



MEMORIAL DE CÁLCULO

Construção da UBS Valadares

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA – MG

Projeto Estruturas Metálicas

MAIO

2026

	MEMORIAL DESCRITIVO		ARQUIVO: CAL-ESTM-PE-JF691-VLDR-042026-R01				
	CONTRATANTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA						REV. 01
	PROGRAMA: UBS VALADARES						Pág:02/41
ÍNDICE DE REVISÕES							
REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS						
00	EMISSÃO INICIAL						
01	REVISÃO						
	REV.00	REV.01	REV.02	REV.03	REV.04	REV.05	REV.06
DATA	04/2026	05/2026					
EXECUÇÃO	LO	LO					
VERIFICAÇÃO	LS	LS					
APROVAÇÃO	SL	SL					

Sumário

1	APRESENTAÇÃO	6
2	IMPLANTAÇÃO	7
3	NORMAS.....	8
4	DIMENSIONAMENTO	9
5	ESTRUTURAS	10
5.1	COBERTURA 01	10
5.2	COBERTURA 02	24
6	CONSIDERAÇÃO FINAL DO PROJETO DE ESTRUTURAS METÁLICAS	41

Índice de Figura

<i>Figura 1 – Modelo analítico – Cobertura 01</i>	10
<i>Figura 2 - Deformada devido ao peso próprio, carga permanente, sobrecarga e vento V1</i>	11
<i>Figura 3 - Deformada devido ao peso próprio, carga permanente, sobrecarga e vento V2</i>	12
<i>Figura 4 - Envoltória de esforços axiais</i>	13
<i>Figura 5 - Envoltória de esforços cortantes</i>	13
<i>Figura 6 - Envoltória de esforços cortantes</i>	14
<i>Figura 7 - Envoltória de momento</i>	14
<i>Figura 8 - Envoltória de momento</i>	15
<i>Figura 9 - Tensão de aproveitamento</i>	15
<i>Figura 10 - Verificação das colunas</i>	16
<i>Figura 11 - Verificação ABNT</i>	17
<i>Figura 12 - Verificação das vigas</i>	17
<i>Figura 13 - Verificação ABNT</i>	17
<i>Figura 14 - Verificação das terças</i>	18
<i>Figura 15 - Verificação ABNT</i>	18
<i>Figura 16 – Reações de apoio</i>	19
<i>Figura 17 – Reações de apoio</i>	20
<i>Figura 18 – Placa de bases</i>	21
<i>Figura 19 – Verificação da Placa de bases</i>	21
<i>Figura 20 – Verificação da Placa de bases</i>	22
<i>Figura 21 – Verificação da Placa de bases</i>	23
<i>Figura 22 – Modelo analítico – Cobertura 02</i>	24
<i>Figura 23 - Deformada devido ao peso próprio, carga permanente, sobrecarga e vento V1</i>	25
<i>Figura 24 - Deformada devido ao peso próprio, carga permanente, sobrecarga e vento V2</i>	26
<i>Figura 25 - Envoltória de esforços axiais</i>	27
<i>Figura 26 - Envoltória de esforços cortantes</i>	27
<i>Figura 27 - Envoltória de esforços cortantes</i>	28
<i>Figura 28 - Envoltória de momento</i>	28
<i>Figura 29 - Envoltória de momento</i>	29
<i>Figura 30 - Tensão de aproveitamento</i>	29
<i>Figura 31 - Verificação das colunas</i>	30
<i>Figura 32 - Verificação ABNT</i>	30
<i>Figura 33 - Verificação das vigas</i>	31
<i>Figura 34 - Verificação ABNT</i>	31
<i>Figura 35 - Verificação das terças</i>	32
<i>Figura 36 - Verificação ABNT</i>	32

Figura 37 – Reações de apoio	33
Figura 38 – Reações de apoio	34
Figura 39 – Reações de apoio	35
Figura 40 – Reações de apoio	36
Figura 41 – Reações de apoio	37
Figura 42 – Placa de bases.....	38
Figura 43 – Verificação da Placa de bases.....	38
Figura 44 – Verificação da Placa de bases.....	39
Figura 45 – Verificação da Placa de bases.....	40

Índice de Tabela

Tabela 1 - Material utilizado	11
Tabela 2 - Material utilizado	25

1 APRESENTAÇÃO

O presente Memorial de Cálculo apresenta, de forma detalhada, os procedimentos e critérios adotados para o dimensionamento das estruturas metálicas destinadas à construção da UBS Valadares, localizada no Município de Juiz de Fora/MG.

2 IMPLANTAÇÃO

O projeto contempla 02 (duas) estruturas metálicas destinadas à cobertura da edificação. A proposta contempla a adequação da infraestrutura às normativas técnicas pertinentes, garantindo segurança, acessibilidade e durabilidade do conjunto, considerando também os critérios de conforto térmico e resistência a ações ambientais.

3 NORMAS

- NBR-8800/2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- NBR-6123/2023 – Força do vento em edificações;
- NBR-6120/2019 – Cargas para cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 14762/2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio

4 DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento dos elementos estruturais foi utilizado o software MCALC 3D. As estruturas metálicas da edificação correspondem a duas coberturas metálicas distintas entre elas;

- COBERTURA 01
 - ✓ Área total= 16,943 m²
- COBERTURA 02
 - ✓ Área total= 222,310 m²

5 ESTRUTURAS

5.1 COBERTURA 01

5.1.1 CARREGAMENTOS

As cargas consideradas foram as seguintes conforme a NBR 6120/2019 e a NBR 6123/2023:

Carregamentos considerados:

As cargas consideradas foram as seguintes conforme a NBR 6120/2026:

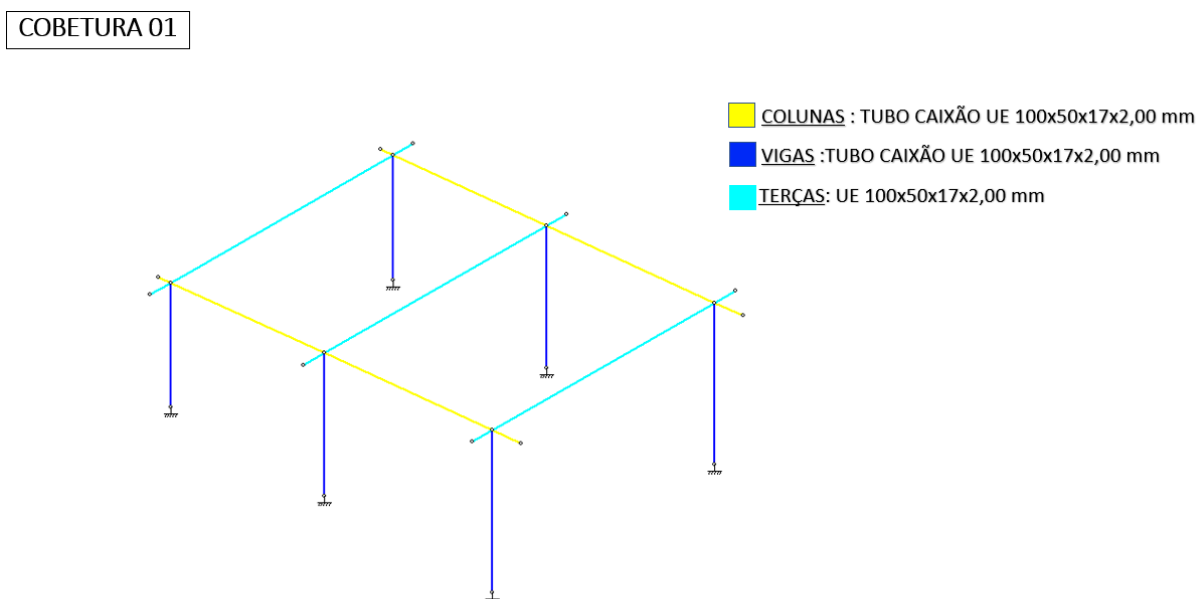
- Peso próprio do perfil: Automaticamente via software MCALC 3D
- Carga Permanente (telha): 0,12 kN
- Sobrecarga Normativa: 0,25 kN/m²;
- Carga de Vento: V1: 0,50 kN./m² (Sucção)

V2: -0,15 kN./m² (Sobre pressão)

V3: -0,30 kN./m² (Sucção)

5.1.2 GEOMETRIA

Figura 1 – Modelo analítico – Cobertura 01



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os materiais utilizados são:

Tabela 1 - Material utilizado

Aço	Peso específico	Modulo de elasticidade	Tensão de escoamento (Mpa)	Tensão de ruptura (Mpa)
	(Kg/m³)	(Gpa)	fy	fu
ASTM A36	7850	200	250	400

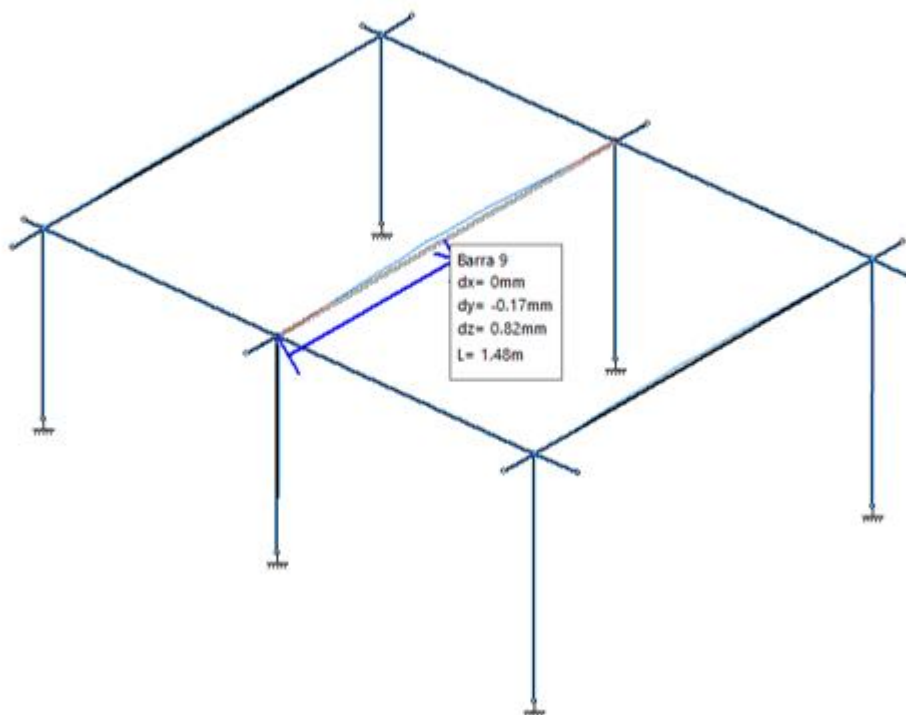
Fonte: VIAVOZ, 2026

5.1.4 DEFORMADAS

Deformada devido o Peso próprio (PP) + cargas permanentes (CP) + sobrecarga (SC):

Figura 2 - Deformada devido ao peso próprio, carga permanente, sobrecarga e vento V1

Combinação 1
 $\text{Peso-Próprio}(1.25 \ 1 \ 1) + \text{CP}(1.4 \ 1 \ 1) + \text{SC}(1.5 \ 1 \ 1) + \text{VX} + (1.4 \ 0.6 \ 1)$

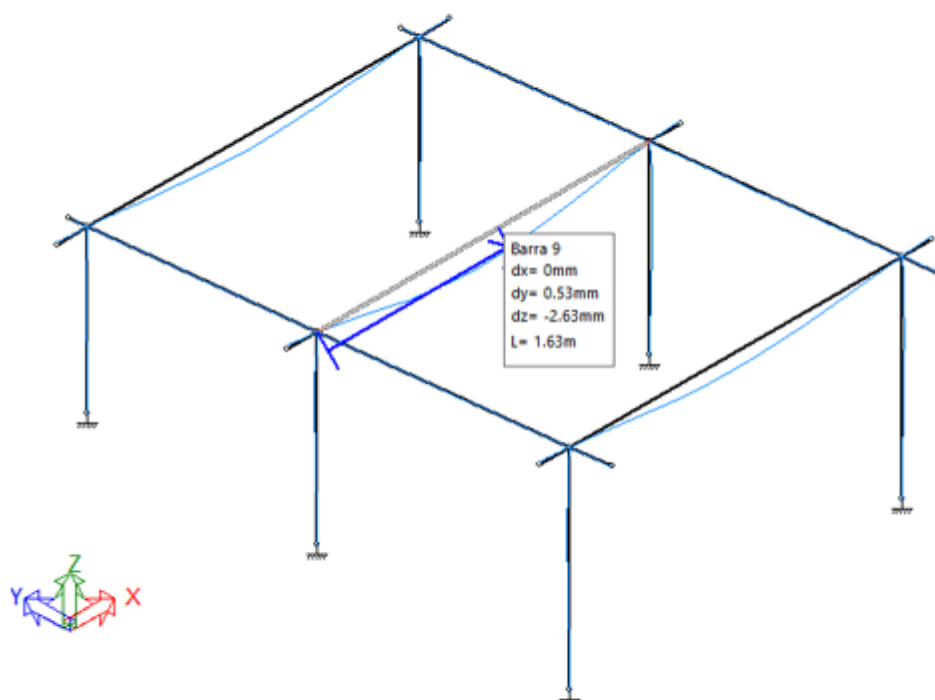


Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 3 - Deformada devido ao peso próprio, carga permanente, sobrecarga e vento V2

Combinação 2

Peso-Próprio(1.25 1 1)+CP(1.4 1 1)+SC(1.5 1 1)+VX-(1.4 0.6 1)

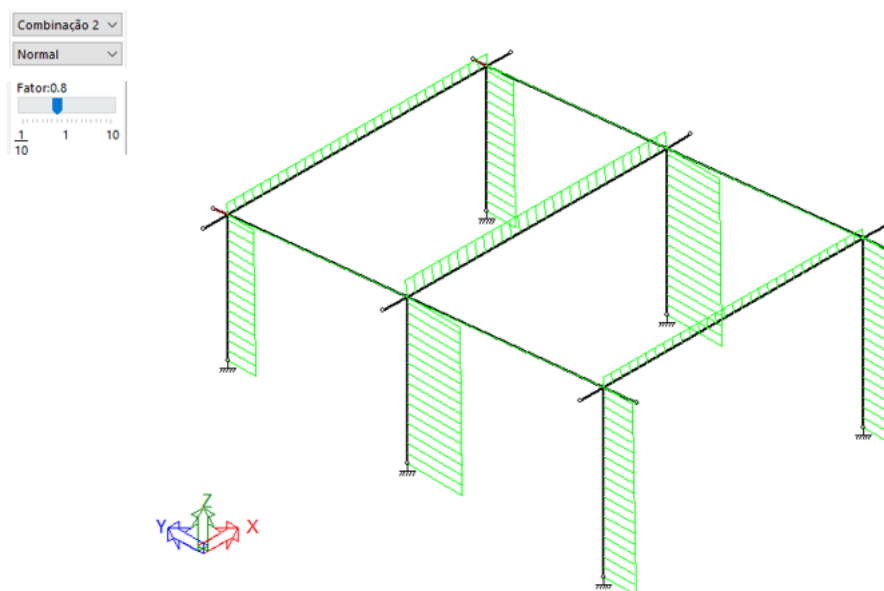


Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.1.5 ESFORÇOS

Envoltória de esforços axiais.

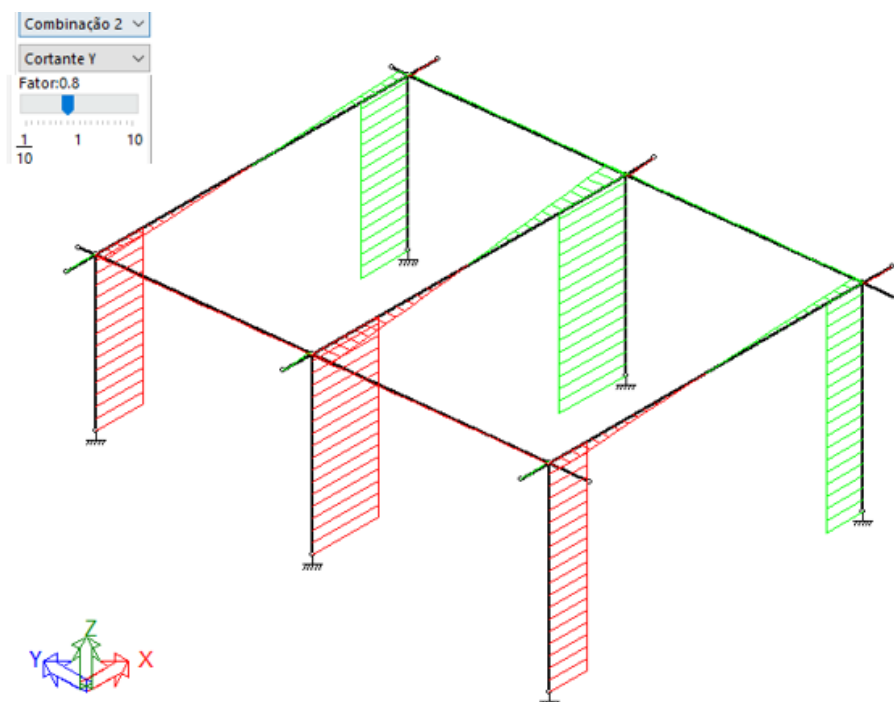
Figura 4 - Envoltória de esforços axiais



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Envoltória de esforços cortantes (Y).

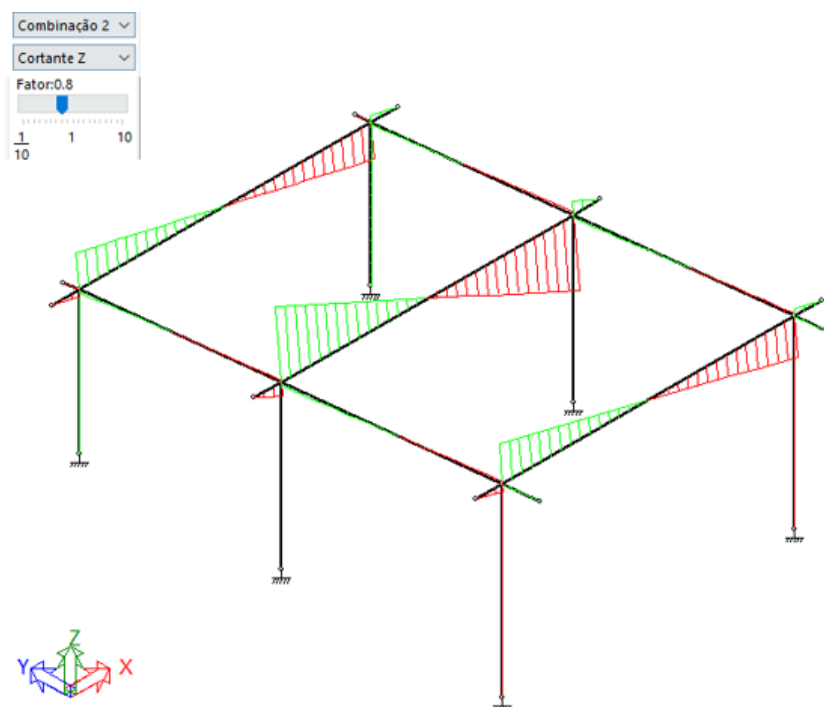
Figura 5 - Envoltória de esforços cortantes



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Envoltória de esforços cortantes (Z).

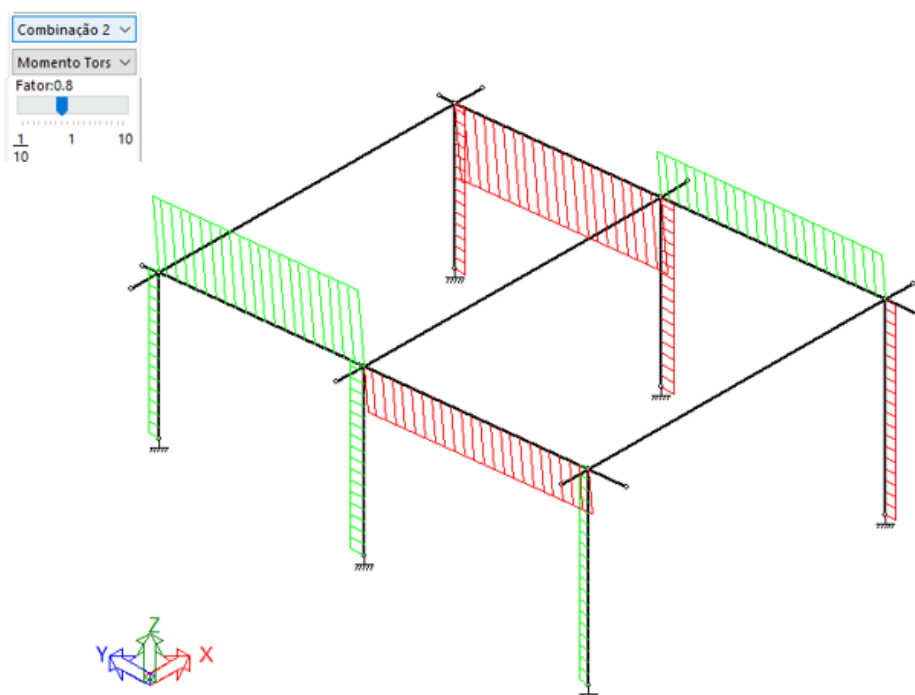
Figura 6 - Envoltória de esforços cortantes



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Envoltória do momento torsor.

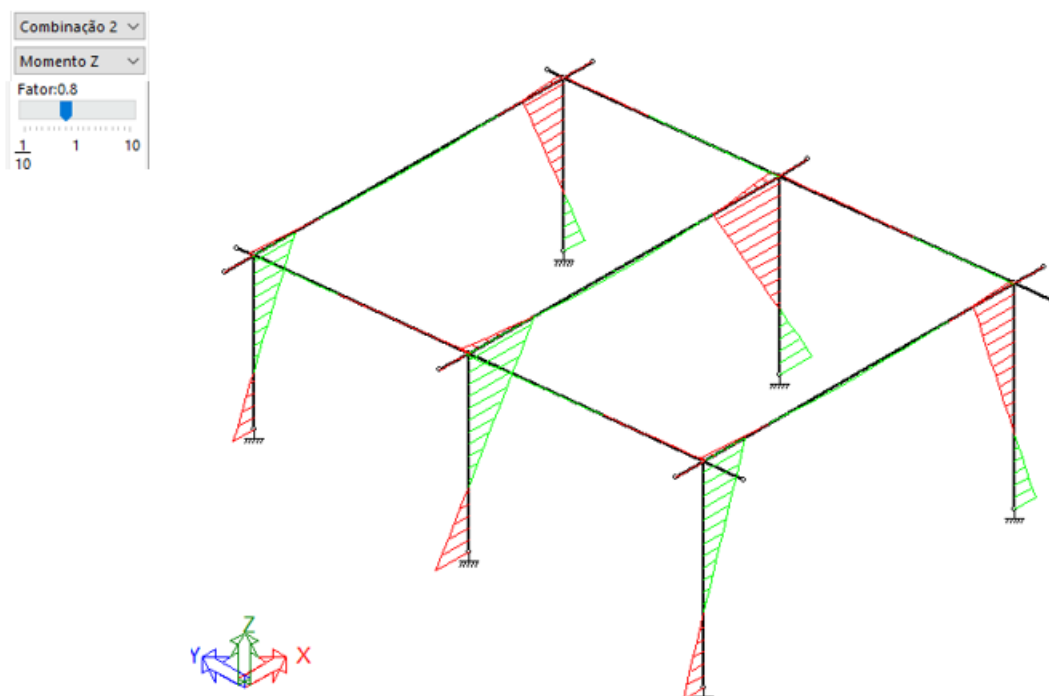
Figura 7 - Envoltória de momento



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Envoltória do momento fletor. (Z)

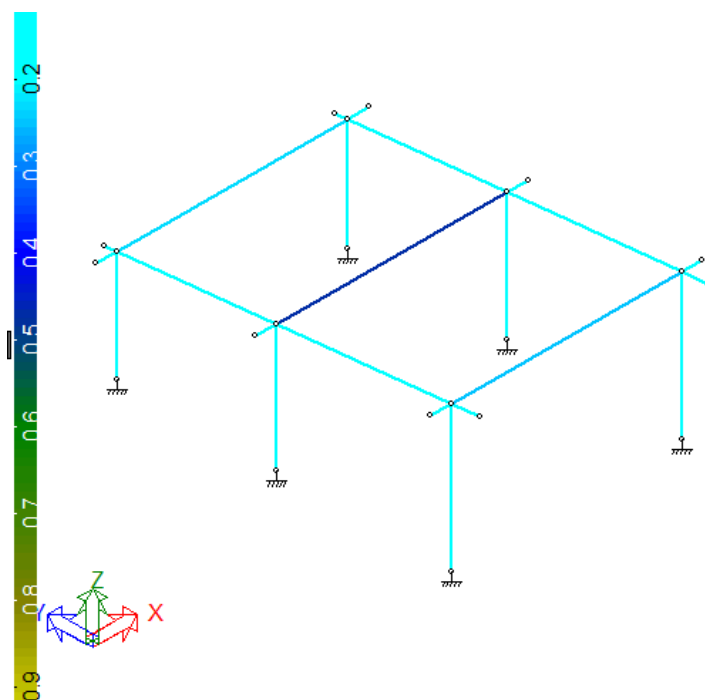
Figura 8 - Envoltória de momento



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Tensão de aproveitamento

Figura 9 - Tensão de aproveitamento



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.1.6 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS

Este tópico tem por objetivo apresentar os principais elementos estruturais que compõem o projeto, descrevendo suas funções e características. Para efeito de cálculo e verificação estrutural, serão destacados e demonstrados os dimensionamentos das peças mais solicitadas. O dimensionamento foi realizado conforme os critérios estabelecidos na norma ABNT NBR 14762/2010 – “Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”, garantindo segurança, desempenho e atendimento aos requisitos normativos aplicáveis ao tipo de material e sistema adotado.

5.1.6.1 COLUNAS

As colunas são elementos estruturais verticais que desempenham um papel fundamental na transmissão de esforços de uma estrutura para as fundações. Elas transferem principalmente esforços axiais, mas também podem estar sujeitas a esforços cortantes e momentos fletores.

Verificação da barra mais solicitada do conjunto estrutural.

Figura 10 - Verificação das colunas

Perfil: Caixa (F.F.)

Dimensões:

- b_w : 100 mm
- b_f : 50 mm
- D : 17 mm
- t : 2 mm

Solicitações de Cálculo (kN e m):

- $N_{c,sd}$: 3.03
- $V_{y,sd}$: 0.76
- $M_{y,sd}$: 0.00
- C_b : 2.17
- $N_{t,sd}$: 0
- $V_{z,sd}$: 0
- $M_{z,sd}$: 0.84
- C_m : 0.51

Comprimentos da Barra (m):

- L_t : 1.66
- L_z : 1.66
- λ_y : 41.76
- L_y : 1.66
- L_b : 1.66
- λ_z : 44.43

Resistências de Cálculo:

- $N_{c,Rd}$: 149.48
- Sd/Rd : 0.02
- $V_{y,Rd}$: 50.18
- Sd/Rd : 0.015
- $N_{t,Rd}$: 198.18
- Sd/Rd : 0
- $V_{z,Rd}$: 50.18
- Sd/Rd : 0
- $M_{y,Rd}$: 5.83
- Sd/Rd : 0
- $M_{z,Rd}$: 5.1
- Sd/Rd : 0.164

Equações de Verificação:

$$\frac{N_{c,sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} = 0.185$$

$$\frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{t,sd}}{N_{t,Rd}} = 0.164$$

Perfis Favoritos:

b_w	b_f	D	t
120	50	30	2.65
150	70	30	3
200	100	35	3.35
100	50	17	2.0

Fonte: MCalc 3D – 2026.a.

Figura 11 - Verificação ABNT

Barra		Normal	Cortante Y	Cortante Z	Momento X	Momento Y	Momento Z	Eq. Int. Max.	Comp.	Dimensionamento
1	Sol.	3.03	0.76	0	1.49E-3	-1.47E-3	0.84	0.18	1.66	CA 100 x 50 x 17 x 2
	Res.	149.5	50.18	50.18	---	5.83	5.22			
	Sd/Rd	0.02	0.02	0	---	0	0.16			

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.1.6.2 VIGAS

As vigas em questão servem de apoio para as terças, dão a inclinação para o telhado, e têm papel fundamental no comportamento estrutural do sistema. Esses elementos lineares, são os principais responsáveis pela absorção dos esforços axiais oriundos das solicitações globais da estrutura e por garantir a rigidez dos pórticos.

Figura 12 - Verificação das vigas

Perfil Caixa (F.F.)

Dimensões

b_w 100 mm
 b_f 50 mm
 D 17 mm
 t 2 mm

CA 100 x 50 x 17 x 2

Solicitações de Cálculo (kN e m)

$N_{c,sd}$ 0.03 $V_{y,sd}$ -0.02 $M_{y,sd}$ -0.04 C_b 1.07
 $N_{t,sd}$ 0 $V_{z,sd}$ -0.1 $M_{z,sd}$ -0.02 C_m 0.82

Comprimentos da Barra (m)

L_t 2.29 L_z 2.29 λ_y 57.61 L_b 2.29 λ_z 61.29

Resistências de Cálculo

$N_{c,Rd}$ 139.33 $Sd/Rd = 0$ $V_{y,Rd}$ 50.18 $Sd/Rd = 0$
 $N_{t,Rd}$ 198.18 $Sd/Rd = 0$ $V_{z,Rd}$ 50.18 $Sd/Rd = 0$
 $M_{y,Rd}$ 5.83 $Sd/Rd = 0.006$ $M_{z,Rd}$ 5.1 $Sd/Rd = 0$

$$\frac{N_{c,sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} = 0.011$$

$$\frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{t,sd}}{N_{t,Rd}} = 0.01$$

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 13 - Verificação ABNT

Barra		Normal	Cortante Y	Cortante Z	Momento X	Momento Y	Momento Z	Eq. Int. Max.	Comp.	Dimensionamento
18	Sol.	0.03	-0.02	-0.1	0	-0.04	-0.02	0.01	2.29	CA 100 x 50 x 17 x 2
	Res.	139.4	50.18	50.18	---	5.83	5.22			
	Sd/Rd	0	0	0.00	---	0.01	0.00			

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.1.6.3 TERÇAS

As terças de cobertura são elementos secundários essenciais para garantir a distribuição das cargas da telha e sua transferência segura para a estrutura principal. Devem ser dimensionadas principalmente à flexão, mas também precisam resistir à compressão e torção lateral, especialmente em regiões com vento ou grandes vãos.

Figura 14 - Verificação das terças

Perfil U Engricado (F.F.)

Dimensões

b_w 100 mm
 b_f 50 mm
 D 17 mm
 t 2 mm

Solicitações de Cálculo (kN e m)

$N_{o,Sd}$ 0.75 $V_{y,Sd}$ 0.23 $M_{y,Sd}$ 1 C_b 1.82
 $N_{t,Sd}$ 0 $V_{z,Sd}$ 2.26 $M_{z,Sd}$ -0.11 C_m 0.64

Comprimentos da Barra (m)

L_t 3 L_z 3 λ_y 75.48 L_b 3 λ_z 159.28

Resistências de Cálculo

$N_{c,Rd}$ 22.99 $Sd/Rd = 0.033$ $V_{y,Rd}$ 22.91 $Sd/Rd = 0.01$
 $N_{t,Rd}$ 99.09 $Sd/Rd = 0$ $V_{z,Rd}$ 25.09 $Sd/Rd = 0.09$
 $M_{y,Rd}$ 2.6 $Sd/Rd = 0.383$ $M_{z,Rd}$ 1.98 $Sd/Rd = 0.057$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.473$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.44$$

UENR 100 x 50 x 17 x 2

Perfis Favoritos:

b_w	b_f	D	t
100	40	17	3
100	40	17	3.35
100	50	17	1.2
100	50	17	1.5
100	50	17	2

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 15 - Verificação ABNT

Barra		Norm al	Cortant e Y	Cortant e Z	Moment o X	Moment o Y	Moment o Z	Eq. Max.	Int. p.	Com p.	Dimensionamento
9	Sol.	0.75	0.23	2.26	0	1	-0.11	0.47		3	UENR 100 x 50 x 17 x 2
	Res.	22.99	22.91	25.09	---	2.6	1.98				
	Sd/ Rd	0.03	0.01	0.09	---	0.38	0.06				

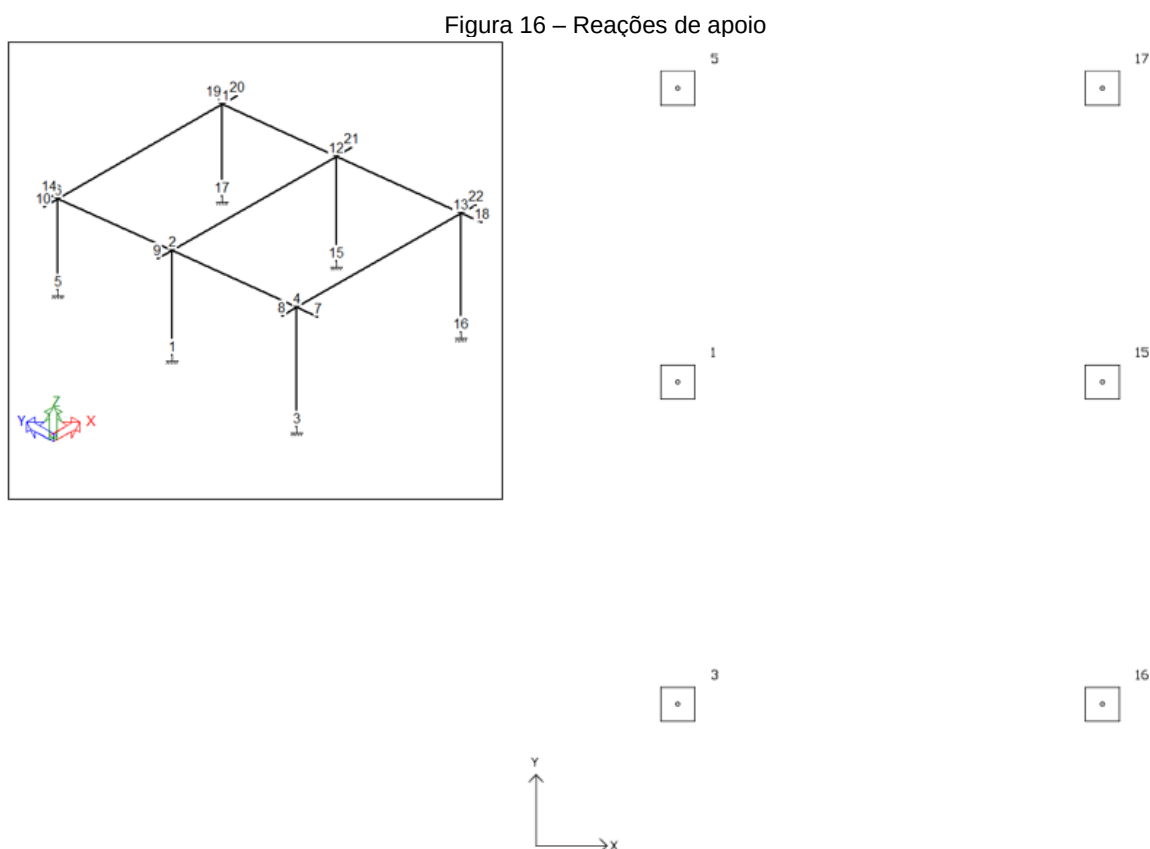
Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.1.7 REAÇÕES DE APOIO

As reações de apoio foram determinadas a partir da análise estrutural do modelo de cálculo, considerando as combinações de ações previstas para os Estados Limites Últimos e de Serviço.

A partir da análise estrutural, obtiveram-se as reações verticais, horizontais e momentos nos pontos de apoio, os quais foram utilizados para o dimensionamento das chapas de base, elementos de ancoragem e verificação da capacidade resistente dos apoios em concreto.

A seguir são apresentadas as reações de apoio sem ponderações:



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 17 – Reações de apoio

Reações Nodais das Combinações - Lineares (não ponderadas) [kN-m]

Combinação 1						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	0.06	-3.02E-4	0.49	0	0.03	1.22E-3
3	0.04	0.01	0.37	-8.25E-3	0.02	0
5	0.05	-0.01	0.31	4.93E-3	0.03	0
15	-0.06	-2.96E-4	0.49	0	-0.03	-1.22E-3
16	-0.04	0.01	0.37	-8.24E-3	-0.02	0
17	-0.05	-0.01	0.31	4.93E-3	-0.03	0

Combinação 2						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	0.52	3.79E-5	2.11	-1.08E-3	0.28	9.5E-3
3	0.28	0.01	1.22	-9.14E-3	0.18	6.77E-3
5	0.37	-0.01	1.08	5.51E-3	0.18	7.11E-3
15	-0.52	1.19E-5	2.1	-1.05E-3	-0.28	-9.5E-3
16	-0.28	0.01	1.21	-9.12E-3	-0.18	-6.79E-3
17	-0.37	-0.01	1.08	5.54E-3	-0.18	-7.08E-3

Combinação 3						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	0.22	-1.81E-4	1.07	0	0.12	4.18E-3
3	0.13	0.01	0.67	-8.57E-3	0.08	2.97E-3
5	0.17	-0.01	0.58	5.13E-3	0.08	3.13E-3
15	-0.22	-1.86E-4	1.06	0	-0.12	-4.18E-3
16	-0.13	0.01	0.67	-8.56E-3	-0.08	-2.97E-3
17	-0.17	-0.01	0.58	5.15E-3	-0.08	-3.11E-3

Combinação 4						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	-0.23	-5.21E-4	-0.55	0	-0.13	-4.1E-3
3	-0.12	0.01	-0.18	-7.67E-3	-0.07	-2.95E-3
5	-0.15	-0.01	-0.19	4.55E-3	-0.07	-3.07E-3
15	0.23	-4.94E-4	-0.54	0	0.13	4.1E-3
16	0.12	0.01	-0.17	-7.68E-3	0.07	2.96E-3
17	0.15	-0.01	-0.19	4.54E-3	0.07	3.06E-3

Combinação 5						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	0.53	4.6E-5	2.14	-1.09E-3	0.29	9.7E-3
3	0.29	0.01	1.24	-9.17E-3	0.18	6.92E-3
5	0.38	-0.01	1.1	5.52E-3	0.18	7.26E-3
15	-0.53	1.93E-5	2.13	-1.06E-3	-0.29	-9.7E-3
16	-0.29	0.01	1.23	-9.14E-3	-0.18	-6.93E-3
17	-0.38	-0.01	1.1	5.55E-3	-0.18	-7.23E-3

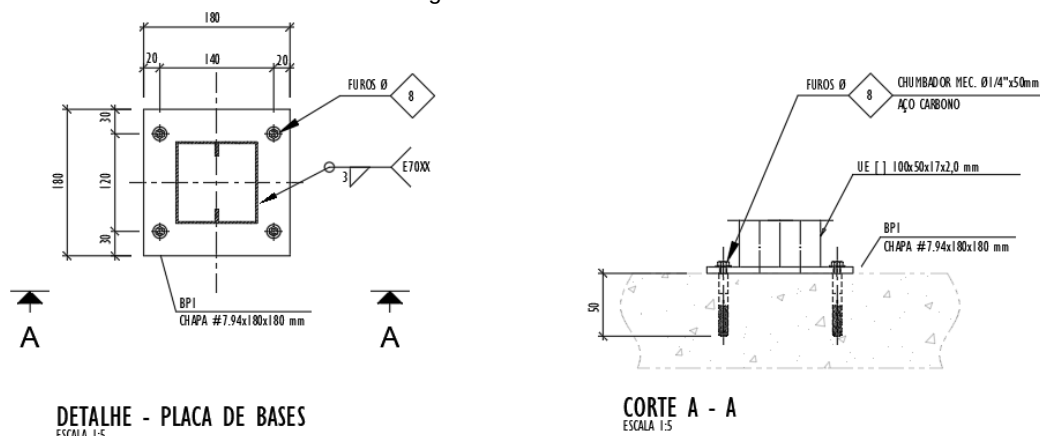
Combinação 6						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	0.04	-3.18E-4	0.42	0	0.02	0
3	0.03	0.01	0.33	-8.2E-3	0.02	0
5	0.04	-0.01	0.27	4.9E-3	0.02	0
15	-0.04	-3.11E-4	0.41	0	-0.02	0
16	-0.03	0.01	0.33	-8.2E-3	-0.02	0
17	-0.04	-0.01	0.27	4.9E-3	-0.02	0

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.1.8 PLACA DE BASES

O dimensionamento considerou as reações obtidas na análise estrutural, incluindo esforços de compressão axial e tração, momentos fletores e forças cortantes atuantes na base do pilar, conforme combinações de carregamento previstas na NBR 8800.

Figura 18 – Placa de bases



Fonte: VIAVOZ, 2026.

O dimensionamento da placa de base foi realizado com o auxílio do software mCALC Lig.

Figura 19 – Verificação da Placa de bases

Figura 19 é uma captura de tela do software mCALC Lig, mostrando a interface para a verificação da placa de base. A interface é dividida em várias seções:

- Borda:** Opções para o tipo de borda: Cortada com serra ou tesoura (selecionada), Laminada, ou lisa sem entalhes cortada a maçarico.
- Tipo de apoio:** Opções para o tipo de apoio: Com força normal de compressão, Com força normal de tração (selecionada).
- Pilar:** Campos para as dimensões do pilar: d (100 mm), b (50 mm), c (17 mm), t (2 mm). O material é CA 100 x 50 x 17 x 2.
- Chumbadores:** Opções para o tipo de chumbador: Com gancho, Com haste reta (selecionada). Campos para o número de chumbadores (n = 4) e o diâmetro (φ = 6.35 mm). Campos para o comprimento (lb) em NBR (77 mm) e AISI (77 mm). Campos para a resistência à tração (fy = 240 MPa, fu = 400 MPa).
- Adesão:** Opções para a adesão: Boa (η2 = 1.0, selecionada), Má (η2 = 0.7). Opção para Chumbadores internos.
- Relação Homotética: Placa x Concreto:** Campos para as dimensões da placa base (Hc = 380 mm, Bc = 380 mm) e do concreto (H = 180 mm, B = 180 mm).
- Solicitações de cálculo:** Campos para as solicitações: Nsd (3 kN), Vsd (1 kN), Msd (1 kN.m).
- Placa de base:** Campos para as dimensões da placa: H (180 mm), B (180 mm), tp (7.94 mm).
- Características da solda na ligação placa de base com:** Campos para a resistência à tração (fw = 485 MPa) e o tipo de solda (7 ou E 70XX).
- Filete de solda:** Campo para o comprimento do filete (bwv = 7.94 mm).
- Resistência do concreto:** Campo para a resistência à compressão (fck = 20 MPa).
- Recorte:** Campo para o recorte (R = 15 mm).

Na parte inferior esquerda, há uma tabela com os dados dos elementos:

Elemento	Tipo	fy(MPa)	fu(MPa)
Pilar	ASTM A36	250	400
Placa de base	ASTM A36	250	400

Abaixo da tabela, há um botão 'Selecionar aço'.

Fonte: VIAVOZ, 2026.

Figura 20 – Verificação da Placa de bases

2. Resistência do concreto

$A_1 = 32400 \text{ mm}^2$ É a área carregada sob a placa de apoio.
 $A_2 = 144400 \text{ mm}^2$ É a área da superfície de concreto.

$$\frac{R_{Rknc}}{\gamma} = \frac{0,70 \cdot f_{ck} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}}{1,40 \cdot 1,40} \leq f_{ck} = 0,015 \text{ kN/mm}^2$$

3. Verificação das dimensões da placa de base

$$f_c = \frac{N_{sd}}{H \cdot B} = 0 \text{ kN/mm}^2 \quad \text{Pressão na placa de base.}$$

$$f_c \leq \frac{R_{Rknc}}{\gamma} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_c}{R_{Rknc}/\gamma} = 0,006 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

4. Propriedades do concreto e relações aço concreto

$$\frac{R_{Rknc}}{\gamma} = \frac{0,7 \cdot f_{dk} \cdot \sqrt{2}}{1,35} \leq 0,7 \cdot (1,4 \cdot f_{ck}) = 0,015 \text{ kN/mm}^2 \quad \text{Resistência de cálculo do concreto}$$

$$\eta = \frac{E}{E_c} = 9,292 \quad \text{Fator de homogeneização.}$$

5. Avaliação da compressão na placa de base

$Z = -69,667 \text{ mm}$ Parâmetro para avaliação da compressão na placa de base.

$Z \leq 0$ Não há compressão no concreto.

6. Verificação dos chumbadores

$V_o = 0,25 \text{ kN}$ Esforço de corte nos chumbadores.
 $T_o = 0,754 \text{ kN}$ Esforço de tração em cada chumbador.

6.1. Resistência de cálculo à tração dos chumbadores

$$F_{Rdt} = \frac{0,75 \cdot A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} = 7,038 \text{ kN}$$

$$F_{Rdt} \geq T_o \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{T_o}{F_{Rdt}} = 0,107 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

6.2. Resistência de cálculo ao cisalhamento

$$F_{Rds} = \frac{0,40 \cdot A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} = 3,753 \text{ kN}$$

$$F_{Rds} \geq V_o \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_o}{F_{Rds}} = 0,067 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

6.3. Interação tração + cisalhamento

$$\frac{A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} - 1,90 \cdot F_{Sdv} = 8,908 \text{ kN}$$

$$F_{Sdt} \leq \frac{A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} - 1,90 \cdot F_{Sdv} \quad \text{OK!}$$

Fonte: MCALC LIG, 2026.

Figura 21 – Verificação da Placa de bases

7.Cálculo do comprimento mínimo de ancoragem dos chumbadores de acordo com AISC - LRFD

$f_{ck} = 0.02 \text{ kN/mm}^2$ Resistência característica do concreto.
 $f_{yd} = 0.209 \text{ kN/mm}^2$ Resistência do chumbador à tração.

$d_{ch} = 6.35 \text{ mm}$ Diâmetro do chumbador
 $X = 31.75 \text{ mm}$ Distância mínima entre chumbadores

$$L_{c \min} = 12 \cdot d_{ch} = 76.2 \text{ mm} \quad \text{Comprimento mínimo de ancoragem}$$

7.1.Comprimento mínimo considerando o cone de arrancamento isolado

$$A_{cone} = 685.065 \text{ mm}^2$$

$$L_c = \sqrt{\frac{A_{cone}}{\pi}} = 14.767 \text{ mm}$$

$$L_{cadotado} = 50 \text{ mm}$$

7.2.Comprimento mínimo considerando o cone de arrancamento com sobreposição

$$A_{cone} = 5487.4 \text{ mm}^2$$

$$R_{cone} = 0.055 \cdot A_{cone} \cdot f_{ck} = 6.036 \text{ kN} \quad \text{Resistência do cone ao arrancamento}$$

$$R_{cone} \geq T_0 \quad \text{OK!}$$

8.Verificação da placa de base

$t_p = 7.94 \text{ mm}$ Espessura da placa de base.

$$t_{p \min} = \sqrt{\frac{16 \cdot M_p}{3 \cdot L \cdot f_y}} = 2.699 \text{ mm} \quad \text{Espessura mínima em função da tração máxima no chumbador.}$$

$$t_p \geq t_{p \min} \quad \text{OK!}$$

9.Verificação das soldas do perfil com a placa de base

$A = 60 \text{ cm}^2/\text{cm}$ Área dos filetes de solda.
 $W = 233.333 \text{ cm}^3/\text{cm}$ Módulo elástico dos filetes de solda.

$$f_b = \frac{M_{sd}}{W} = 0 \text{ kN/mm} \quad \text{Solicitação devido à flexão}$$

$$f_v = \frac{V_{sd}}{A} = 0.002 \text{ kN/mm} \quad \text{Solicitação devido ao cortante}$$

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + 3 \cdot f_v^2} = 0.003 \text{ kN/mm} \quad \text{Solicitação resultante na solda}$$

$$f_{MB} = \frac{0.6 \cdot b_w \cdot f_y}{1.10} = 1.083 \text{ kN/mm} \quad \text{Resistência de cálculo do metal base}$$

$$f_{MS} = \frac{0.6 \cdot b_w / \sqrt{2} \cdot f_w}{1.35} = 1.21 \text{ kN/mm} \quad \text{Resistência de cálculo do metal solda}$$

$$f_{Rd} = 1.083 \text{ kN/mm}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_r}{f_{Rd}} = 0.003 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

Fonte: MCALC LIG, 2026.

5.2 COBERTURA 02

5.2.1 CARREGAMENTOS

As cargas consideradas foram as seguintes conforme a NBR 6120/2019 e a NBR 6123/2023:

Carregamentos considerados:

As cargas consideradas foram as seguintes conforme a NBR 6120/2026:

- Peso próprio do perfil: Automaticamente via software MCALC 3D
- Carga Permanente (telha): 0,12 kN
- Sobrecarga Normativa: 0,25 kN/m²;
- Carga de Vento: V1: 0,6 kN./m² (Sucção)

V2: -0,15 kN./m² (Sobre pressão)

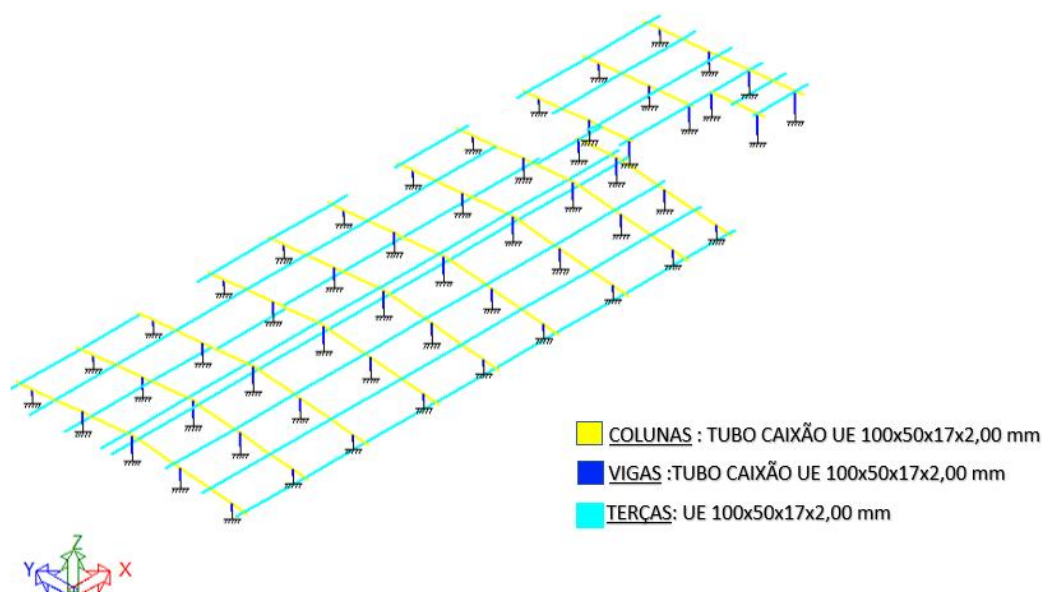
V3: -0,45kN./m² (Sucção)

V4: -0,30 kN./m² (Sucção))

5.2.2 GEOMETRIA

Figura 22 – Modelo analítico – Cobertura 02

COBERTURA 01



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os materiais utilizados são:

Tabela 2 - Material utilizado

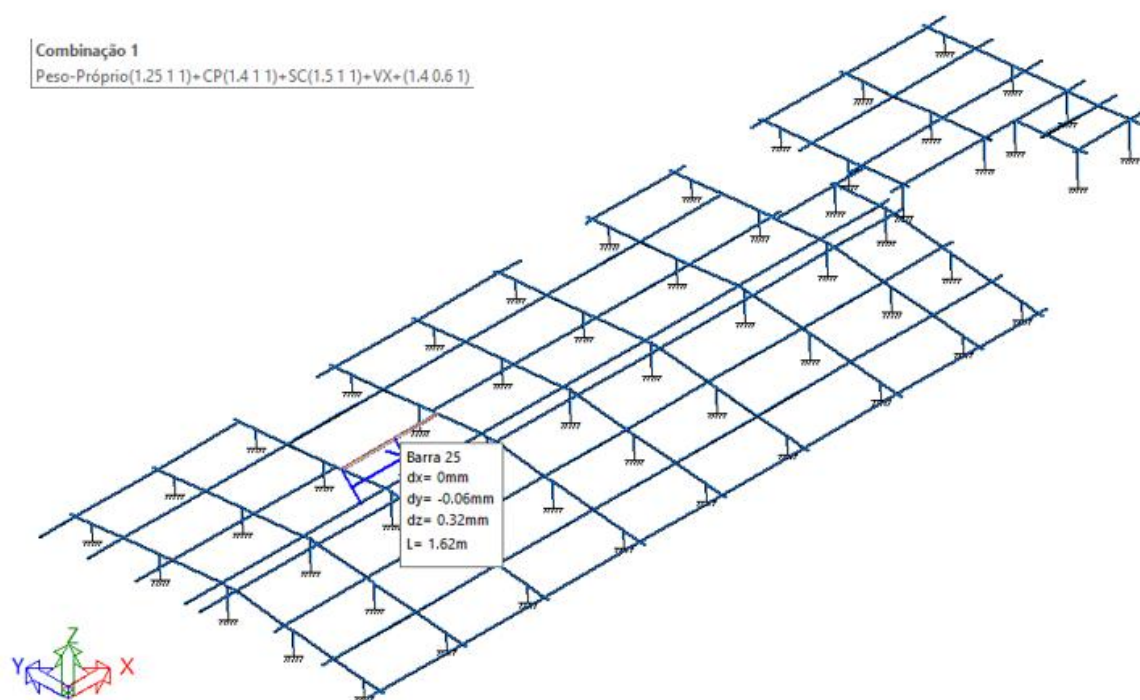
Aço	Peso específico	Modulo de elasticidade	Tensão de escoamento (Mpa)	Tensão de ruptura (Mpa)
	(Kg/m ³)	(Gpa)	fy	fu
ASTM A36	7850	200	250	400

Fonte: VIAVOZ, 2026

5.2.4 DEFORMADAS

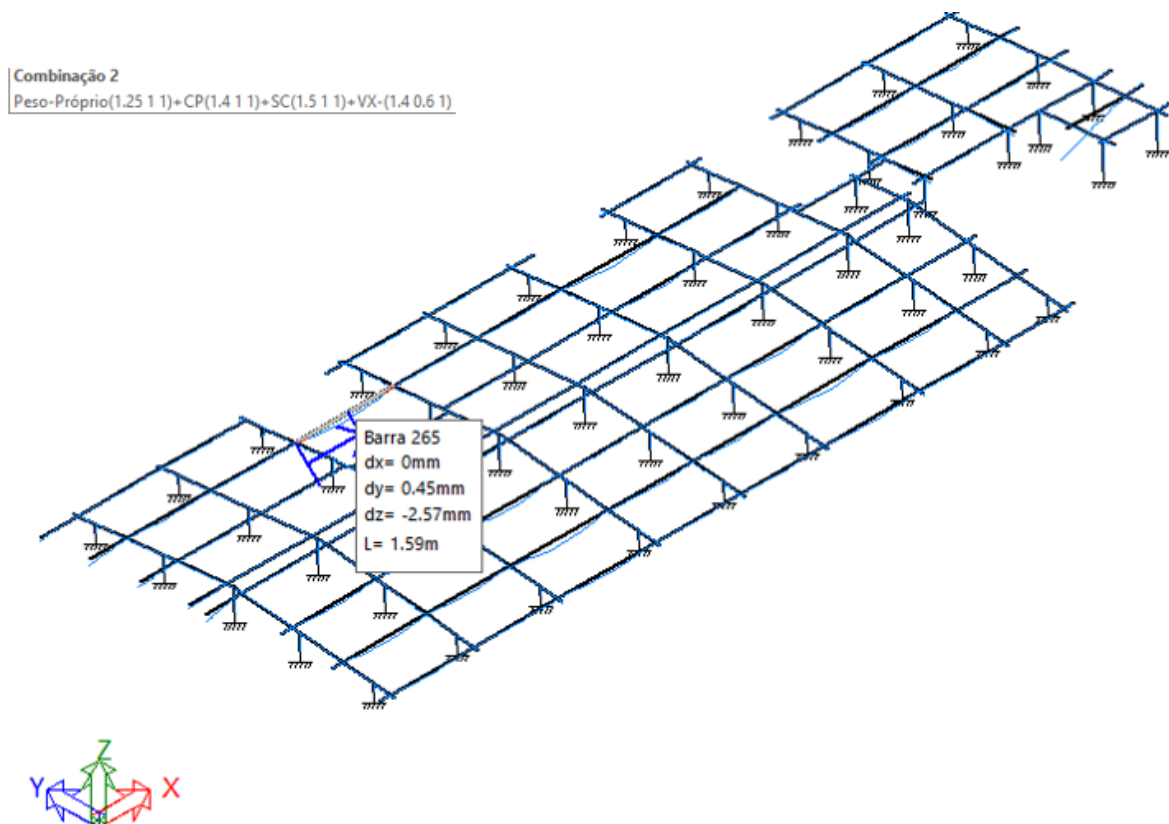
Deformada devido o Peso próprio (PP) + cargas permanentes (CP) + sobrecarga (SC):

Figura 23 - Deformada devido ao peso próprio, carga permanente, sobrecarga e vento V1



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 24 - Deformada devido ao peso próprio, carga permanente, sobrecarga e vento V2

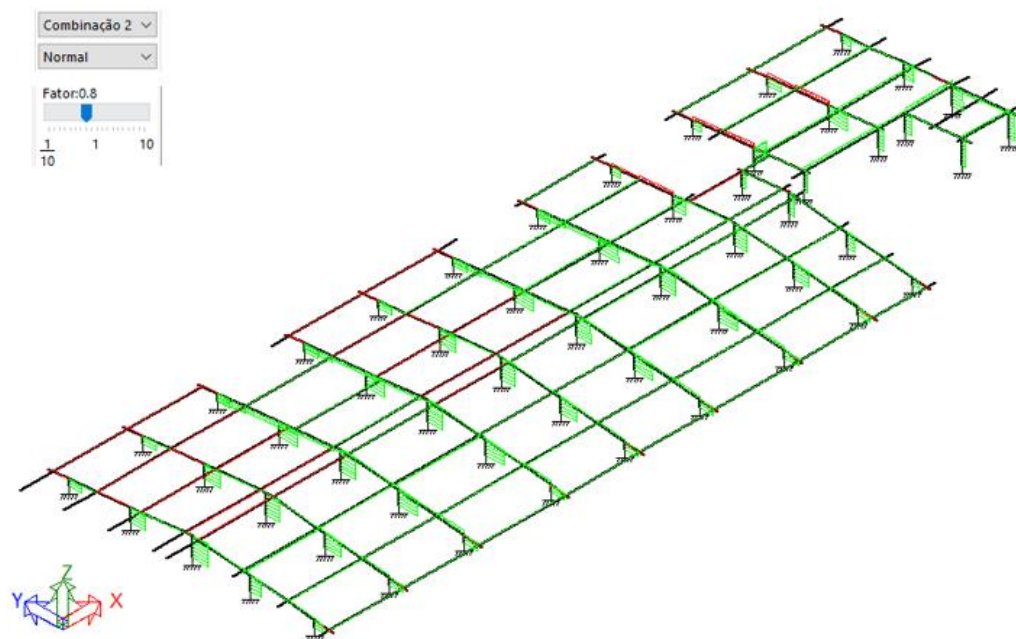


Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.2.5 ESFORÇOS

Envoltória de esforços axiais.

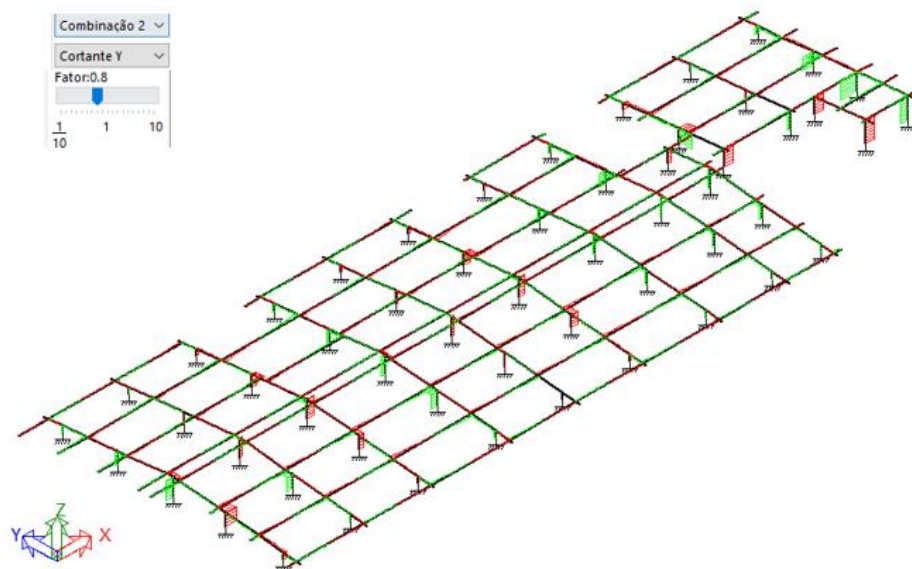
Figura 25 - Envoltória de esforços axiais



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Envoltória de esforços cortantes (Y).

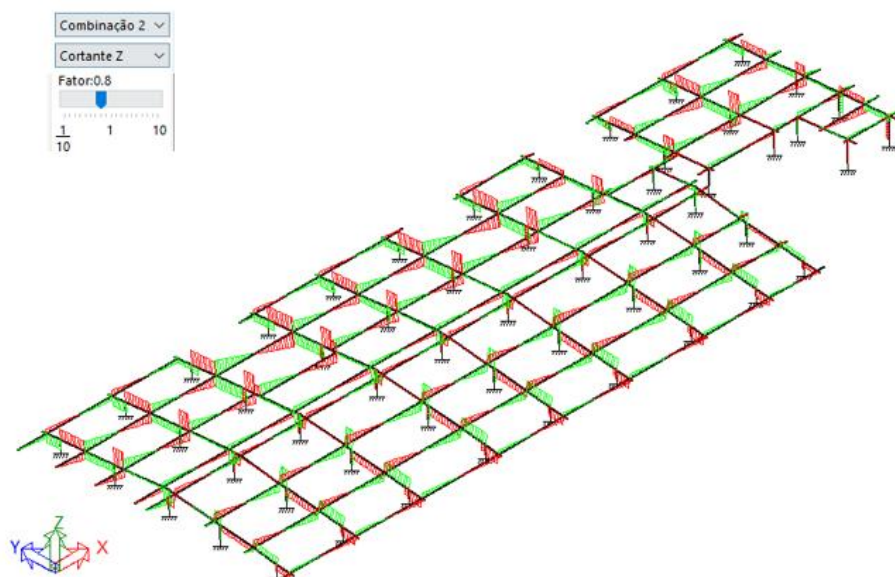
Figura 26 - Envoltória de esforços cortantes



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Envoltória de esforços cortantes (Z).

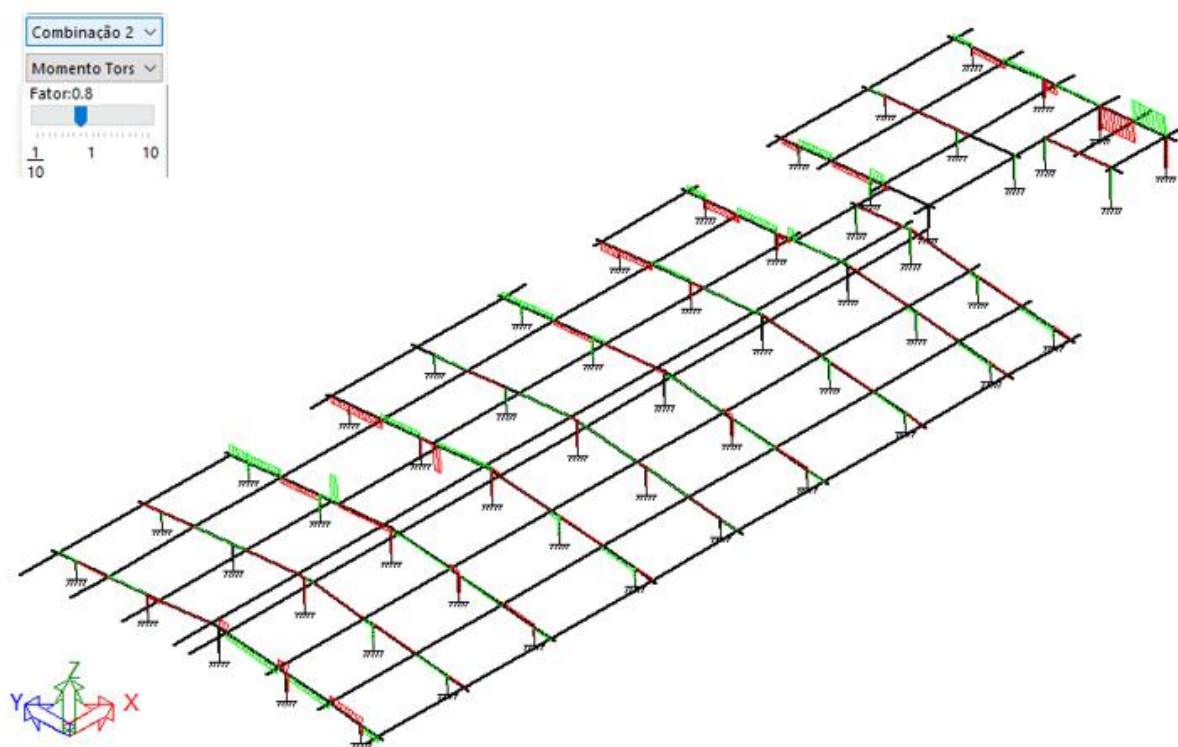
Figura 27 - Envoltória de esforços cortantes



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Envoltória do momento torsor.

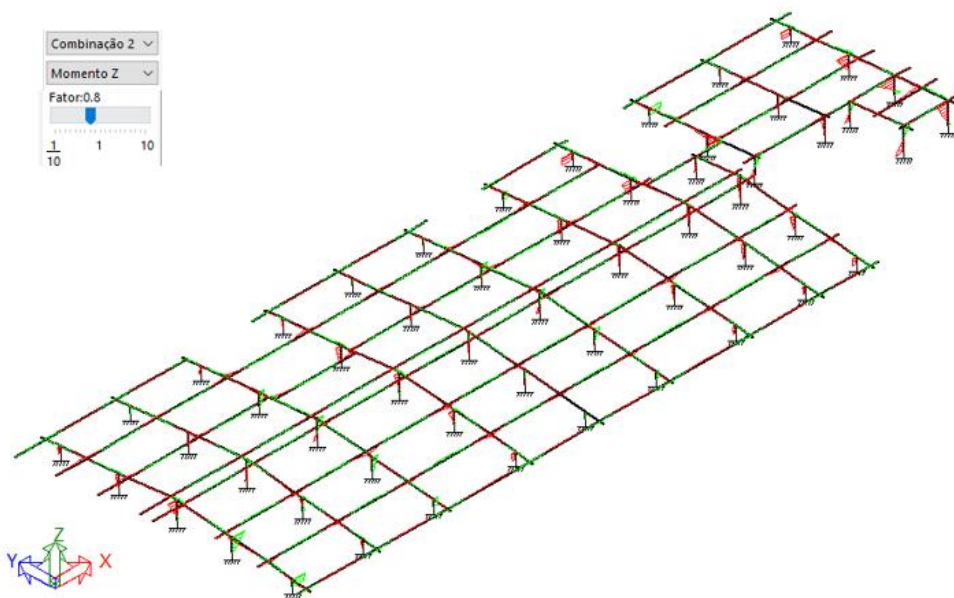
Figura 28 - Envoltória de momento



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Envoltória do momento fletor. (Z)

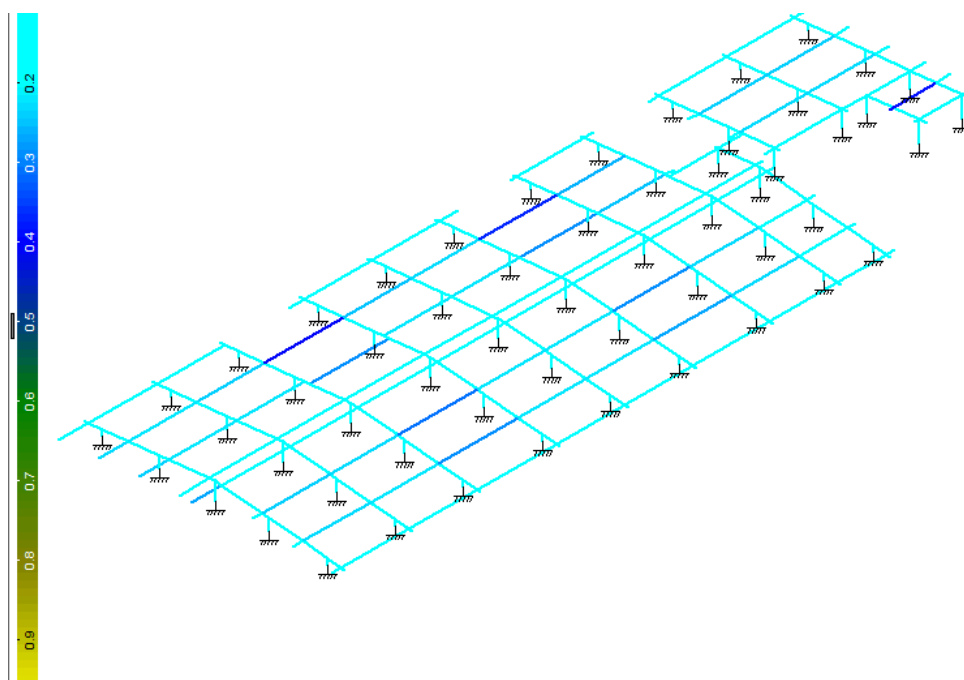
Figura 29 - Envoltória de momento



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Tensão de aproveitamento

Figura 30 - Tensão de aproveitamento



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.2.6 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS

Este tópico tem por objetivo apresentar os principais elementos estruturais que compõem o projeto, descrevendo suas funções e características. Para efeito de cálculo e verificação estrutural, serão destacados e demonstrados os dimensionamentos das peças mais solicitadas. O dimensionamento foi realizado conforme os critérios estabelecidos na norma ABNT NBR 14762/2010 – “Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”, garantindo segurança, desempenho e atendimento aos requisitos normativos aplicáveis ao tipo de material e sistema adotado.

5.2.6.1 COLUNAS

As colunas são elementos estruturais verticais que desempenham um papel fundamental na transmissão de esforços de uma estrutura para as fundações. Elas transferem principalmente esforços axiais, mas também podem estar sujeitas a esforços cortantes e momentos fletores.

Figura 31 - Verificação das colunas

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 32 - Verificação ABNT

Barra	Normal	Cortante Y	Cortante Z	Momento X	Momento Y	Momento Z	Eq. Int. Max.	Comp.	Dimensionamento
250	Sol.	2.3	-1	0.56	0	-0.22	-0.45	0.14	0.59
	Res.	159.87	50.18	50.18	---	5.83	5.22		CA 100 x 50 x 17 x 2
	Sd/Rd	0.01	0.02	0.01	---	0.04	0.09		

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.2.6.2 VIGAS

As vigas em questão servem de apoio para as terças, dão a inclinação para o telhado, e têm papel fundamental no comportamento estrutural do sistema. Esses elementos lineares, são os principais responsáveis pela absorção dos esforços axiais oriundos das solicitações globais da estrutura e por garantir a rigidez dos pórticos.

Figura 33 - Verificação das vigas

Perfil: Caixa (F.F.)

Dimensões:
 b_w 100 mm
 b_f 50 mm
 D 17 mm
 t 2 mm

Solicitações de Cálculo (kN e m):
 $N_{c,sd}$ 0.26 $V_{Y,sd}$ 0.03 $M_{Y,sd}$ -1.07 C_b 1.58
 $N_{t,sd}$ 0 $V_{Z,sd}$ -2.76 $M_{Z,sd}$ -0.01 C_m 0.64

Comprimentos da Barra (m):
 L_t 0.36 L_z 0.36 λ_y 9.06 λ_z 9.64
 L_y 0.36 L_b 0.36

Resistências de Cálculo:
 $N_{c,Rd}$ 160.85 $Sd/Rd = 0$ $V_{Y,Rd}$ 50.18 $Sd/Rd = 0$
 $N_{t,Rd}$ 198.18 $Sd/Rd = 0$ $V_{Z,Rd}$ 50.18 $Sd/Rd = 0.055$
 $M_{Y,Rd}$ 5.83 $Sd/Rd = 0.184$ $M_{Z,Rd}$ 5.1 $Sd/Rd = 0$

Equações de Interação:
 $\frac{N_{c,sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Y,sd}}{M_{Y,Rd}} + \frac{M_{Z,sd}}{M_{Z,Rd}} = 0.187$
 $\frac{M_{Y,sd}}{M_{Y,Rd}} + \frac{M_{Z,sd}}{M_{Z,Rd}} + \frac{N_{t,sd}}{N_{t,Rd}} = 0.185$

Perfis Favoritos:

b_w	b_f	D	t
120	50	30	2.65
150	70	30	3
200	100	35	3.35
100	50	17	2.0

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 34 - Verificação ABNT

Barra		Normal	Cortante Y	Cortante Z	Momento X	Momento Y	Momento Z	Eq. Int. Max.	Comp.	Dimensionamento
200	Sol.	0.26	0.03	-2.76	0	-1.07	-6,00E-03	0.19	0.36	CA 100 x 50 x 17 x 2
	Res.	160.85	50.18	50.18	---	5.83	5.22			
	Sd/Rd	0.00	0	0.05	---	0.18	0.00			

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.2.6.3 TERÇAS

As terças de cobertura são elementos secundários essenciais para garantir a distribuição das cargas da telha e sua transferência segura para a estrutura principal. Devem ser dimensionadas principalmente à flexão, mas também precisam resistir à compressão e torção lateral, especialmente em regiões com vento ou grandes vãos.

Figura 35 - Verificação das terças

Perfil: U Enrigecido (F.F.)

Dimensões:
 b_w : 100 mm
 b_f : 50 mm
 D : 17 mm
 t : 2 mm

Solicitações de Cálculo (kN e m):
 $N_{c,sd}$: 0.08
 $N_{t,sd}$: 0
 $V_{y,sd}$: 0.22
 $V_{z,sd}$: 2.17
 $M_{y,sd}$: 0.98
 $M_{z,sd}$: -0.1
 C_b : 2.02
 C_m : 0.63

Comprimentos da Barra (m):
 L_t : 2.93
 L_y : 2.93
 L_z : 2.93
 L_b : 2.93
 λ_y : 73.71
 λ_z : 155.57
 Travej. L/: 3
 Aço: ASTM A36
 f_y : 250 MPa
 f_u : 400 MPa

Resistências de Cálculo:
 $N_{c,Rd}$: 23.76
 $N_{t,Rd}$: 99.09
 $M_{y,Rd}$: 2.72
 Sd/Rd : 0
 Sd/Rd : 0
 Sd/Rd : 0.362
 $V_{y,Rd}$: 22.91
 $V_{z,Rd}$: 25.09
 $M_{z,Rd}$: 1.98
 Sd/Rd : 0.009
 Sd/Rd : 0.087
 Sd/Rd : 0.053

Equações de Verificação:
 $\frac{N_{c,sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} = 0.418$
 $\frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{t,sd}}{N_{t,Rd}} = 0.415$

Perfis Favoritos:

b_w	b_f	D	t
100	40	17	3
100	40	17	3.35
100	50	17	1.2
100	50	17	1.5
100	50	17	2

UENR 100 x 50 x 17 x 2

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 36 - Verificação ABNT

Barra		Normal	Cortante Y	Cortante Z	Momento X	Momento Y	Momento Z	Eq. Int. Max.	Comp.	Dimensionamento
265	Sol.	0.08	0.22	2.17	0	0.98	-0.1	0.42	2.93	UENR 100 x 50 x 17 x 2
	Res.	23.76	22.91	25.09	---	2.72	1.98			
	Sd/Rd	0.00	0.01	0.09	---	0.36	0.05			

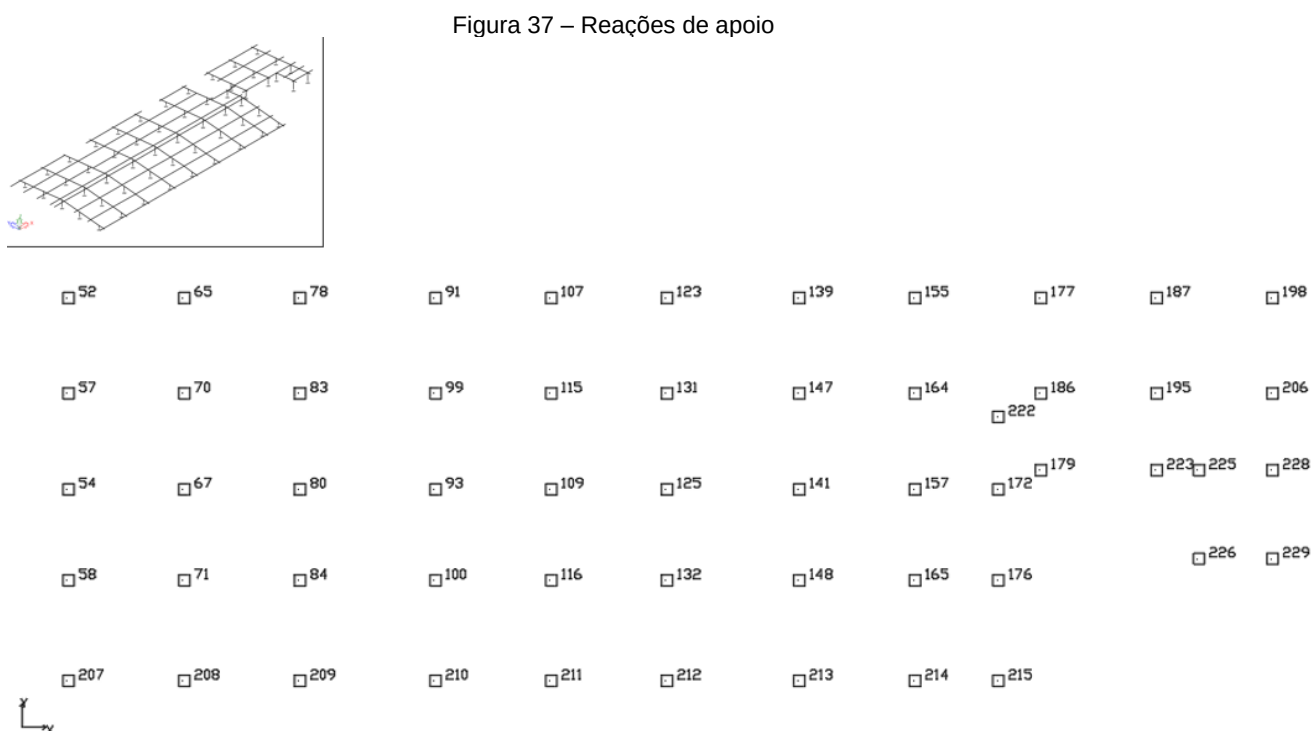
Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.2.7 REAÇÕES DE APOIO

As reações de apoio foram determinadas a partir da análise estrutural do modelo de cálculo, considerando as combinações de ações previstas para os Estados Limites Últimos e de Serviço.

A partir da análise estrutural, obtiveram-se as reações verticais, horizontais e momentos nos pontos de apoio, os quais foram utilizados para o dimensionamento das chapas de base, elementos de ancoragem e verificação da capacidade resistente dos apoios em concreto.

A seguir são apresentadas as reações de apoio sem ponderações:



Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 38 – Reações de apoio

Reações Nodais das Combinações - Lineares (não ponderadas) [kN-m]

Combinação 1							Combinação 2						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
52	-7.56E-3	0.01	0.52	3.16E-3	7.51E-3	0	52	-0.04	-0.03	1.99	-8.63E-3	0.03	1.42E-3
54	-0.05	-1.21E-4	0.69	0	-5.84E-3	0	54	-0.3	-0.04	2.6	7.6E-3	-0.04	0
57	-0.02	-0.03	0.62	4.06E-3	2.5E-3	-1.82E-3	57	-0.1	-0.08	2.52	7.25E-3	0.01	-9.28E-3
58	0.08	-0.02	0.47	2.87E-3	-7.12E-3	-5.89E-3	58	0.43	-0.03	1.71	5.6E-3	-0.04	-0.03
65	-8.38E-4	0.02	0.54	5.76E-3	-1.8E-3	1.25E-3	65	-9.57E-3	5.25E-3	2.05	5.57E-3	-5.93E-3	6.18E-3
67	0.01	0.02	0.62	-2.86E-3	5.03E-3	0	67	0.09	0.07	2.11	-0.01	0.03	-1.76E-3
70	1.9E-3	-0.04	0.64	6.08E-3	0	0	70	6E-3	-0.15	2.57	0.02	3.56E-3	0
71	-0.05	-0.04	0.65	6.21E-3	-0.01	2.4E-3	71	-0.25	-0.19	2.65	0.03	-0.05	0.01
78	0.01	-0.14	0.49	-0.03	0.01	1.09E-3	78	0.08	-0.84	1.97	-0.17	0.03	8.44E-3
80	0.06	0.04	0.68	-9.73E-3	0.01	0	80	0.29	0.18	2.38	-0.04	0.07	-1.41E-3
83	0.03	0.05	0.71	-0.01	-4.05E-3	3.35E-3	83	0.17	0.35	3.01	-0.08	-0.02	0.02
84	0.04	-0.02	0.69	1.9E-3	-3.38E-3	-2.91E-3	84	0.18	-0.12	2.84	0.01	-0.02	-0.01
91	-0.01	-0.1	0.54	-0.02	-3.1E-3	0	91	-0.09	-0.65	2.2	-0.12	7.13E-3	-3.3E-3
93	-0.04	0.04	0.69	-8.36E-3	-5.31E-3	0	93	-0.17	0.16	2.39	-0.04	-0.02	-1.51E-3
99	-0.02	0.03	0.71	-8.26E-3	6.89E-3	-3.05E-3	99	-0.12	0.25	3.01	-0.06	0.04	-0.02
100	-0.06	-0.03	0.69	3.36E-3	-3.64E-3	3.3E-3	100	-0.28	-0.15	2.84	0.02	-0.02	0.02
107	2.84E-3	0.03	0.54	6.84E-3	0	0	107	0.01	0.03	2.05	0.01	0	2.49E-3
109	0.01	0.01	0.63	-2.66E-3	4.89E-3	0	109	0.07	0.06	2.14	-0.01	0.03	-1.13E-3
115	7.51E-3	-0.04	0.63	6.88E-3	2.64E-3	0	115	0.05	-0.17	2.56	0.02	0.02	2.76E-3
116	2.42E-3	-0.04	0.63	5.85E-3	0	0	116	0.01	-0.17	2.55	0.03	2.53E-3	-1.66E-3
123	0.02	-0.08	0.54	-0.01	5.51E-3	1.01E-3	123	0.09	-0.56	2.13	-0.1	0.01	6.62E-3
125	0.05	0.02	0.67	-5.1E-3	0.01	0	125	0.23	0.09	2.33	-0.02	0.06	0
131	0.05	0.03	0.71	-7.7E-3	0	3.66E-3	131	0.27	0.26	2.98	-0.05	8.54E-3	0.02
132	0.05	-0.03	0.68	3.5E-3	3.9E-3	-3.08E-3	132	0.24	-0.14	2.8	0.02	0.02	-0.02
139	6.53E-3	-0.12	0.51	-0.02	-0.02	0	139	0.02	-0.71	2.04	-0.13	-0.06	-3.26E-3
141	-0.02	0.02	0.67	-6.26E-3	0	0	141	-0.06	0.11	2.35	-0.03	6.25E-3	0
147	-0.01	0.05	0.72	-0.01	6.24E-3	-2.33E-3	147	-0.06	0.35	3.06	-0.07	0.04	-0.01
148	-0.02	-0.03	0.69	2.49E-3	4.14E-3	1.26E-3	148	-0.1	-0.13	2.83	0.02	0.02	6.55E-3
155	-0.02	0.08	0.36	6.02E-3	0.04	-4.79E-3	155	-0.09	0.39	1.22	0.03	0.2	-0.02
157	-0.02	0.02	0.59	-4.14E-3	0	0	157	-0.08	0.08	1.98	-0.02	6.95E-3	0
164	-0.06	-0.12	0.51	0.02	9.12E-3	-5.98E-3	164	-0.29	-0.56	1.87	0.08	0.05	-0.03
165	-0.02	-0.03	0.59	5.07E-3	6.56E-3	1.1E-3	165	-0.08	-0.15	2.32	0.03	0.03	5.73E-3
172	-0.02	-9.96E-3	0.34	1.09E-3	0	0	172	-0.09	-0.05	0.91	9.18E-3	6.03E-3	1.06E-3
176	-0.03	-0.02	0.38	1.36E-3	7.26E-3	1.84E-3	176	-0.14	-0.07	1.23	0.01	0.04	9.8E-3
177	0.03	0.23	0.34	-0.03	-0.04	3.59E-3	177	0.13	0.53	1.23	-0.09	-0.17	0.02
179	0.09	0	0.17	0	0.02	0	179	0.38	0	0.6	0	0.08	0
186	0.09	-0.23	0.55	0.02	-0.01	8.28E-3	186	0.42	-0.54	1.95	0.04	-0.05	0.04
187	-3.2E-3	0.3	0.52	-0.04	0	0	187	-0.01	0.63	2.11	-0.11	0	-1.87E-3
195	-7.14E-3	-0.29	0.79	0.03	0	0	195	0.01	-0.6	2.95	0.04	0.01	3.48E-3
198	-0.03	-0.04	0.42	7E-3	0.03	-3.49E-3	198	-0.13	-0.15	1.47	9.61E-3	0.14	-0.02
206	-0.09	0.03	0.44	-2.01E-3	4.64E-3	-5.91E-3	206	-0.39	0.12	1.64	-0.01	0.04	-0.03
207	0.03	0.04	0.38	3.56E-3	-0.04	-3.11E-3	207	0.13	0.19	1.32	0.02	-0.18	-0.02
208	-0.01	0.04	0.56	3.59E-3	5.18E-3	0	208	-0.06	0.25	2.17	0.03	0.02	4E-3
209	8.63E-3	0.07	0.59	-2.4E-3	-0.01	-1.1E-3	209	0.04	0.43	2.31	7.67E-3	-0.07	-5.4E-3
210	-0.01	0.06	0.6	0	0.01	1.48E-3	210	-0.07	0.38	2.32	0.02	0.06	7.08E-3
211	0	0.04	0.54	3.86E-3	0	0	211	0	0.24	2.05	0.03	-2.12E-3	0
212	0.01	0.06	0.59	0	-9.59E-3	-1.08E-3	212	0.05	0.35	2.28	0.02	-0.04	-5.18E-3
213	-5.51E-3	0.07	0.59	-1.22E-3	9.23E-3	0	213	-0.03	0.39	2.31	0.01	0.04	3.83E-3
214	-5.17E-3	0.04	0.5	3.12E-3	0.01	0	214	-0.03	0.22	1.88	0.03	0.05	4.56E-3
215	-8.19E-3	0.06	0.33	0	0.01	1.12E-3	215	-0.04	0.16	1	0.01	0.07	5.82E-3
222	0.05	-0.02	0.27	1.46E-3	7.89E-3	1.8E-3	222	0.12	-0.04	0.64	4.74E-3	0.04	2.22E-3
223	-0.03	7.17E-4	0.22	0	-2.05E-3	0	223	-0.11	8.81E-4	0.85	0	0	2.48E-3
225	0.08	-0.03	0.27	3.21E-3	0.02	1.29E-3	225	0.35	-0.02	0.9	0	0.1	5.83E-3
226	0.07	0.03	0.23	-0.01	0.03	1.37E-3	226	0.34	0.04	0.5	-0.01	0.14	6.74E-3
228	-0.15	-0.1	0.47	0.02	-0.02	-1.4E-3	228	-0.69	-0.39	1.6	0.08	-0.09	-7.68E-3
229	-0.07	0.1	0.3	-0.02	-5.65E-3	-2.96E-3	229	-0.31	0.39	0.83	-0.1	-0.02	-0.01

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 39 – Reações de apoio

Combinação 3							Combinação 4						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
52	-3.07E-3	0.03	0.3	1.84E-3	3.39E-3	0	52	0.01	0.04	-0.41	0.01	-9.74E-3	0
54	-0.11	-0.14	0.92	0.03	-0.01	0	54	0.11	0.02	-0.54	-4.52E-3	0.01	0
57	-9.25E-3	0.01	0.32	-1.92E-3	2.07E-3	0	57	0.03	5.58E-3	-0.59	2.02E-3	-4.3E-3	2.96E-3
58	0.19	7.43E-3	0.87	-1.12E-3	-0.02	-0.01	58	-0.14	-0.01	-0.33	1.11E-3	0.01	9.47E-3
65	6.67E-4	0.03	0.31	4.18E-3	-1.17E-3	0	65	4.76E-3	0.03	-0.43	5.91E-3	0	-1.91E-3
67	0.03	-0.1	0.72	0.02	0.01	0	67	-0.04	-0.02	-0.33	3.33E-3	-0.01	0
70	2.65E-3	4.23E-4	0.32	0	0	0	70	-7.36E-4	0.03	-0.61	-2.96E-3	-1.05E-3	0
71	-0.11	-0.05	1.28	8.52E-3	-0.02	5.5E-3	71	0.08	0.05	-0.63	-0.01	0.02	-3.86E-3
78	2.45E-3	-0.03	0.26	-0.01	9.07E-3	0	78	-0.03	0.31	-0.46	0.06	0	-3.62E-3
80	0.08	-0.1	0.8	0.02	0.02	0	80	-0.09	-0.05	-0.41	0.01	-0.02	0
83	9.53E-3	0.03	0.35	-6.89E-3	0	1.35E-3	83	-0.06	-0.14	-0.76	0.03	7.76E-3	-6.87E-3
84	0.08	-0.04	1.36	6.18E-3	-7.62E-3	-6.31E-3	84	-0.06	0.04	-0.69	-4.89E-3	5.39E-3	4.75E-3
91	-2.62E-3	-5.05E-3	0.29	-5.96E-3	-4.7E-3	0	91	0.03	0.26	-0.52	0.05	-9.67E-3	1.97E-3
93	-0.04	-0.11	0.8	0.02	-3.8E-3	0	93	0.04	-0.05	-0.41	0.01	3.4E-3	0
99	-5.84E-3	0.02	0.34	-4.35E-3	2.49E-3	0	99	0.04	-0.12	-0.76	0.02	-0.01	5.52E-3
100	-0.13	-0.05	1.37	6.97E-3	-8.62E-3	7.39E-3	100	0.09	0.04	-0.7	-6.81E-3	5.99E-3	-5.39E-3
107	8.76E-4	0.03	0.31	4.62E-3	0	0	107	-4.82E-3	0.02	-0.42	4.44E-3	0	0
109	0.02	-0.1	0.73	0.02	7.82E-3	0	109	-0.02	-0.02	-0.35	3.02E-3	-8.7E-3	0
115	2.43E-3	-1.3E-3	0.32	0	0	0	115	-0.02	0.04	-0.6	-4.24E-3	-6.8E-3	-1.28E-3
116	4.91E-3	-0.05	1.24	7.22E-3	0	0	116	-4.09E-3	0.05	-0.6	-8.94E-3	0	0
123	3.94E-3	-2.33E-3	0.29	-4.18E-3	4.76E-3	0	123	-0.03	0.22	-0.49	0.04	2.46E-3	-2.59E-3
125	0.07	-0.11	0.79	0.02	0.02	0	125	-0.07	-0.02	-0.39	5.78E-3	-0.02	0
131	0.01	0.02	0.34	-4.43E-3	0	1.26E-3	131	-0.1	-0.11	-0.75	0.02	-4.17E-3	-7.84E-3
132	0.1	-0.05	1.35	6.9E-3	8.86E-3	-6.72E-3	132	-0.08	0.04	-0.68	-6.9E-3	-6.56E-3	5.02E-3
139	4.27E-3	-0.02	0.28	-8.1E-3	-0.01	0	139	-1.93E-3	0.26	-0.47	0.05	0.01	2.17E-3
141	-0.02	-0.11	0.79	0.02	2.02E-3	0	141	0.02	-0.03	-0.4	7.2E-3	-2.89E-3	0
147	-6E-3	0.03	0.35	-6.47E-3	1.26E-3	0	147	0.02	-0.14	-0.77	0.03	-0.02	3.18E-3
148	-0.04	-0.05	1.36	6.63E-3	9.24E-3	2.95E-3	148	0.03	0.04	-0.69	-5.87E-3	-6.95E-3	-2.13E-3
155	-7.94E-3	0.04	0.23	1.25E-3	0.02	-1.91E-3	155	0.03	-0.12	-0.19	-8.04E-3	-0.06	7.45E-3
157	-0.02	-0.09	0.68	0.02	3.21E-3	0	157	0.02	-0.02	-0.3	2.94E-3	-2.99E-3	0
164	-0.02	-0.03	0.29	3.39E-3	2.36E-3	-2.55E-3	164	0.08	0.17	-0.37	-0.02	-0.02	7.57E-3
165	-0.04	-0.04	1.14	6.47E-3	0.01	2.63E-3	165	0.03	0.04	-0.53	-8.38E-3	-0.01	-1.88E-3
172	-0.03	-0.05	0.4	9.07E-3	0	0	172	0.02	0.01	-0.03	-4.1E-3	-2.56E-3	0
176	-0.06	-0.02	0.65	2.2E-3	0.02	4.41E-3	176	0.04	0.01	-0.17	-4.25E-3	-0.01	-3.26E-3
177	0.01	0.18	0.21	-0.02	-0.02	1.57E-3	177	-0.04	0.03	-0.22	5.2E-3	0.05	-4.73E-3
179	0.04	0	0.11	0	8.54E-3	0	179	-0.1	0	-0.1	0	-0.02	0
186	0.04	-0.19	0.33	0.02	-8.22E-3	3.62E-3	186	-0.12	-0.04	-0.35	6.4E-3	7.26E-3	-0.01
187	-2.05E-3	0.25	0.28	-0.03	0	0	187	1.82E-3	0.09	-0.49	4.69E-3	0	0
195	-9.75E-3	-0.25	0.45	0.02	0	0	195	-0.02	-0.1	-0.6	0.01	-5.97E-3	-2.96E-3
198	-9.76E-3	-0.02	0.26	6.6E-3	0.01	-1.44E-3	198	0.04	0.04	-0.26	5.32E-3	-0.04	5.16E-3
206	-0.04	0.01	0.26	0	0	-2.63E-3	206	0.11	-0.03	-0.32	5.18E-3	-0.01	7.44E-3
207	0.06	0.1	0.68	5.16E-3	-0.08	-6.82E-3	207	-0.04	-0.06	-0.22	-5.07E-3	0.05	4.56E-3
208	-0.03	0.12	1.06	9.34E-3	0.01	1.8E-3	208	0.02	-0.1	-0.47	-0.02	-7.16E-3	-1.17E-3
209	0.02	0.14	1.12	7.24E-3	-0.03	-2.43E-3	209	-0.01	-0.15	-0.51	-8.86E-3	0.02	1.65E-3
210	-0.03	0.14	1.12	8.12E-3	0.03	3.15E-3	210	0.02	-0.14	-0.51	-0.01	-0.02	-2.12E-3
211	0	0.12	1	9.17E-3	0	0	211	0	-0.09	-0.43	-0.01	0	0
212	0.02	0.13	1.1	8.27E-3	-0.02	-2.34E-3	212	-0.02	-0.13	-0.5	-0.01	0.01	1.55E-3
213	-0.01	0.14	1.12	7.79E-3	0.02	1.69E-3	213	8.54E-3	-0.14	-0.51	-0.01	-0.01	-1.17E-3
214	-0.01	0.11	0.93	8.13E-3	0.02	2.03E-3	214	8.32E-3	-0.07	-0.38	-0.01	-0.01	-1.39E-3
215	-0.02	0.1	0.54	1.23E-3	0.03	2.54E-3	215	0.01	-9.92E-3	-0.09	-8.58E-3	-0.02	-1.9E-3
222	0.04	-8.75E-3	0.2	-1.32E-3	4.02E-3	2E-3	222	9.34E-3	-0.01	0.02	0	-0.01	1.53E-3
223	-0.02	6.85E-4	0.12	0	-2.46E-3	0	223	0.02	5.81E-4	-0.18	0	-3.81E-3	0
225	0.03	-0.03	0.17	3.72E-3	8.9E-3	0	225	-0.1	-0.04	-0.14	5.34E-3	-0.03	-1.63E-3
226	0.03	0.03	0.19	-0.01	0.01	0	226	-0.09	0.03	0.05	-9.06E-3	-0.04	-2.06E-3
228	-0.06	-0.06	0.29	0.01	-8.58E-3	0	228	0.2	0.09	-0.26	-0.02	0.03	2.62E-3
229	-0.03	0.06	0.22	-0.01	-3.14E-3	-1.36E-3	229	0.09	-0.08	-0.04	0.02	4.83E-3	3.68E-3

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 40 – Reações de apoio

Combinação 5						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
52	-0.04	-0.03	2.02	-8.93E-3	0.04	1.45E-3
54	-0.31	-0.04	2.65	7.79E-3	-0.04	0
57	-0.11	-0.08	2.56	7.33E-3	0.01	-9.47E-3
58	0.44	-0.03	1.74	5.67E-3	-0.04	-0.03
65	-9.8E-3	4.81E-3	2.08	5.6E-3	-6.03E-3	6.31E-3
67	0.09	0.07	2.15	-0.01	0.03	-1.8E-3
70	6.11E-3	-0.15	2.62	0.02	3.63E-3	0
71	-0.26	-0.19	2.7	0.03	-0.05	0.01
78	0.08	-0.86	2.01	-0.17	0.03	8.63E-3
80	0.3	0.18	2.42	-0.04	0.07	-1.44E-3
83	0.17	0.36	3.07	-0.08	-0.02	0.02
84	0.19	-0.12	2.89	0.01	-0.02	-0.02
91	-0.09	-0.67	2.24	-0.13	7.4E-3	-3.39E-3
93	-0.18	0.17	2.44	-0.04	-0.02	-1.55E-3
99	-0.12	0.26	3.07	-0.06	0.04	-0.02
100	-0.29	-0.15	2.9	0.02	-0.02	0.02
107	0.02	0.03	2.09	0.01	1.02E-3	2.54E-3
109	0.07	0.06	2.18	-0.01	0.03	-1.15E-3
115	0.05	-0.18	2.61	0.02	0.02	2.82E-3
116	0.01	-0.17	2.59	0.03	2.59E-3	-1.7E-3
123	0.09	-0.58	2.18	-0.1	0.01	6.76E-3
125	0.24	0.09	2.37	-0.02	0.06	0
131	0.27	0.26	3.04	-0.06	8.74E-3	0.02
132	0.24	-0.14	2.86	0.02	0.02	-0.02
139	0.02	-0.72	2.08	-0.14	-0.06	-3.34E-3
141	-0.06	0.11	2.39	-0.03	6.39E-3	0
147	-0.06	0.35	3.12	-0.08	0.04	-0.01
148	-0.1	-0.13	2.89	0.02	0.02	6.69E-3
155	-0.09	0.4	1.24	0.03	0.2	-0.02
157	-0.08	0.08	2.01	-0.02	7.11E-3	0
164	-0.29	-0.57	1.91	0.08	0.06	-0.03
165	-0.08	-0.15	2.37	0.03	0.03	5.85E-3
172	-0.09	-0.05	0.92	9.39E-3	6.17E-3	1.08E-3
176	-0.14	-0.07	1.25	0.01	0.04	0.01
177	0.14	0.54	1.25	-0.09	-0.17	0.02
179	0.39	0	0.61	0	0.08	0
186	0.43	-0.55	1.99	0.05	-0.05	0.04
187	-0.01	0.63	2.15	-0.11	0	-1.91E-3
195	0.01	-0.6	3	0.04	0.01	3.58E-3
198	-0.13	-0.15	1.5	9.68E-3	0.14	-0.02
206	-0.4	0.12	1.67	-0.01	0.04	-0.03
207	0.13	0.19	1.35	0.02	-0.19	-0.02
208	-0.06	0.26	2.21	0.03	0.02	4.08E-3
209	0.04	0.44	2.36	7.93E-3	-0.07	-5.51E-3
210	-0.07	0.39	2.36	0.02	0.06	7.23E-3
211	0	0.25	2.09	0.03	-2.16E-3	0
212	0.05	0.36	2.32	0.02	-0.05	-5.28E-3
213	-0.03	0.4	2.35	0.01	0.04	3.91E-3
214	-0.03	0.22	1.91	0.03	0.05	4.66E-3
215	-0.04	0.16	1.02	0.01	0.07	5.94E-3
222	0.12	-0.04	0.65	4.83E-3	0.04	2.23E-3
223	-0.12	8.54E-4	0.86	0	0	2.53E-3
225	0.36	-0.02	0.91	0	0.1	5.95E-3
226	0.35	0.04	0.51	-0.01	0.15	6.88E-3
228	-0.7	-0.4	1.63	0.08	-0.09	-7.84E-3
229	-0.32	0.4	0.84	-0.1	-0.02	-0.01

Combinação 6						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
52	0.02	0.07	-0.79	8.51E-3	-0.02	-1.04E-3
54	0.01	-0.21	-0.15	0.04	1.21E-3	0
57	0.05	0.07	-1.1	-7.94E-3	-5.01E-3	4.81E-3
58	0.04	0.03	0.33	-5.54E-3	-3.81E-3	-2.81E-3
65	7.27E-3	0.05	-0.81	3.29E-3	1.9E-3	-3.23E-3
67	-2.71E-3	-0.21	-0.18	0.04	-1.62E-3	0
70	5.21E-4	0.1	-1.12	-0.01	-1.29E-3	1E-3
71	-0.02	0.03	0.42	-6.25E-3	-5.32E-3	1.3E-3
78	-0.05	0.5	-0.84	0.09	-5.03E-3	-5.58E-3
80	-0.05	-0.29	-0.21	0.06	-0.01	0
83	-0.09	-0.18	-1.37	0.04	0.01	-0.01
84	0.01	3.74E-3	0.44	2.25E-3	-1.67E-3	0
91	0.05	0.41	-0.94	0.07	-0.01	2.67E-3
93	0.04	-0.28	-0.21	0.06	5.91E-3	0
99	0.07	-0.13	-1.37	0.03	-0.02	9.44E-3
100	-0.03	0.01	0.44	0	-2.31E-3	1.43E-3
107	-8.09E-3	0.03	-0.81	0	0	-1.25E-3
109	-9.79E-3	-0.21	-0.18	0.04	-3.82E-3	0
115	-0.03	0.11	-1.12	-0.01	-9.67E-3	-1.35E-3
116	5.14E-5	0.03	0.41	-6.67E-3	0	0
123	-0.05	0.36	-0.9	0.05	1.2E-3	-4.11E-3
125	-0.04	-0.24	-0.2	0.05	-0.01	0
131	-0.15	-0.13	-1.35	0.03	-5.8E-3	-0.01
132	0.02	0.01	0.43	-1.22E-3	1.69E-3	-1.05E-3
139	-5.69E-3	0.43	-0.86	0.07	0.02	2.9E-3
141	0.01	-0.25	-0.2	0.05	0	0
147	0.03	-0.17	-1.4	0.04	-0.02	5.64E-3
148	-8.37E-3	4.95E-3	0.44	1.02E-3	1.55E-3	0
155	0.04	-0.18	-0.41	-0.02	-0.09	0.01
157	0.02	-0.2	-0.14	0.04	0	0
164	0.14	0.31	-0.73	-0.04	-0.03	0.01
165	-7.8E-3	0.03	0.39	-6.04E-3	2.65E-3	0
172	6.62E-3	-0.05	0.07	9.2E-3	-2.48E-3	0
176	-0.01	4.71E-3	0.28	-2.85E-3	3.14E-3	1.02E-3
177	-0.07	-0.05	-0.45	0.02	0.08	-8.09E-3
179	-0.17	0	-0.21	0	-0.04	0
186	-0.2	0.04	-0.72	0	0.02	-0.02
187	3.73E-3	6.34E-3	-0.9	0.02	0	0
195	-0.02	-0.02	-1.15	9.64E-3	-8.26E-3	-3.81E-3
198	0.07	0.07	-0.52	4.65E-3	-0.07	8.58E-3
206	0.19	-0.05	-0.63	8.06E-3	-0.02	0.01
207	0.01	0.04	0.27	-2.41E-3	-0.02	-1.63E-3
208	-6.04E-3	0.04	0.36	-5.52E-3	2.8E-3	0
209	3.78E-3	-0.04	0.36	7.22E-3	-7.42E-3	0
210	-6.25E-3	-0.02	0.37	3.17E-3	6.42E-3	0
211	0	0.04	0.35	-5.68E-3	0	0
212	4.63E-3	-4.54E-3	0.37	1.55E-3	-5.05E-3	0
213	-2.46E-3	-0.02	0.37	4.58E-3	4.82E-3	0
214	-2.34E-3	0.04	0.33	-5.12E-3	5.81E-3	0
215	-3.57E-3	0.06	0.25	-4.93E-3	7.01E-3	0
222	-6E-3	0.01	-0.09	-5.27E-3	-0.02	1.86E-3
223	0.04	5.27E-4	-0.35	0	-4.48E-3	0
225	-0.17	-0.04	-0.3	6.2E-3	-0.05	-2.79E-3
226	-0.16	0.03	-0.02	-8.53E-3	-0.07	-3.44E-3
228	0.34	0.16	-0.55	-0.03	0.05	4.18E-3
229	0.15	-0.16	-0.17	0.04	9.01E-3	6.35E-3

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

Figura 41 – Reações de apoio

Combinação 7						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
52	-0.02	-0.02	0.98	2.67E-3	0.02	0
54	-0.03	0.14	0.76	-0.03	-3.2E-3	0
57	-0.04	-0.08	1.22	0.01	4.56E-3	-4.08E-3
58	0.03	-0.04	0.26	7.28E-3	-2.4E-3	-2.22E-3
65	-3.69E-3	9.89E-3	1	7.3E-3	-3.06E-3	2.81E-3
67	4.16E-3	0.14	0.76	-0.03	2.55E-3	0
70	1.77E-3	-0.1	1.24	0.01	1.33E-3	0
71	-0.02	-0.05	0.32	7.81E-3	-3.64E-3	0
78	0.03	-0.36	0.95	-0.07	0.02	3.4E-3
80	0.08	0.2	0.82	-0.04	0.02	0
83	0.07	0.12	1.43	-0.03	-0.01	7.81E-3
84	0.01	-0.02	0.34	0	-1.25E-3	-1.36E-3
91	-0.04	-0.28	1.05	-0.05	0	-1.01E-3
93	-0.06	0.2	0.83	-0.04	-8.9E-3	0
99	-0.05	0.07	1.43	-0.02	0.02	-7.46E-3
100	-0.02	-0.03	0.34	2.2E-3	0	1.29E-3
107	6.63E-3	0.02	1.01	9.63E-3	0	1.23E-3
109	0.01	0.14	0.76	-0.03	5.23E-3	0
115	0.02	-0.11	1.24	0.02	6.63E-3	0
116	1.5E-3	-0.05	0.32	8.04E-3	0	0
123	0.04	-0.24	1.03	-0.04	7E-3	2.78E-3
125	0.06	0.16	0.81	-0.03	0.01	0
131	0.11	0.08	1.42	-0.02	2.97E-3	8.82E-3
132	0.02	-0.03	0.34	2.58E-3	1.46E-3	-1.38E-3
139	0.01	-0.31	0.99	-0.06	-0.03	0
141	-0.02	0.17	0.81	-0.04	0	0
147	-0.03	0.12	1.46	-0.03	0.02	-5.13E-3
148	-7.21E-3	-0.02	0.34	0	1.71E-3	0
155	-0.04	0.17	0.62	0.01	0.09	-0.01
157	-0.03	0.14	0.71	-0.03	0	0
164	-0.13	-0.27	0.94	0.04	0.02	-0.01
165	-5.59E-3	-0.04	0.3	6.89E-3	2.6E-3	0
172	-0.02	0.02	0.37	-5.64E-3	1.55E-3	0
176	-9.52E-3	-0.02	0.25	1.87E-3	2.74E-3	0
177	0.06	0.32	0.62	-0.05	-0.08	7.6E-3
179	0.18	0	0.3	0	0.04	0
186	0.19	-0.33	0.98	0.03	-0.02	0.02
187	-5.55E-3	0.4	1.01	-0.06	0	0
195	-1.31E-3	-0.39	1.45	0.03	3.59E-3	0
198	-0.06	-0.07	0.74	7.8E-3	0.06	-7.61E-3
206	-0.18	0.06	0.81	-5.47E-3	0.01	-0.01
207	9.62E-3	2.58E-3	0.24	4.03E-3	-0.02	-1.24E-3
208	-4.88E-3	-9.9E-3	0.31	2.33E-3	2.17E-3	0
209	3.43E-3	0.06	0.34	-0.01	-6.17E-3	0
210	-5.58E-3	0.04	0.33	-6.47E-3	5.38E-3	0
211	0	-0.01	0.3	2.97E-3	0	0
212	3.88E-3	0.03	0.33	-4.92E-3	-4.27E-3	0
213	-2.28E-3	0.05	0.33	-8.01E-3	4.01E-3	0
214	-2.02E-3	-1.23E-3	0.29	2.09E-3	4.84E-3	0
215	-2.82E-3	0.03	0.23	-1.32E-3	5.51E-3	0
222	0.07	-0.04	0.39	4.74E-3	0.02	1.67E-3
223	-0.06	7.82E-4	0.41	0	-1.23E-3	1.3E-3
225	0.16	-0.03	0.46	2.19E-3	0.04	2.68E-3
226	0.16	0.04	0.31	-0.01	0.07	3.03E-3
228	-0.31	-0.19	0.82	0.04	-0.04	-3.31E-3
229	-0.14	0.19	0.46	-0.05	-0.01	-6.15E-3

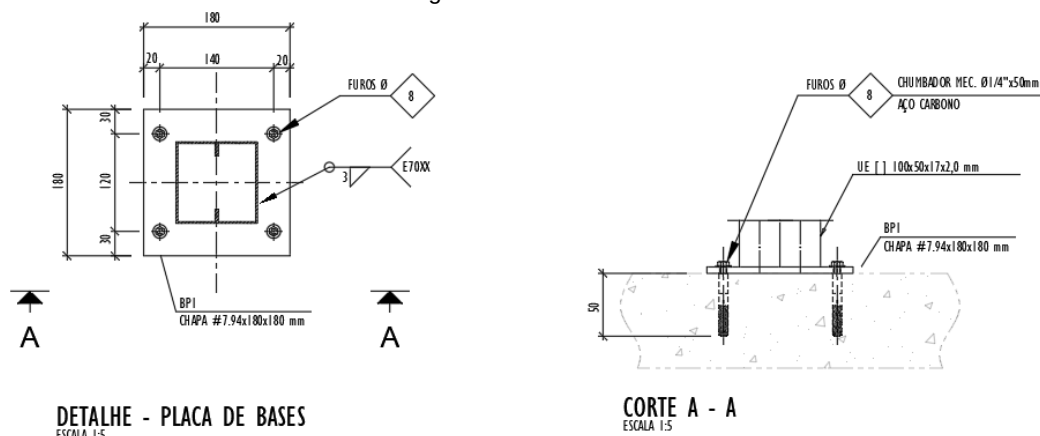
Combinação 8						
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
52	-2.2E-3	-9.81E-3	0.34	9.89E-3	4.03E-3	0
54	0.15	0.25	-0.43	-0.05	0.02	0
57	-5.22E-3	-0.07	0.41	0.01	0	0
58	-0.23	-0.05	-0.68	8.46E-3	0.02	0.02
65	1.37E-5	0.01	0.35	8.48E-3	-1.26E-3	0
67	-0.05	0.19	-0.11	-0.04	-0.02	1.08E-3
70	-9.4E-4	-0.06	0.41	0.01	0	0
71	0.13	0.04	-1.17	-7.42E-3	0.03	-6.51E-3
78	4.13E-3	-0.06	0.3	-0.01	9.55E-3	0
80	-0.06	0.23	-0.17	-0.05	-0.02	1.04E-3
83	8.73E-3	-0.03	0.44	1.87E-3	-2.26E-3	0
84	-0.09	0.04	-1.27	-9.31E-3	8.94E-3	7.35E-3
91	-3.85E-3	-0.04	0.33	-3.89E-3	-4.39E-3	0
93	0.01	0.22	-0.17	-0.05	-2.59E-3	0
99	-0.01	-0.04	0.44	4.95E-3	1.47E-3	-1.83E-3
100	0.15	0.04	-1.28	-8.75E-3	0.01	-8.74E-3
107	1.51E-3	0.01	0.35	9.1E-3	0	0
109	-0.02	0.19	-0.13	-0.04	-8.15E-3	0
115	-3.44E-4	-0.06	0.41	0.01	0	0
116	-5.62E-3	0.03	-1.12	-5.3E-3	-1.04E-3	0
123	5.9E-3	-0.04	0.33	-1.58E-3	4.93E-3	0
125	-0.05	0.21	-0.17	-0.04	-0.01	0
131	0.02	-0.04	0.44	4.84E-3	0	0
132	-0.12	0.04	-1.25	-8.42E-3	-0.01	7.85E-3
139	5.22E-3	-0.05	0.32	-6.3E-3	-0.01	0
141	5.21E-3	0.22	-0.17	-0.04	-3.71E-3	0
147	-7.37E-3	-0.02	0.45	2.4E-3	1.16E-3	-1.48E-3
148	0.05	0.05	-1.27	-9.43E-3	-0.01	-3.59E-3
155	-9.43E-3	0.03	0.25	5.52E-3	0.02	-2.24E-3
157	-7.52E-4	0.18	-0.1	-0.04	-5.3E-3	0
164	-0.03	-0.09	0.35	0.01	2.96E-3	-3.57E-3
165	0.04	0.03	-1	-5.34E-3	-0.02	-3.25E-3
172	0.02	0.07	0.02	-0.02	-1.3E-3	0
176	0.07	0.01	-0.39	-3.41E-3	-0.02	-5.5E-3
177	0.01	0.19	0.23	-0.02	-0.02	1.96E-3
179	0.05	0	0.12	0	0.01	0
186	0.05	-0.2	0.37	0.02	-9.5E-3	4.06E-3
187	-2.1E-3	0.26	0.32	-0.03	0	0
195	-0.01	-0.25	0.51	0.02	-1.04E-3	-1.11E-3
198	-0.01	-0.02	0.28	6.66E-3	0.02	-1.72E-3
206	-0.05	0.02	0.29	0	0	-3.36E-3
207	-0.07	-0.12	-0.46	-4.29E-3	0.09	7.68E-3
208	0.03	-0.18	-0.88	-0.02	-0.01	-1.95E-3
209	-0.02	-0.18	-0.94	-0.02	0.03	2.75E-3
210	0.04	-0.18	-0.95	-0.02	-0.03	-3.48E-3
211	0	-0.18	-0.82	-0.02	1.03E-3	0
212	-0.03	-0.18	-0.93	-0.02	0.02	2.61E-3
213	0.01	-0.18	-0.94	-0.02	-0.02	-1.89E-3
214	0.01	-0.14	-0.73	-0.02	-0.03	-2.27E-3
215	0.02	-0.05	-0.27	-9.18E-3	-0.04	-3.06E-3
222	0.04	-0.04	0.23	4.83E-3	2.76E-3	1.31E-3
223	-0.02	6.89E-4	0.14	0	-2.43E-3	0
225	0.04	-0.03	0.18	3.64E-3	0.01	0
226	0.04	0.03	0.19	-0.01	0.02	0
228	-0.08	-0.06	0.32	0.01	-0.01	0
229	-0.04	0.06	0.23	-0.02	-3.55E-3	-1.64E-3

Fonte: MCALC 3D – 2026.a.

5.2.8 PLACA DE BASES

O dimensionamento considerou as reações obtidas na análise estrutural, incluindo esforços de compressão axial e tração, momentos fletores e forças cortantes atuantes na base do pilar, conforme combinações de carregamento previstas na NBR 8800.

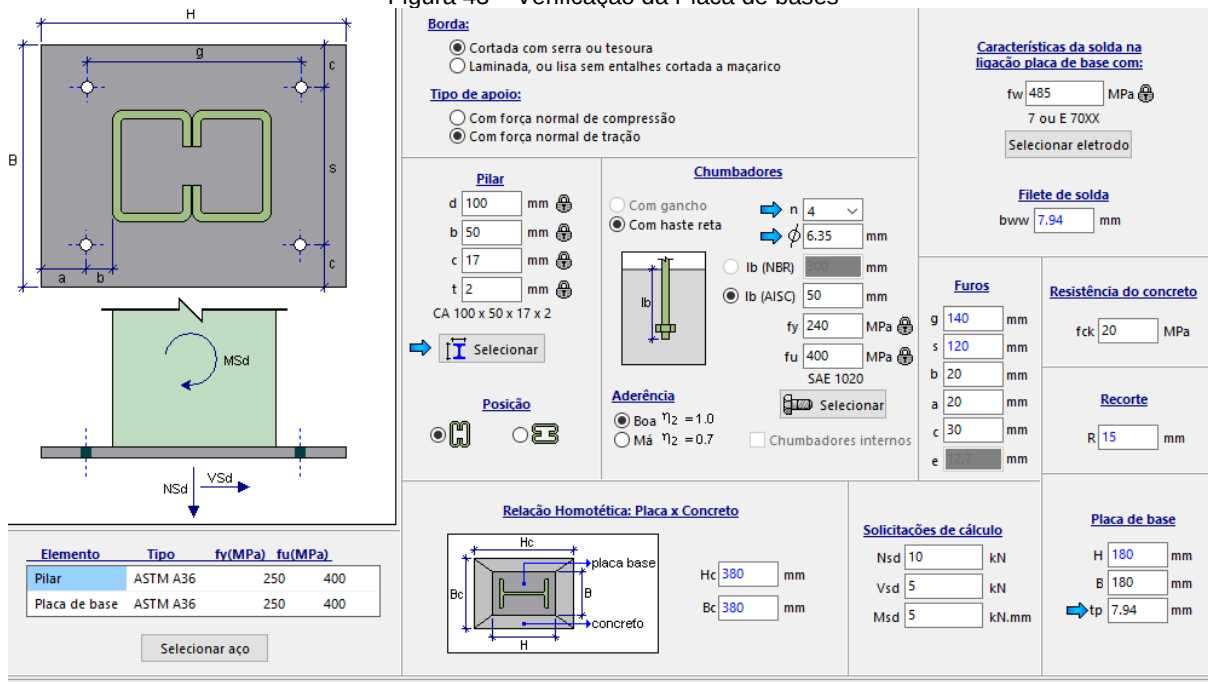
Figura 42 – Placa de bases



Fonte: VIAVOZ, 2026.

O dimensionamento da placa de base foi realizado com o auxílio do software MCALC LIG.

Figura 43 – Verificação da Placa de bases



Fonte: VIAVOZ, 2026.

Figura 44 – Verificação da Placa de bases

2. Resistência do concreto

$A_1 = 32400 \text{ mm}^2$ É a área carregada sob a placa de apoio.
 $A_2 = 144400 \text{ mm}^2$ É a área da superfície de concreto.

$$\frac{R_{Rknc}}{\gamma} = \frac{0,70 \cdot f_{ck} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}}{1,40 \cdot 1,40} \leq f_{ck} = 0,015 \text{ kN/mm}^2$$

3. Verificação das dimensões da placa de base

$$f_c = \frac{N_{sd}}{H \cdot B} = 0 \text{ kN/mm}^2 \quad \text{Pressão na placa de base.}$$

$$f_c \leq \frac{R_{Rknc}}{\gamma} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_c}{R_{Rknc}/\gamma} = 0,02 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

4. Propriedades do concreto e relações aço concreto

$$\frac{R_{Rknc}}{\gamma} = \frac{0,7 \cdot f_{dk} \cdot \sqrt{2}}{1,35} \leq 0,7 \cdot (1,4 \cdot f_{ck}) = 0,015 \text{ kN/mm}^2 \quad \text{Resistência de cálculo do concreto}$$

$$\eta = \frac{E}{E_c} = 9,292 \quad \text{Fator de homogeneização.}$$

5. Avaliação da compressão na placa de base

$Z = -69,5 \text{ mm}$ Parâmetro para avaliação da compressão na placa de base.

$Z \leq 0$ Não há compressão no concreto.

6. Verificação dos chumbadores

$V_o = 1,25 \text{ kN}$ Esforço de corte nos chumbadores.
 $T_o = 2,518 \text{ kN}$ Esforço de tração em cada chumbador.

6.1. Resistência de cálculo à tração dos chumbadores

$$F_{Rdt} = \frac{0,75 \cdot A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} = 7,038 \text{ kN}$$

$$F_{Rdt} \geq T_o \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{T_o}{F_{Rdt}} = 0,358 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

6.2. Resistência de cálculo ao cisalhamento

$$F_{Rds} = \frac{0,40 \cdot A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} = 3,753 \text{ kN}$$

$$F_{Rds} \geq V_o \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_o}{F_{Rds}} = 0,333 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

6.3. Interação tração + cisalhamento

$$\frac{A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} - 1,90 \cdot F_{Sdv} = 7,008 \text{ kN}$$

$$F_{Sdt} \leq \frac{A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} - 1,90 \cdot F_{Sdv} \quad \text{OK!}$$

Fonte: MCALC LIG, 2026.

Figura 45 – Verificação da Placa de bases

7.Cálculo do comprimento mínimo de ancoragem dos chumbadores de acordo com AISC - LRFD

$f_{ck} = 0.02 \text{ kN/mm}^2$ Resistência característica do concreto.
 $f_{yd} = 0.209 \text{ kN/mm}^2$ Resistência do chumbador à tração.

$d_{ch} = 6.35 \text{ mm}$ Diâmetro do chumbador
 $X = 31.75 \text{ mm}$ Distância mínima entre chumbadores

$L_{c \min} = 12 \cdot d_{ch} = 76.2 \text{ mm}$ Comprimento mínimo de ancoragem

7.1.Comprimento mínimo considerando o cone de arrancamento isolado

$A_{cone} = 2288.961 \text{ mm}^2$

$$L_c = \sqrt{\frac{A_{cone}}{\pi}} = 26.993 \text{ mm}$$

$L_{cadotado} = 50 \text{ mm}$

7.2.Comprimento mínimo considerando o cone de arrancamento com sobreposição

$A_{cone} = 5487.4 \text{ mm}^2$

$R_{cone} = 0.055 \cdot A_{cone} \cdot f_{ck} = 6.036 \text{ kN}$ Resistência do cone ao arrancamento

$R_{cone} \geq T_o$ **OK!**

8.Verificação da placa de base

$t_p = 7.94 \text{ mm}$ Espessura da placa de base.

$$t_{p \min} = \sqrt{\frac{16 \cdot M_p}{3 \cdot L \cdot f_y}} = 4.933 \text{ mm} \text{ Espessura mínima em função da tração máxima no chumbador.}$$

$t_p \geq t_{p \min}$ **OK!**

9.Verificação das soldas do perfil com a placa de base

$A = 60 \text{ cm}^2/\text{cm}$ Área dos filetes de solda.
 $W = 233.333 \text{ cm}^3/\text{cm}$ Módulo elástico dos filetes de solda.

$$f_b = \frac{M_{sd}}{W} = 0 \text{ kN/mm} \text{ Solicitação devido à flexão}$$

$$f_v = \frac{V_{sd}}{A} = 0.008 \text{ kN/mm} \text{ Solicitação devido ao cortante}$$

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + 3 \cdot f_v^2} = 0.014 \text{ kN/mm} \text{ Solicitação resultante na solda}$$

$$f_{MB} = \frac{0.6 \cdot b_w \cdot f_y}{1.10} = 1.083 \text{ kN/mm} \text{ Resistência de cálculo do metal base}$$

$$f_{MS} = \frac{0.6 \cdot b_w / \sqrt{2} \cdot f_w}{1.35} = 1.21 \text{ kN/mm} \text{ Resistência de cálculo do metal solda}$$

$$f_{Rd} = 1.083 \text{ kN/mm}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_r}{f_{Rd}} = 0.013 \leq 1.0 \text{ OK!}$$

Fonte: MCALC LIG, 2026.

6 CONSIDERAÇÃO FINAL DO PROJETO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

Este Memorial Descritivo do Projeto de Estruturas Metálicas foi desenvolvido em conformidade com as normas técnicas aplicáveis, legislações vigentes e critérios técnicos pertinentes à disciplina envolvida, visando garantir condições adequadas de segurança, funcionalidade, desempenho, durabilidade e qualidade da edificação.

Todos os serviços devem ser executados em conformidade com o projeto executivo, detalhes construtivos, especificações técnicas e orientações dos fabricantes, observando-se as boas práticas de engenharia e construção civil.

Os materiais e equipamentos empregados na obra devem apresentar qualidade compatível com as especificações de projeto e atender às exigências normativas vigentes.

Eventuais dúvidas, divergências ou situações não previstas no projeto devem ser previamente submetidas à apreciação da fiscalização e dos responsáveis técnicos, antes da execução dos serviços correspondentes.

A conclusão da obra deve contemplar a realização dos testes, verificações, ajustes, limpezas e demais procedimentos necessários ao pleno funcionamento dos sistemas e à adequada entrega da edificação.

SINVAL
LADEIRA:13
797247672

Assinado de forma
digital por SINVAL
LADEIRA:1379724
7672
Dados: 2026.06.15
11:49:20 -03'00'