9	ELU 01	8.344,2	ELU 03
46	Banzo inferior	US100x50x3.00	0,500	501,8	ELU 01	439,0	ELU 03
47	Banzo superior	US100x50x3.00	0,502	5.892,7	ELU 03	4.732,8	ELU 01
48	Montante	US125x50x2.25	0,550	3.071,2	ELU 01	3.610,3	ELU 03
49	**Diagonal ▲**	**US100x50x3.75**	**0,707**	**6.659,9**	**ELU 01**	**8.344,2**	**ELU 03**

▲ *Barra governante do dimensionamento para o respectivo tipo de elemento.*

Verificação dos elementos governantes — Passo a passo do cálculo de flambagem conforme ABNT NBR 14762:2010.

Barra governante — Banzo superior | Perfil: **US100x50x3.00** | Compressão — $N_{c,Sd}$ = **6.252,9 kgf**

Comprimentos de flambagem	L_x = 1.500 mm | L_y = 1.500 mm	**Fatores de comprimento efetivo**	$K_x = K_y = K_z = 1$
Área bruta A	5,704 cm²	**Raios de giração**	r_x = 39,41 mm | r_y = 15,69 mm

Forças críticas de flambagem elástica (NBR 14762:2010 §6.3)

$N_{ex} = \pi^2 E I_x/(K_x L_x)^2$	79.259 kgf	$N_{ey} = \pi^2 E I_y/(K_y L_y)^2$	12.569 kgf
N_{ez} (torção)	12.592 kgf	N_{exz} (flexo-torção)	11.876 kgf
N_e = mín(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}, N_{exz})	**11.876 kgf**		

Verificação de compressão/tração

$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y/N_e)}$	1,107	χ = 0,658^λ^2	0,599
A_{ef}	5,704 cm² (100,0% de A)	$N_{cRd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_y/\gamma_c$	7.259 kgf
$N_{tRd} = A \cdot f_y/\gamma_t$	13.220 kgf	**Fator de utilização**	86 %

Barra governante — Banzo inferior | Perfil: **US100x50x3.00** | Compressão — $N_{c,Sd}$ = **6.814,4 kgf**

Comprimentos de flambagem	L_x = 1.500 mm | L_y = 1.500 mm	**Fatores de comprimento efetivo**	$K_x = K_y = K_z = 1$
Área bruta A	5,704 cm²	**Raios de giração**	r_x = 39,41 mm | r_y = 15,69 mm

Forças críticas de flambagem elástica (NBR 14762:2010 §6.3)

$N_{ex} = \pi^2 E I_x/(K_x L_x)^2$	79.259 kgf	$N_{ey} = \pi^2 E I_y/(K_y L_y)^2$	12.569 kgf
N_{ez} (torção)	12.592 kgf	N_{exz} (flexo-torção)	11.876 kgf
N_e = mín(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}, N_{exz})	**11.876 kgf**		

Verificação de compressão/tração

$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y/N_e)}$	1,107	χ = 0,658^λ^2	0,599
A_{ef}	5,704 cm² (100,0% de A)	$N_{cRd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_y/\gamma_c$	7.259 kgf
$N_{tRd} = A \cdot f_y/\gamma_t$	13.220 kgf	**Fator de utilização**	93 %

Barra governante — Diagonal | Perfil: **US100x50x3.75** | Compressão — $N_{c,Sd}$ = **6.674,1 kgf**

Comprimentos de flambagem	L_x = 1.860 mm | L_y = 1.860 mm	**Fatores de comprimento efetivo**	$K_x = K_y = K_z = 1$
Área bruta A	7,038 cm²	**Raios de giração**	r_x = 39,04 mm | r_y = 15,58 mm

Forças críticas de flambagem elástica (NBR 14762:2010 §6.3)

$N_{ex} = \pi^2 E I_x/(K_x L_x)^2$	62.400 kgf	$N_{ey} = \pi^2 E I_y/(K_y L_y)^2$	9.942 kgf
N_{ez} (torção)	15.715 kgf	N_{exz} (flexo-torção)	14.263 kgf
$N_e = mín(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}, N_{exz})$	**9.942 kgf**		

Verificação de compressão/tração

$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y/N_e)}$	1,343	χ = 0,658^λ^2	0,470
A_{ef}	7,038 cm² (100,0% de A)	$N_{cRd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_y/\gamma_c$	7.025 kgf
$N_{tRd} = A \cdot f_y/\gamma_t$	16.310 kgf	**Fator de utilização**	95 %

Barra governante — Montante | Perfil: **US125x50x2.25** | Compressão — $N_{c,Sd}$ = **6.163,8 kgf**

Comprimentos de flambagem	L_x = 1.250 mm | L_y = 1.250 mm	**Fatores de comprimento efetivo**	$K_x = K_y = K_z = 1$
Área bruta A	4,896 cm²	**Raios de giração**	r_x = 48,52 mm | r_y = 15,39 mm

Forças críticas de flambagem elástica (NBR 14762:2010 §6.3)

$N_{ex} = \pi^2 E I_x/(K_x L_x)^2$	148.484 kgf	$N_{ey} = \pi^2 E I_y/(K_y L_y)^2$	14.932 kgf
N_{ez} (torção)	13.739 kgf	N_{exz} (flexo-torção)	13.426 kgf
$N_e = mín(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}, N_{exz})$	**13.426 kgf**		

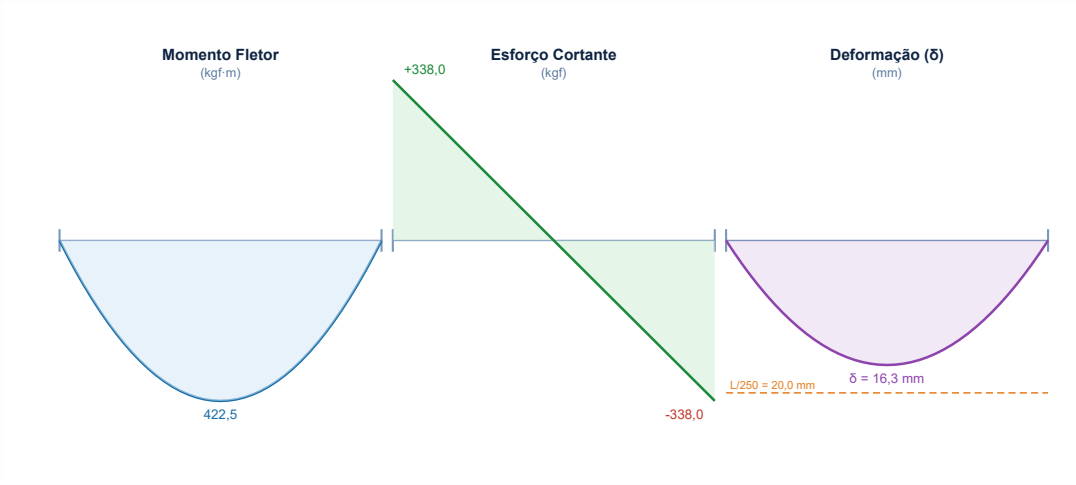
Verificação de compressão/tração

$\lambda = \sqrt{(A \cdot f_y/N_e)}$	0,964	χ = 0,658^λ^2	0,678
A_{ef}	4,285 cm² (87,5% de A)	$N_{cRd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_y/\gamma_c$	6.169 kgf
$N_{tRd} = A \cdot f_y/\gamma_t$	11.347 kgf	**Fator de utilização**	99 %

10. DETALHAMENTO DA TERÇA DE COBERTURA

Dimensionamento da terça conforme **ABNT NBR 14762:2010** — Estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Verifica-se a resistência à flexão (MRd) e ao cisalhamento (VRd), com interação M+V conforme item 6.4.

Perfil adotado	Ue125x50x17x2.25	**Vão máximo calculado**	5,00 m
Carga linear de cálculo (ELU)	135,19 kgf/m	**Travamentos intermediários**	2 (a cada 1,67 m)



Diagramas de Momento Fletor, Esforço Cortante e Deformação da terça (vão máximo).

Esforços internos de cálculo

$M_{sd} = q \cdot L^2/8$	**422,46 kgf·m**	$V_{sd} = q \cdot L/2$	**337,97 kgf**

Resistências de cálculo — NBR 14762:2010

MRd1 — Flambagem local (§9.8.2.1)	487,27 kgf·m	**MRd2 — Flambagem lateral com torção (§9.8.2.2)**	447,40 kgf·m
MRd3 — Flambagem distorcional (§9.8.2.3)	487,27 kgf·m	**MRd = mín(MRd1, MRd2, MRd3)**	**447,40 kgf·m**
VRd	3.629,26 kgf		

Interação M+V — NBR 14762:2010 §6.4

$(M_{sd}/M_{Rd})^2 + (V_{sd}/V_{Rd})^2 = (0{,}944)^2 + (0{,}093)^2 =$ **0,900** $\leq 1{,}0$ **APROVADO**

Utilização — Momento	94 %	**Utilização — Cortante**	9 %
Utilização — Interação M+V	**94 %**		

11. PILARES DO GALPÃO

Os dois pilares de cada pórtico e a treliça de cobertura foram resolvidos **na mesma matriz de rigidez**. Os pilares não são balanços independentes: a treliça amarra os dois topos, e eles repartem a ação do vento na proporção da rigidez de cada um.

Tipologia	Treliçado de dois banzos	**Seção adotada**	—
Altura	6,00 m	**Quantidade no galpão**	14
Largura entre banzos	0,50 m	**Divisões do reticulado**	10

11.1 Comprimentos de flambagem — No plano do pórtico o nó de topo é **móvel** (a estrutura pode tombar de lado), e por isso adota-se K = 2,0; fora do plano o travamento da cobertura impede esse deslocamento e vale K = 1,0. Travar o fuste encurta o trecho, mas não impede o conjunto de tombar — é por isso que o K no plano não muda com o travamento.

Eixo	K	Trecho destravado	Comprimento de flambagem
No plano do pórtico	2,0	6,00 m	**12,00 m**
Fora do plano	1,0	6,00 m	**6,00 m**

11.2 Combinações de cálculo do pilar — o pilar tem jogo próprio de coeficientes, distinto do da cobertura (Tópico 5). O que governa uma treliça de telhado é a sucção; o que governa um pilar de galpão é o vento no fechamento, que a treliça não recebe. As duas últimas colunas separam o vento que age na **cobertura** — sucção ou sobrepressão conforme a combinação — do que age no **fechamento**.

Comb.	Peso próprio	Telhas	Sobrecargas	Vento sucção	Vento sobrepr.	Vento fechamento
ELU 01	1,25	1,25	1,50	0,00	0,84	0,84
ELU 02	1,00	1,00	0,00	1,40	0,00	1,40
ELU 03	1,25	1,25	1,50	0,00	0,00	1,40
ELS 01	1,00	1,00	1,00	0,00	0,30	0,30
ELS 02	1,00	1,00	0,00	0,30	0,00	0,30
ELS 03	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,30

11.3 Esforços no pilar mais solicitado — lado Direito, combinação **ELU 03 · vento da esquerda**. Os dois pilares de um pórtico não recebem o mesmo esforço: o de barlavento leva o vento de frente, e na parede de sotavento o coeficiente é negativo (sucção), de modo que as duas parcelas **somam** no pórtico.

Carga da cobertura no topo	2.911 kgf	**Peso próprio do pilar**	308 kgf
Vento na parede (ELU 03 · vento da esquerda)	140,0 kgf/m	**Normal na base**	-3.930 kgf
Momento máximo	3.456 kgf·m (z = 6,00 m)	**Cortante máximo**	2.740 kgf

Parcela da marquise — o balanço se prende ao pilar na cota **3,60 m** e entrega ali uma força vertical e o momento do braço dela. Os dois já estão somados nos valores acima; aqui aparecem separados.

Força vertical no pilar	743 kgf	**Momento do balanço**	1.301 kgf·m
Empuxo horizontal (vento)	0 kgf	**Cota de fixação**	3,60 m

Vertical negativa significa que a combinação LEVANTA a marquise: num balanço leve sob sucção, ela puxa o pilar para cima. As cargas da marquise (telha, sobrecarga e vento) são as declaradas na tela dela, ponderadas pelas combinações do PILAR — é ao pilar que esta carga chega.

Reações na fundação (por pilar, envoltória das três ELU nos dois sentidos de vento): H = **2.084 kgf** · V = **3.946 kgf** (arrancamento **-4.418 kgf**) · M = **4.208 kgf·m**.

11.4 Elevação do pilar — as barras estão numeradas na mesma ordem da tabela abaixo, e as cotas são as da peça que vai ser fabricada.

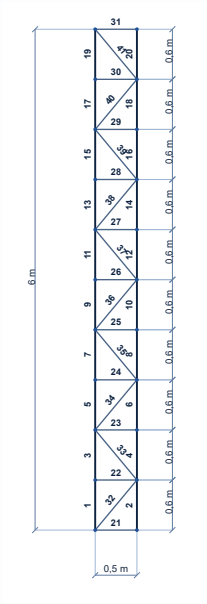


Figura — Elevação do pilar com as barras numeradas e cotadas. A numeração é a da tabela 11.5.

11.5 Esforços barra a barra — envoltória das combinações últimas. Nos **dois** pilares do pórtico: sob vento eles não recebem o mesmo esforço, e a peça é uma só. As duas colunas vêm separadas de propósito: a mesma barra traciona numa combinação e comprime na outra, e uma envoltória de módulo esconderia a inversão.

Nº	Tipo	Perfil	Comp.	Compressão máx.	Comb.	Tração máx.	Comb.
1	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	7.254 kgf	ELU 03	7.911 kgf	ELU 02
2	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	7.254 kgf	ELU 03	7.911 kgf	ELU 02
3	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	7.230 kgf	ELU 03	7.930 kgf	ELU 02
4	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	7.230 kgf	ELU 03	7.930 kgf	ELU 02
5	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	4.384 kgf	ELU 03	4.912 kgf	ELU 02
6	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	4.384 kgf	ELU 03	4.912 kgf	ELU 02
7	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	4.361 kgf	ELU 03	4.931 kgf	ELU 02
8	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	4.361 kgf	ELU 03	4.931 kgf	ELU 02
9	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	2.986 kgf	ELU 03	3.566 kgf	ELU 02
10	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	2.986 kgf	ELU 03	3.566 kgf	ELU 02
11	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	5.170 kgf	ELU 03	6.823 kgf	ELU 02
12	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	5.170 kgf	ELU 03	6.823 kgf	ELU 02
13	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	5.165 kgf	ELU 03	6.827 kgf	ELU 02
14	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	5.165 kgf	ELU 03	6.827 kgf	ELU 02
15	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	6.970 kgf	ELU 03	8.515 kgf	ELU 02
16	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	6.970 kgf	ELU 03	8.515 kgf	ELU 02
17	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	6.965 kgf	ELU 03	8.519 kgf	ELU 02
18	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	6.965 kgf	ELU 03	8.519 kgf	ELU 02
19	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	8.367 kgf	ELU 03	9.502 kgf	ELU 02
20	banzo	U200x50x2,65	0,60 m	8.367 kgf	ELU 03	9.502 kgf	ELU 02

11.5 Esforços barra a barra (continuação)

Nº	Tipo	Perfil	Comp.	Compressão máx.	Comb.	Tração máx.	Comb.
21	montante	U60x30x2,00	0,50 m	0 kgf	—	0 kgf	—
22	montante	U60x30x2,00	0,50 m	147 kgf	ELU 03	84 kgf	ELU 02
23	montante	U60x30x2,00	0,50 m	0 kgf	ELU 03	0 kgf	ELU 02
24	montante	U60x30x2,00	0,50 m	147 kgf	ELU 03	84 kgf	ELU 02
25	montante	U60x30x2,00	0,50 m	0 kgf	ELU 03	0 kgf	ELU 02
26	montante	U60x30x2,00	0,50 m	2.006 kgf	ELU 03	3.422 kgf	ELU 02
27	montante	U60x30x2,00	0,50 m	0 kgf	ELU 02	0 kgf	ELU 03
28	montante	U60x30x2,00	0,50 m	147 kgf	ELU 02	84 kgf	ELU 03
29	montante	U60x30x2,00	0,50 m	0 kgf	ELU 02	0 kgf	ELU 03
30	montante	U60x30x2,00	0,50 m	147 kgf	ELU 03	84 kgf	ELU 02
31	montante	U60x30x2,00	0,50 m	212 kgf	ELU 03	175 kgf	ELU 02
32	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	2.409 kgf	ELU 03	3.140 kgf	ELU 02
33	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	2.910 kgf	ELU 02	2.278 kgf	ELU 03
34	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	2.147 kgf	ELU 03	2.681 kgf	ELU 02
35	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	2.451 kgf	ELU 02	2.016 kgf	ELU 03
36	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	1.884 kgf	ELU 03	2.221 kgf	ELU 02
37	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	6.388 kgf	ELU 02	4.279 kgf	ELU 03
38	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	1.622 kgf	ELU 03	1.762 kgf	ELU 02
39	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	1.533 kgf	ELU 02	1.491 kgf	ELU 03
40	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	1.359 kgf	ELU 03	1.303 kgf	ELU 02
41	diagonal	U60x30x2,00	0,78 m	1.073 kgf	ELU 02	1.228 kgf	ELU 03

11.6 Verificação das peças — ABNT NBR 14762:2010, com o limite de esbeltez de 200 para barra comprimida.

Peça	Perfil	Esforço	λ	Fator uso	Situação
Banzos	U200x50x2,65	8.367 kgf (compressão)	82	**92 %**	APROVADO
Diagonais e montantes	U60x30x2,00	2.910 kgf (compressão)	83	**89 %**	APROVADO

11.7 Deslocamento horizontal do topo (ELS) — critério H/400 (deslocamento horizontal do topo, combinações de serviço).

$\delta = 3{,}5$ mm $\leq$ 15,0 mm — **ATENDE**

12. MARQUISES

A marquise é uma treliça em **balanço** engastada no pilar: a carga desce da cobertura dela para os nós do banzo superior e o balanço entrega tudo ao montante do pilar. É resolvida pelo mesmo solver da treliça de cobertura.

Posição	Ambos os lados	**Forma**	Altura variável (banzo inferior horizontal)
Avanço (balanço)	3,00 m	**Altura no pilar**	3,60 m
Divisões da treliça	4 (nós a cada 0,75 m)	**Cota do apoio no pilar**	3,60 m
Quantidade no galpão	14	**Vão de influência**	5,00 m

12.1 Carregamentos — os mesmos da cobertura do galpão, aplicados à água da marquise.

Telhas e peso próprio	5,0 kgf/m²	**Sobrecarga**	25,0 kgf/m²
Vento — sucção	-70,0 kgf/m²	**Vento — sobrepressão**	0,0 kgf/m²

12.2 Combinações de cálculo da marquise — a marquise é um balanço, e quem a governa não é a mesma combinação que governa a treliça de cobertura: nela o vento de sucção soma com o alívio do peso próprio na ponta. Por isso ela tem jogo próprio de coeficientes.

Comb.	Peso próprio	Telhas	Sobrecargas	Vento sucção	Vento sobrepr.
ELU 01	1,25	1,40	1,50	0,00	0,84
ELU 02	1,25	1,40	1,20	0,00	1,40
ELU 03	1,00	1,00	0,00	1,40	0,00
ELS 01	1,00	1,00	0,70	0,00	0,00
ELS 02	1,00	1,00	0,60	0,00	0,30
ELS 03	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00

12.3 Elevação da marquise — face do pilar à esquerda, balanço avançando para a direita; as barras estão numeradas na mesma ordem da tabela abaixo. A marquise do outro lado é a mesma peça espelhada.

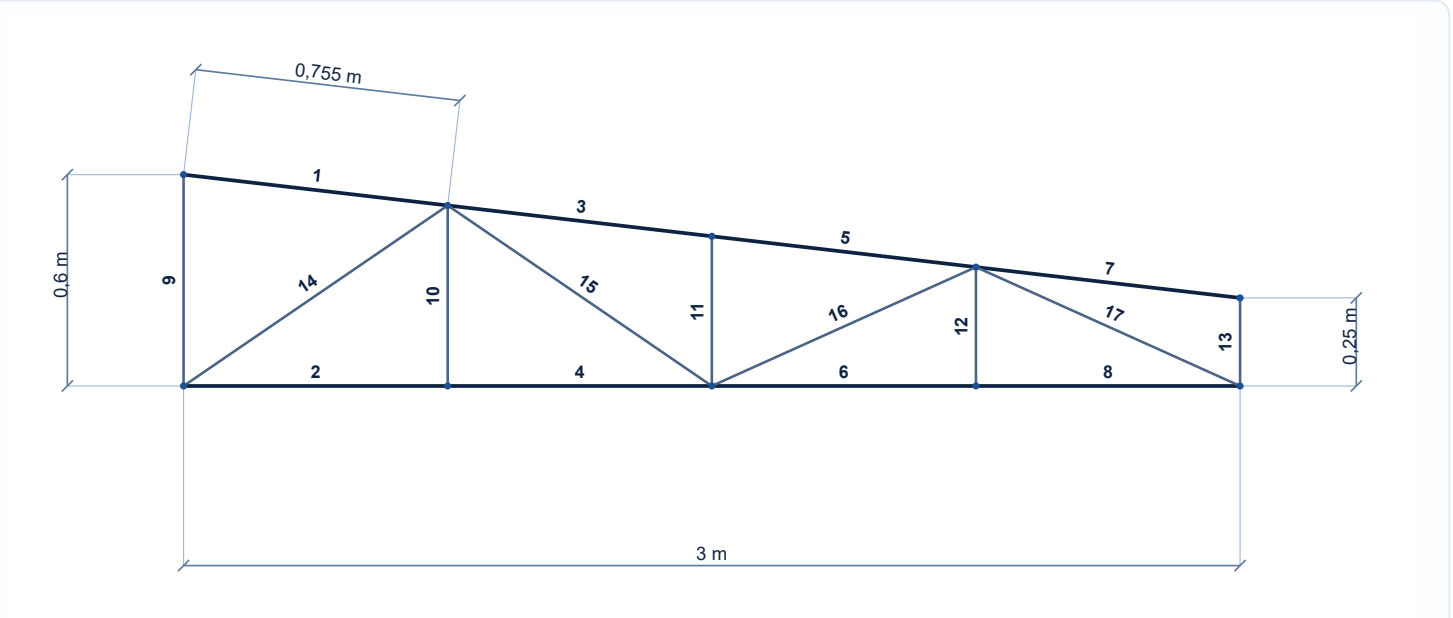


Figura — Elevação da marquise com as barras numeradas e cotadas. A numeração é a da tabela 12.4.

12.4 Esforços barra a barra — envoltória das combinações últimas. Num balanço a sucção **inverte** o sinal dos banzos, e junto ao engaste é onde o esforço é máximo — o oposto de uma treliça biapoiada. As duas colunas vêm separadas de propósito: a mesma barra traciona numa combinação e comprime na outra, e uma envoltória de módulo esconderia a inversão.

Nº	Tipo	Perfil	Comp.	Compressão máx.	Comb.	Tração máx.	Comb.
1	banzo superior	U60x30x2,00	0,76 m	3.211 kgf	ELU 03	1.900 kgf	ELU 01
2	banzo inferior	U60x30x2,00	0,75 m	1.242 kgf	ELU 01	2.198 kgf	ELU 03
3	banzo superior	U60x30x2,00	0,76 m	1.079 kgf	ELU 03	670 kgf	ELU 01
4	banzo inferior	U60x30x2,00	0,75 m	1.242 kgf	ELU 01	2.198 kgf	ELU 03
5	banzo superior	U60x30x2,00	0,76 m	1.122 kgf	ELU 03	670 kgf	ELU 01
6	banzo inferior	U60x30x2,00	0,75 m	210 kgf	ELU 01	371 kgf	ELU 03
7	banzo superior	U60x30x2,00	0,76 m	0 kgf	ELU 02	21 kgf	ELU 03
8	banzo inferior	U60x30x2,00	0,75 m	210 kgf	ELU 01	371 kgf	ELU 03
9	montante	U50x25x1,50	0,60 m	0 kgf	—	0 kgf	—
10	montante	U50x25x1,50	0,51 m	0 kgf	ELU 02	0 kgf	—
11	montante	U50x25x1,50	0,42 m	189 kgf	ELU 01	334 kgf	ELU 03
12	montante	U50x25x1,50	0,34 m	0 kgf	ELU 03	0 kgf	ELU 01
13	montante	U50x25x1,50	0,25 m	94 kgf	ELU 01	167 kgf	ELU 03
14	diagonal	U50x25x1,50	0,91 m	780 kgf	ELU 01	1.381 kgf	ELU 03
15	diagonal	U50x25x1,50	0,91 m	1.235 kgf	ELU 03	698 kgf	ELU 01
16	diagonal	U50x25x1,50	0,82 m	500 kgf	ELU 01	885 kgf	ELU 03
17	diagonal	U50x25x1,50	0,82 m	407 kgf	ELU 03	230 kgf	ELU 01

12.5 Verificação das peças — ABNT NBR 14762:2010. As terças da marquise assentam nos nós do banzo superior, onde a treliça tem nó e o banzo não é fletido.

Peça	Perfil	Esforço	λ	Fator uso	Situação
Banzos	U60x30x2,00	3.113 kgf (compressão)	80	**94 %**	APROVADO
Diagonais e montantes	U50x25x1,50	1.200 kgf (compressão)	116	**80 %**	APROVADO
Terça	Ue100x50x17x1.50	210 kgf·m	—	**90 %**	APROVADO

12.6 Flecha na ponta do balanço (ELS) — critério 2·A/250 (balanço: o dobro do avanço vale como vão equivalente); a flecha soma a própria da treliça e a rotação do pilar na fixação vezes o avanço.

δ = 9,4 mm ≤ 24,0 mm	**ATENDE**

Os resultados devem ser conferidos e validados por profissional habilitado.