



TEMA:

TRELIÇAS PLANAS DE AÇO PARA COBERTURAS

MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO

PROJETO:

COBERTURA DE UM GINÁSIO POLIESPORTIVO

SUMÁRIO

1. OBJETIVO	4
2. CARACTERÍSTICAS DA OBRA	4
2.1. DIMENSÕES E PARTICULARIDADES.....	4
2.2. ESTRUTURA DE AÇO	5
2.3. ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	8
3. PROGRAMAS E FERRAMENAS UTILIZADAS	8
4. NORMAS TÉCNICAS.....	8
5. AÇÕES.....	8
5.1. CARGAS GRAVITACIONAIS	8
5.2. SOBRECARGA (SC)	9
5.3. AÇÃO DO VENTO	9
6. ESFORÇOS RESULTANTES	10
6.1. TESOURAS	10
6.2. TERÇAS DE COBERTURA.....	12
7. SOLICITAÇÕES NOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	12
7.1. TESOURA → PESO PRÓPRIO (PP)	13
7.2. TESOURA → AÇÕES PERMANENTES (AP)	13
7.3. TESOURA → SOBRECARGA (SC).....	13
7.4. TESOURA → VENTO 0° (V1) $C_{pe} - C_{pi} (+0,20)$	13
7.5. TESOURA → VENTO 90° (V2) $C_{pe} - C_{pi} (+0,20)$	14
7.6. TERÇAS DE COBERTURA.....	14
7.7. TIRANTES DAS TERÇAS DE COBERTURA	14
7.8. TIRANTES DE CONTRAVENTAMENTO.....	15
7.9. MÃOS FRANCESAS	15
8. COMBINAÇÕES	16
8.1. COMBINAÇÕES ÚLTIMAS.....	16
8.2. COMBINAÇÕES DE SERVIÇO	16
9. DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	16
9.1. TESOURA	16

9.2.	TERÇA DE COBERTURA	34
9.3.	TIRANTE DAS TERÇAS DE COBERTURA.....	35
9.4.	TIRANTE DE CONTRAVENTAMENTOS	35
9.5.	MÃOS FRANCESAS	36
10.	VERIFICAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS.....	38
10.1.	TESOURA	38
10.2.	TERÇAS DE COBERTURA.....	39
11.	LISTA DE MATERIAIS – MODELO UNIFILAR	39
12.	LIGAÇÕES.....	40
12.1.	LIGAÇÃO EM NÓ DAS DIAGONAIS E MONTANES DAS TESOURAS	40
12.2.	EMENDA DAS TESOURAS.....	43
12.3.	APOIO DAS TESOURAS NOS PILARES DE CONCRETO.....	47
12.4.	CONTRAVENTAMENTO	49
12.5.	MÃO FRANCESA	51
13.	LISTA DE MATERIAIS – PROJETO EXECUTIVO	52
14.	CONCLUSÃO TÉCNICA.....	53
15.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. OBJETIVO

O presente memorial tem o objetivo de apresentar a concepção estrutural e o dimensionamento de uma cobertura em estrutura de aço para um ginásio poliesportivo.

2. CARACTERÍSTICAS DA OBRA

2.1. DIMENSÕES E PARTICULARIDADES

Abaixo estão relacionados às dimensões e particularidades da edificação:

- Largura: 25,0 m;
- Comprimento: 40,0 m;
- Pé-direito livre: 7,5 m (pilares de concreto armado);
- Área: 1.000,00 m²;
- Número de águas: 2;
- Inclinação da cobertura: 10,0%;
- Modulação das tesouras: 25,0 m x 5,0 m;
- Função: Ginásio Poliesportivo; e
- Localização: Guarulhos – SP.

As Figuras 1 e 2 ilustram a edificação, mostrando a tesouras de cobertura e a vista da edificação em planta com suas respectivas dimensões.

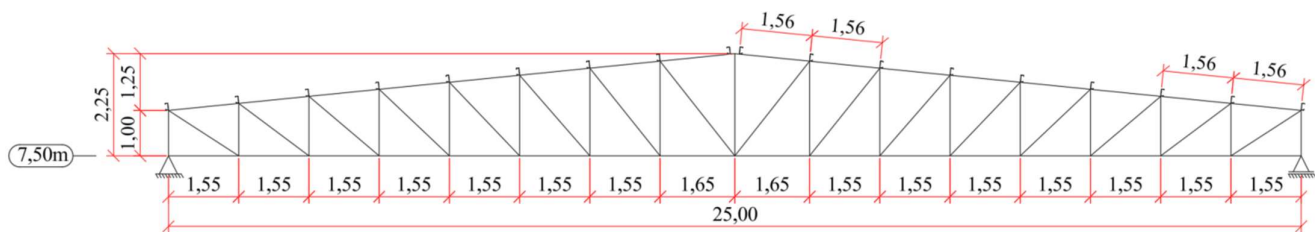


Figura 1 - Corte transversal da Cobertura (unidades em "m")

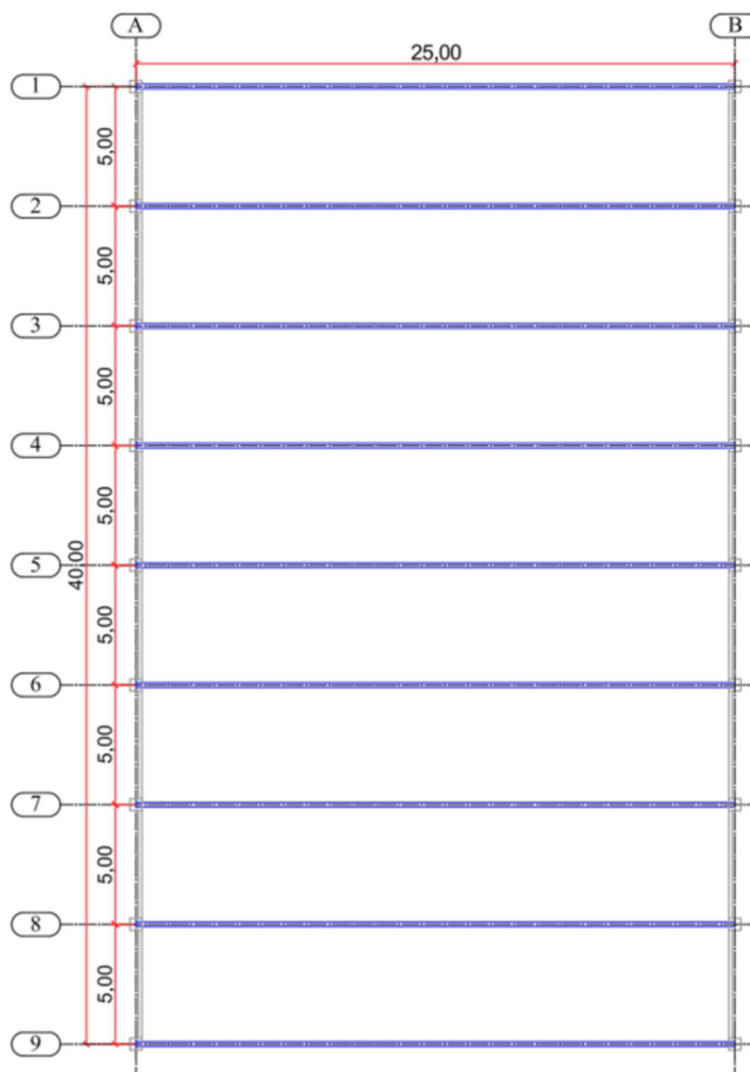


Figura 2 - Vista em planta da Cobertura (unidades em "m")

2.2. ESTRUTURA DE AÇO

2.2.1. Estrutura Principal

A estrutura principal é composta por tesouras treliçadas, formadas por banzos em perfis “U” dobrados a frio e por diagonais e montantes em perfis “L” laminados, dispostos em pares compostos. As tesouras estão espaçadas a cada 5,0 m, vencendo vãos de 25,0 m. A cobertura é do tipo duas águas, com inclinação de 10% e montantes de extremidade com altura de 1,0 m (Ribeiro et al., 2025). A altura total da tesoura é de 2,25 m, resultando em uma razão flecha/vão de 1/11 (Rezende et al., 2024). O modelo estrutural adotado é de treliça isostática, apoiada em pilares de concreto, sendo um apoio de primeiro gênero e o outro de segundo gênero.

2.2.2. Estrutura Secundária

A estrutura secundária da cobertura é composta por terças em perfil “U” dobrado a frio, dispostas como elementos biapoiados, vencendo vãos de 5,0 m. As terças recebem um travamento intermediário por meio de uma linha de tirantes, localizada no plano das telhas de cobertura.

2.2.3. Estabilidade

Na direção transversal, a estabilidade é garantida pelas tesouras em conjunto com o sistema de contraventamento, formado por barras redondas dispostas no plano de cobertura e no banzo inferior das tesouras, posicionados nos vãos de extremidade. Já na direção longitudinal, a estabilidade é assegurada pelo mesmo sistema de contraventamento, complementado pelo uso de mãos francesas em perfis “L” laminados, que promovem o travamento do banzo inferior das tesouras.

2.2.4. Cobertura

A cobertura será composta por telhas metálicas do tipo sanduíche, dimensionadas para vencer vãos típicos de 1,56 m, proporcionando maior conforto térmico e acústico ao ambiente. Sobre a cobertura serão instalados painéis fotovoltaicos destinados à geração de energia solar.

As telhas serão fixadas às terças por meio de parafusos autoatarraxantes com arruelas de vedação, garantindo a estanqueidade

2.2.5. Materiais e Proteção

A estrutura será executada em aço carbono, utilizando perfis laminados dimensionados conforme a NBR 8800 (ABNT, 2024) e perfis formados a frio dimensionados conforme a NBR 14762 (ABNT, 2010). Os elementos de ligação serão constituídos por parafusos estruturais e eletrodos especificados em projeto, em conformidade com as normas técnicas aplicáveis.

As telhas metálicas do tipo sanduíche, empregadas na cobertura, serão fornecidas com proteção de fábrica por galvanização e pintura eletrostática, em conformidade com os requisitos de desempenho estabelecidos em norma.

Para a estrutura metálica, será adotado sistema de pintura anticorrosiva constituído por primer e esmalte sintético, com acabamento em cor a ser definida em projeto arquitetônico, conforme recomendações normativas aplicáveis.

2.2.6. Fabricação e Transporte

A fabricação da estrutura metálica será realizada em ambiente industrial controlado, utilizando perfis estruturais laminados e formados a frio disponíveis no mercado, eliminando a necessidade de processos adicionais de conformação. As etapas de fabricação compreenderão operações de corte, furação e soldagem, executadas de acordo com as tolerâncias e critérios estabelecidos nas normas técnicas pertinentes. A estrutura foi projetada de modo a padronizar o máximo possível as peças, evitando a diversidade excessiva de perfis e elementos estruturais. Essa padronização contribui para a redução de erros de fabricação e para a agilidade do processo produtivo.

As ligações soldadas serão realizadas em fábrica, garantindo qualidade e precisão dimensional. Nos casos em que os elementos estruturais ultrapassem as dimensões usuais de transporte rodoviário, sendo

adotado as dimensões de transporte rodoviário de 2,30 m x 13,00 m (Pinho, 2018), serão previstas emendas parafusadas, projetadas de forma a assegurar o desempenho estrutural e facilitar a montagem em obra.

Todos os procedimentos de fabricação deverão atender às prescrições normativas aplicáveis, bem como às boas práticas de execução para estruturas de aço.

2.2.7. Montagem

A montagem da estrutura será realizada por meio de ligações parafusadas, opção que garante maior rapidez de execução, facilidade de inspeção e manutenção, além de eliminar os riscos associados à soldagem em campo, como variações de qualidade, dificuldades de acesso e exposição a condições climáticas adversas.

O projeto foi desenvolvido de forma a padronizar os elementos estruturais, buscando o máximo de repetição de peças. Assim, as tesouras são idênticas entre si em todos os eixos, as terças foram dimensionadas em apenas dois modelos (um tipo para as extremidades e outro para os vãos internos), e os demais elementos seguem o mesmo princípio de uniformização.

Essa padronização confere maior agilidade ao processo de montagem, reduz a probabilidade de erros de execução em obra e facilita o controle de qualidade, assegurando a precisão dimensional e a estabilidade global da estrutura.

2.2.8. Manutenção da Estrutura

A manutenção da estrutura em aço deve priorizar o controle da corrosão e a verificação da estabilidade global e local. Entre as falhas mais recorrentes em estruturas metálicas destacam-se: corrosão localizada ou generalizada, deformações excessivas, flambagem local ou global, e fraturas oriundas de detalhes construtivos inadequados ou de sobrecargas (Rosa e Pravia, 2011).

Para prevenir tais problemas, recomenda-se a elaboração e cumprimento de um plano de inspeção periódica, contemplando a verificação das condições da pintura anticorrosiva, a drenagem das águas pluviais e a integridade das ligações estruturais. A reposição do sistema de proteção superficial deve ser realizada sempre que identificados sinais de deterioração, bem como reparos corretivos imediatos nas partes afetadas (Rosa e Pravia, 2011).

Todas as intervenções deverão estar em conformidade com as normas técnicas aplicáveis e com as boas práticas de manutenção de estruturas metálicas.

2.2.9. Comportamento Estrutural em caso de Incêndio

Para atender às exigências normativas de segurança contra incêndio, serão previstas medidas de proteção passiva, como pinturas intumescentes, argamassas projetadas ou painéis cimentícios, de modo a garantir o tempo de resistência ao fogo exigido pela legislação. Após exposição ao fogo, a estrutura deverá ser inspecionada, reparada e a proteção reconstituída.

2.3. ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Abaixo estão relacionados os materiais utilizados no dimensionamento da edificação:

- Perfis laminados (planos e não planos) e soldados $\rightarrow f_y = 345 \text{ MPa}$ e $f_u = 450 \text{ MPa}$;
- Perfis tubulares e formados a frio, chumbadores e tirantes $\rightarrow f_y = 250 \text{ MPa}$ e $f_u = 400 \text{ MPa}$;
- Massa específica do aço $\rightarrow 7850 \text{ kg/m}^3$;
- Ligações principais com parafusos ASTM A-325 e ligações secundárias com parafusos ASTM A-307;
- Eletrodo E70xx.

3. PROGRAMAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Abaixo estão relacionados os programas e ferramentas utilizados no dimensionamento da edificação:

- Cálculo Manual \rightarrow levantamento das ações solicitantes, dimensionamento de perfis e ligações;
- FTOOL \rightarrow levantamento das ações solicitantes; e
- Planilhas de Excel \rightarrow dimensionamento de perfis e ligações.

4. NORMAS TÉCNICAS

Para o dimensionamento estrutural foram utilizadas as seguintes normas técnicas:

- **ABNT NBR 6120 (2019)** \rightarrow Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- **ABNT NBR 6123 (2023)** \rightarrow Forças devidas ao vento em edificações;
- **ABNT NBR 8681 (2021)** \rightarrow Ações e segurança nas estruturas;
- **ABNT NBR 8800 (2024)** \rightarrow Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- **ABNT NBR 14762 (2010)** \rightarrow Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- **ABNT NBR 15575 (2021)** \rightarrow Edificações habitacionais – Desempenho;
- **ANSI/AISC 360** \rightarrow American Institute of Steel Construction-Allowable; e
- **ASTM** \rightarrow American Society for Testing Materials (especificações de parafusos).

5. AÇÕES

5.1. CARGAS GRAVITACIONAIS

Segue abaixo as cargas gravitacionais aplicadas no galpão, onde “PP” é o peso próprio das estruturas metálicas e “AP” são as ações permanentes que podem vir a sofrer adição de peso *in loco*:

- **Peso Próprio da cobertura (PP)** $\rightarrow 12,0 \text{ kgf/m}^2$ (aplicado sobre as tesouras);
- **Peso próprio das terças (PP)** $\rightarrow 4,6 \text{ kgf/m}$ (aplicado sobre as terças);
- **Outras estruturas (PP)** $\rightarrow 2,0 \text{ kgf/m}^2$ (aplicado sobre as terças);
- **Telha de cobertura (AP)** $\rightarrow 10,0 \text{ kgf/m}^2$ (aplicado sobre as terças e tesouras);

- **Painéis fotovoltaicos (AP)** → 3,75 kgf/m² (aplicado sobre as terças e tesouras); e
- **Utilidades (AP)** → 15,0 kgf/m² (aplicado sobre as terças e tesouras).

5.2. SOBRECARGA (SC)

- **Sobrecarga acidental** - NBR 6120 (ABNT, 2019) → 25,0 kgf/m² (aplicado sobre as terças e tesouras);
- **Carga concentrada nas terças** - NBR 6120 (ABNT, 2019) → 100,0 kgf (aplicado sobre as terças).

5.3. AÇÃO DO VENTO

As ações do vento foram determinadas conforme as diretrizes da NBR 6123 (ABNT, 2023), conforme apresentado a seguir.

5.3.1. Cálculo da Pressão Dinâmica (P_{din})

A Tabela 1 mostra os parâmetros para a determinação da velocidade característica do vento.

Tabela 1 – Velocidade básica do vento “ V_k ” e os fatores “ S_1 ”, “ S_2 ” e “ S_3 ”

Velocidade básica do vento	$V_o = 38,0$ m/s	Cidade de Guarulhos - SP
Fator topográfico "S_1"	$S_1 = 1,0$	Terreno plano
Fator de rugosidade "S_2"	$S_2 = 0,83$	Categoria IV; Classe B; e $z = 9,75$ m
Fator estatístico "S_3"	$S_3 = 1,06$	Capacidade de aglomeração > 300 pessoas

Cálculo da velocidade característica do vento e da pressão dinâmica para $z = 9,75$ m:

- $V_k = 38 \times 1 \times 0,83 \times 1,06 = 33,43$ m/s
- $P_{din} = 0,0613 \cdot 33,43^2 = 68,5$ kgf/m²

5.3.2. Coeficientes de Pressão Externa (C_{pe})

A abaixo estão listados os parâmetros para a determinação dos coeficientes de pressão externa do vento e a Figura 2 mostra os coeficientes de pressão externa de parede e cobertura da edificação.

- Maior dimensão em planta → $a = 40,0$ m
- Menor dimensão em planta → $b = 25,0$ m
- Altura → $h = 8,5$ m
- Inclinação da cobertura → $i = 10,0\%$ ($5,71^\circ$)
- $h/b = 0,34$ ($h/b \leq 1/2$)
- $a/b = 1,6$ ($3/2 < a/b < 2$)

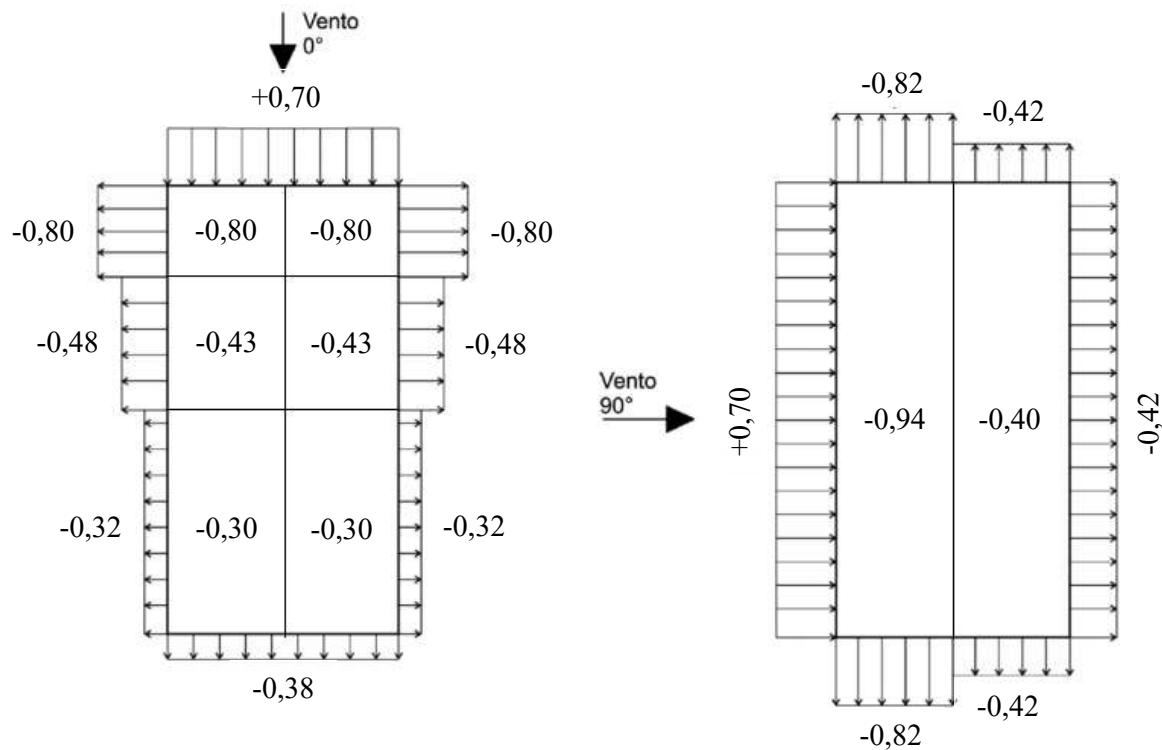


Figura 3 - Coeficientes de pressão externa - Paredes e Cobertura

5.3.3. Coeficientes de Pressão Interna (C_{pi})

Os coeficientes de pressão interna foram adotados como segue: $C_{pi} = +0,20$ e $-0,30$.

6. ESFORÇOS RESULTANTES

Abaixo estão os resultantes dos esforços devido às ações atuantes nas tesouras e terças de cobertura mais solicitadas da edificação.

6.1. TESOURAS

Os cálculos apresentados a seguir correspondem aos esforços resultantes atuantes na tesoura e nos nós mais solicitados. As Figuras 4 a 8 ilustram as ações aplicadas em cada um dos respectivos nós da tesoura.

$$PP_{\text{cobertura}} = 12 \times 5 \times 1,56 = 93,6 \text{ kgf} \approx 0,10 \text{ tf}$$

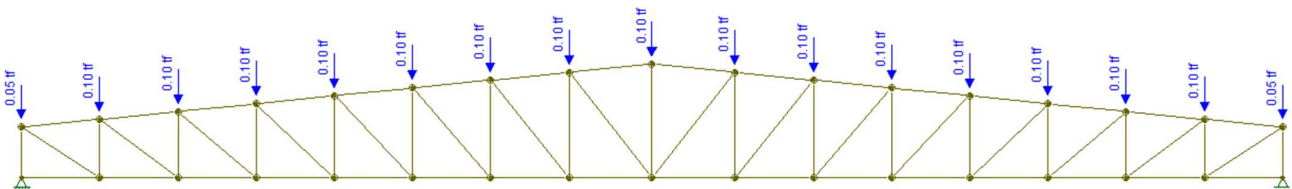


Figura 4 - Esforços resultantes do Peso Próprio da estrutura (PP)

$$AP_{\text{telha}} + AP_{\text{util}} + AP_{\text{painel}} = (10 + 15 + 3,75) \times 5 \times 1,56 = 224,3 \text{ kgf} \approx 0,23 \text{ tf}$$

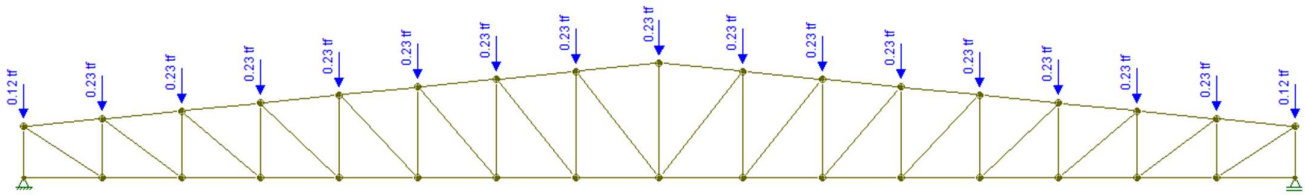


Figura 5 - Esforços resultantes das Ações Permanentes (AP)

$$SC = 25 \times 5 \times 1,55 = 193,8 \text{ kgf} \approx 0,20 \text{ tf}$$

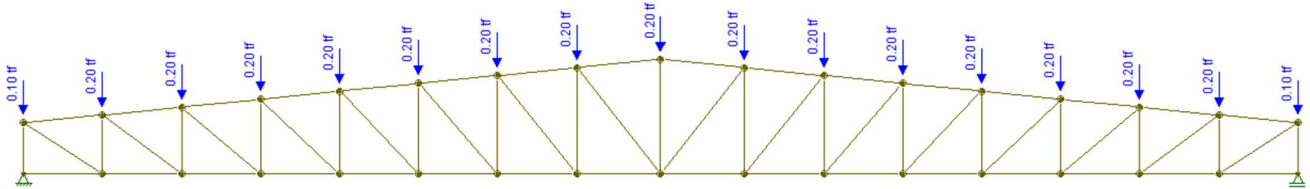


Figura 6 - Esforços resultantes da Sobrecarga (SC)

$$V_{E,D,vert.} = (-0,8 - 0,2) \times 68,5 \times 5 \times 1,56 \times \cos 5,71^\circ = -531,6 \text{ kgf} \approx -0,54 \text{ tf}$$

$$V_{E,D,horiz.} = (-0,8 - 0,2) \times 68,5 \times 5 \times 1,56 \times \sin 5,71^\circ = -53,2 \text{ kgf} \approx -0,06 \text{ tf}$$

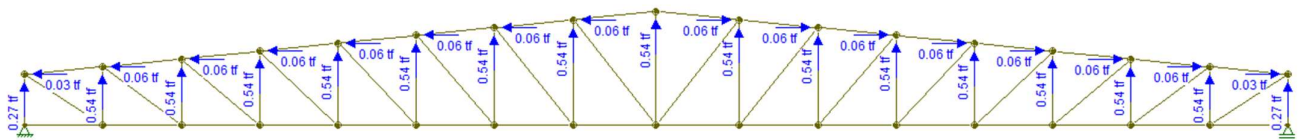


Figura 7 - Esforços resultantes devido ao Vento 0° (V1) → Cpe - Cpi (+0,20)

$$V_{E,vert.} = (-0,94 - 0,2) \times 68,5 \times 5 \times 1,56 \times \cos 5,71^\circ = -606,1 \text{ kgf} \approx -0,61 \text{ tf}$$

$$V_{E,horiz.} = (-0,94 - 0,2) \times 68,5 \times 5 \times 1,56 \times \sin 5,71^\circ = -60,6 \text{ kgf} \approx -0,07 \text{ tf}$$

$$V_{D,vert.} = (-0,4 - 0,2) \times 68,5 \times 5 \times 1,56 \times \cos 5,71^\circ = -319,0 \text{ kgf} \approx -0,32 \text{ tf}$$

$$V_{D,horiz.} = (-0,4 - 0,2) \times 68,5 \times 5 \times 1,56 \times \sin 5,71^\circ = -31,9 \text{ kgf} \approx -0,04 \text{ tf}$$

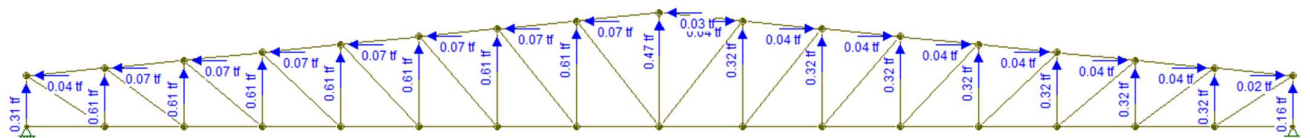


Figura 8 - Esforços resultantes devido ao Vento 90° (V2) → Cpe - Cpi (+0,20)

O coeficiente de pressão interna de “-0,3” apresenta valor menor ou igual aos coeficientes de pressão externa. Dessa forma, não gera esforços (vento de sobrepressão) atuando na mesma direção das ações gravitacionais (PP, AP e SC), não sendo, portanto, necessário considerá-lo no dimensionamento da cobertura.

6.2. TERÇAS DE COBERTURA

Os cálculos apresentados a seguir correspondem aos esforços resultantes atuantes nas terças mais solicitadas. As Figuras 9 e 10 ilustram a aplicação desses esforços, responsáveis pela geração do momento fletor máximo em torno do eixo de maior inércia da terça.

$$PP_{\text{terça}} + PP_{\text{outros}} = [4,6 + (2 \times 1,56)] \times \cos 5,71^\circ = 7,7 \text{ kgf/m}$$

$$AP_{\text{telha}} + AP_{\text{útil}} + AP_{\text{painel}} = (10 + 15 + 3,75) \times 1,56 \times \cos 5,71^\circ = 44,7 \text{ kgf/m}$$

$$SC_1 = 25 \times 1,55 \times \cos 5,71^\circ = 38,6 \text{ kgf/m}$$

$$SC_2 = 100 \times \cos 5,71^\circ = 38,6 \text{ kgf/m}$$

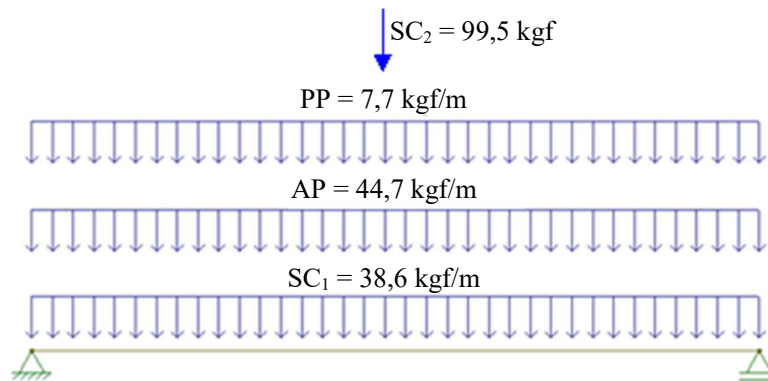


Figura 9 - Esforços resultantes devido as cargas gravitacionais

$$V_{\text{suc}} = (-0,94-0,2) \times 68,5 \times 1,56 = -121,8 \text{ kgf/m}$$

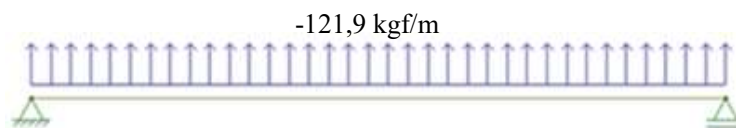


Figura 10 - Esforços resultantes devido ao vento

Como descrito acima, a solicitação dos ventos não gera esforços de sobrepressão atuando na mesma direção das ações gravitacionais (PP, AP e SC), não sendo, portanto, necessário considerar o coeficiente de pressão interna (-0,3) no dimensionamento.

7. SOLICITAÇÕES NOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

As Figuras 11 a 15, juntamente com os cálculos a seguir, apresentam as solicitações características de compressão, tração e flexão atuantes nas tesouras e terças de cobertura, obtidas a partir dos esforços resultantes do Item 6, além dos esforços de tração nos tirantes das terças, nos tirantes de contraventamento e nas mãos francesas.

7.1. TESOURA → PESO PRÓPRIO (PP)

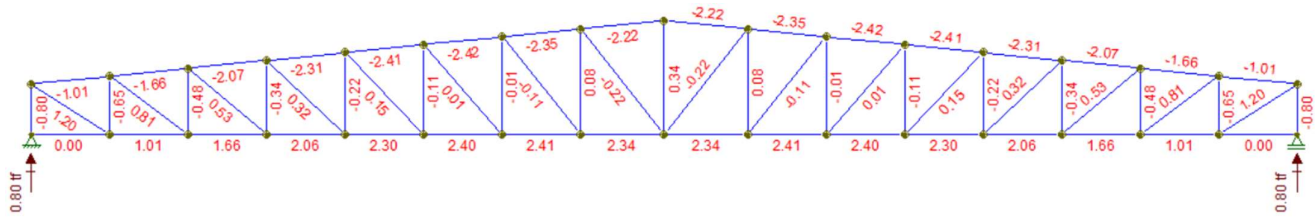


Figura 11 – Solicitações devido ao Peso Próprio da estrutura (PP)

7.2. TESOURA → AÇÕES PERMANENTES (AP)

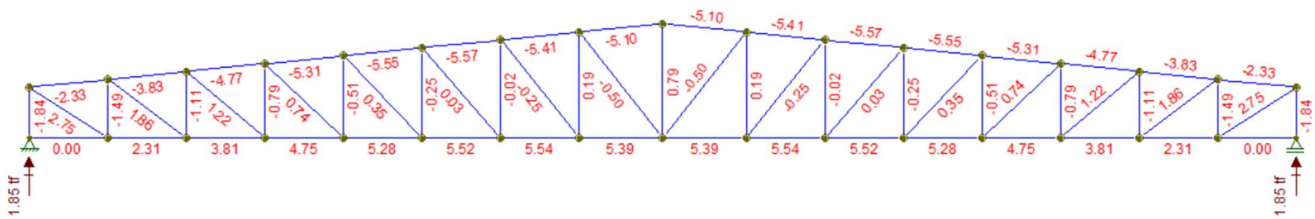


Figura 12 - Solicitações devido as Ações Permanentes (AP)

7.3. TESOURA → SOBRECARGA (SC)

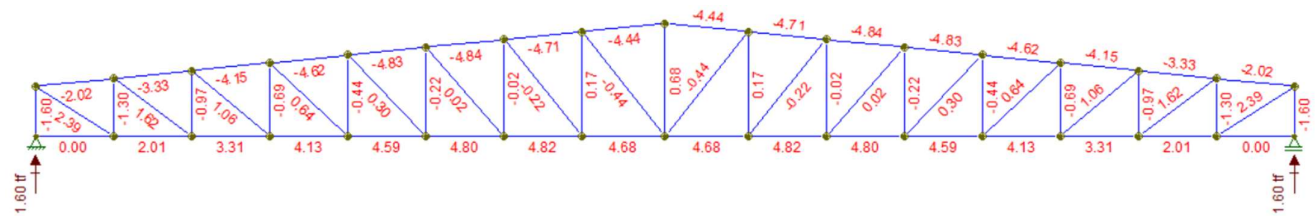


Figura 13 - Solicitações devido à Sobrecarga (SC)

7.4. TESOURA → VENTO 0° (V1) → Cpe - Cpi (+0,20)

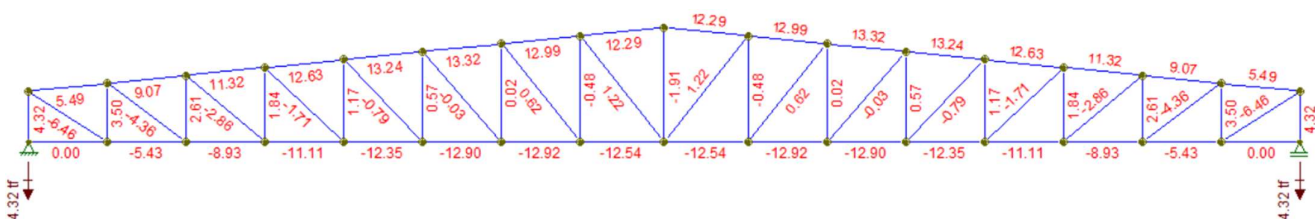


Figura 14 - Solicitações devido ao Vento 0° (V1) → Cpe - Cpi (+0,20)

7.5. TESOURA → VENTO 90° (V2) → Cpe - Cpi (+0,20)

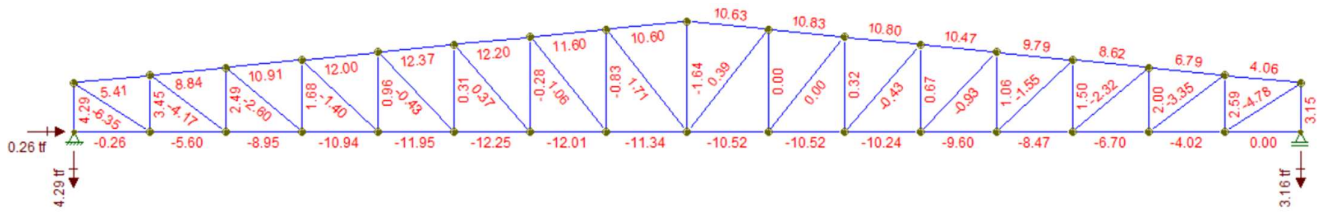


Figura 15 - Solicitações devido ao Vento 90° (V2) → Cpe - Cpi (+0,20)

7.6. TERÇAS DE COBERTURA

Segue abaixo os momentos fletores atuantes nas terças de cobertura:

- PP → $M_{PP} = 7,7 \times 5^2 / 8 = 24,1 \text{ kgf.m}$
- AP → $M_{AP} = 44,7 \times 5^2 / 8 = 139,7 \text{ kgf.m}$
- SC₁ → $M_{SC1} = 38,6 \times 5^2 / 8 = 120,6 \text{ kgf.m}$
- SC₂ → $M_{SC2} = 99,5 \times 5 / 4 = 124,4 \text{ kgf.m}$
- V_{suc} → $M_{V_{suc}} = -121,8 \times 5^2 / 8 = 380,6 \text{ kgf.m}$

7.7. TIRANTES DAS TERÇAS DE COBERTURA

Segue abaixo as solicitações resultantes atuantes nos tirantes das terças cobertura:

- PP = $[(4,6/1,56) + 2] \times 2,5 \times \sin 5,71^\circ = 1,23 \text{ kgf/m}$
- AP = $(15 + 3,75) \times 2,5 \times \sin 5,71^\circ = 4,68 \text{ kgf/m}$
- SC₁ = $(25 \times \cos 5,71^\circ) \times 2,5 \times \sin 5,71^\circ = 6,19 \text{ kgf/m}$
- SC₂ = $[100/(1,56 \times 6)] \times 2,5 \times \sin 5,71^\circ = 2,67 \text{ kgf/m} < SC_1 \rightarrow \text{não será utilizado}$

A Figura 16 mostra as dimensões necessárias da estrutura para determinação da área de influência de ações nos tirantes e a posição dos tirantes “T1” e “T2”.

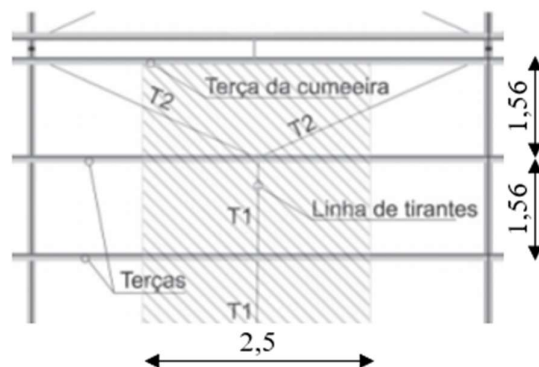


Figura 16 – Disposição das linhas de tirantes na cobertura e sua área de influência

Esforços solicitantes de tração atuantes nos tirantes:

Tirantes 1:

- $PP = 1,23 \times (7 \times 1,56) = 13,43 \text{ kgf}$
- $AP = 4,68 \times (7 \times 1,56) = 51,11 \text{ kgf}$
- $SC_1 = 6,19 \times (7 \times 1,56) = 67,59 \text{ kgf}$

Tirantes 2:

- $\arctan \alpha = 1,56/2,5 \rightarrow \alpha = 32^\circ$
- $PP = 1,23 \times (8 \times 1,56) / (\sin 32^\circ \times 2) = 14,48 \text{ kgf}$
- $AP = 4,68 \times (8 \times 1,56) / (\sin 32^\circ \times 2) = 55,11 \text{ kgf}$
- $SC_1 = 6,19 \times (8 \times 1,56) / (\sin 32^\circ \times 2) = 72,89 \text{ kgf}$

7.8. TIRANTES DE CONTRAVENTAMENTO

A seguir, apresentam-se as solicitações de tração atuantes nos tirantes de contraventamento paralelos ao plano da cobertura. Para a determinação do esforço de tração, foi considerado a possibilidade da instalação futura de um fechamento lateral ocupando a área da tesoura. O contraventamento com a maior área de influência está localizado no centro das tesouras no banzo inferior (Figura 17).

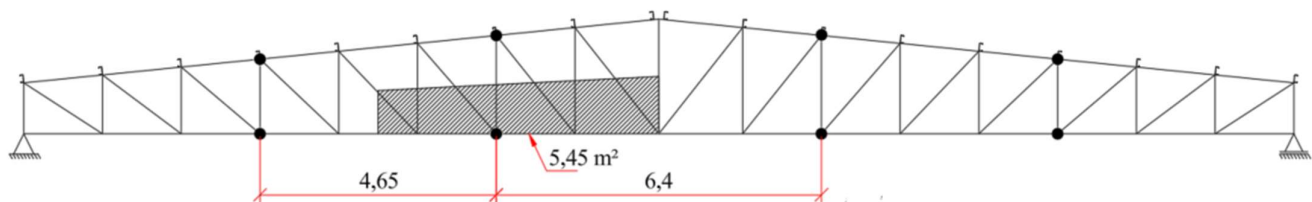


Figura 17 – Maior área de influência entre os contraventamentos

- $N_{t,Sk} = (0,7 + 0,3) \cdot 68,5 \cdot 5,45 \cdot \frac{\sqrt{6,4^2 + 5^2}}{5} = 607 \text{ kgf}$

7.9. MÃOS FRANCESAS

Segue abaixo as solicitações resultantes atuantes nos tirantes das terças cobertura. Para a determinação do esforço compressão, foi considerado a possibilidade da instalação futura de um fechamento lateral ocupando a área da tesoura como já mencionado no Item 7.8. O ângulo de inclinação da mão francesa foi retirado do projeto executivo e é igual a 32° .

- $V_{\text{frontal}} = (0,7 + 0,3) \cdot 68,5 \cdot 5,45 = 374 \text{ kgf}$
- $N_{c,Rd} = \frac{374}{\sin 32^\circ} = 706 \text{ kgf}$

8. COMBINAÇÕES

Abaixo estão relacionadas as combinações últimas e de serviço para o dimensionamento do pórtico da estrutura, segundo a NBR 8800 (ABNT, 2024).

8.1. COMBINAÇÕES ÚLTIMAS

- **Comb. 1** → $1,25 \times \text{Peso Próprio} + 1,4 \times \text{Ação Permanente} + 1,5 \times \text{Sobre Carga} + 1,4 \times 0,6 \times \text{Vento Sobrepressão}$;
- **Comb. 2** → $1,25 \times \text{Peso Próprio} + 1,4 \times \text{Ação Permanente} + 1,5 \times 0,8 \times \text{Sobre Carga} + 1,4 \times \text{Vento Sobrepressão}$;
- **Comb. 3** → $1,0 \times \text{Peso Próprio} + 1,0 \times \text{Ação Permanente} + 1,4 \times \text{Vento Sucção}$.

8.2. COMBINAÇÕES DE SERVIÇO

- **Comb. 1** → $1,0 \times \text{Peso Próprio} + 1,0 \times \text{Ação Permanente} + 0,7 \times \text{Sobre Carga} + 0,0 \times \text{Vento Sobrepressão}$;
- **Comb. 2** → $1,0 \times \text{Peso Próprio} + 1,0 \times \text{Ação Permanente} + 0,6 \times \text{Sobre Carga} + 0,3 \times \text{Vento Sobrepressão}$; e
- **Comb. 3** → $1,0 \times \text{Peso Próprio} + 1,0 \times \text{Ação Permanente} + 0,3 \times \text{Vento Sucção}$.

9. DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A seguir apresenta-se o dimensionamento dos elementos estruturais — tesouras, terças, tirantes das terças, tirantes de contraventamento e mãos francesas — verificados nos estados limites últimos, conforme as normas NBR 8800 (ABNT, 2024) e NBR 14762 (ABNT, 2010).

9.1. TESOURA

A Figura 18 abaixo apresenta a numeração das barras que compõem as tesouras, facilitando sua identificação. Os dimensionamentos à tração e à compressão estão organizados da seguinte forma: Tabelas 3 e 6 para os banzos em perfis U formados a frio; Tabelas 4 e 7 para os montantes em perfis compostos por cantoneiras laminadas; e Tabelas 5 e 8 para as diagonais, também em perfis compostos por cantoneiras laminadas.

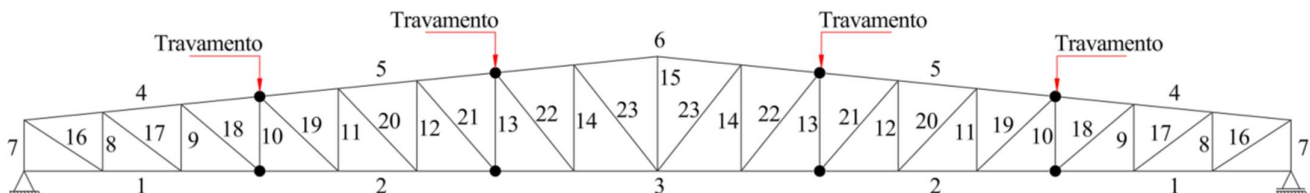


Figura 18 – Numeração das barras da tesoura

Tabela 3 – Dimensionamento à tração dos banzos da tesoura

Verificação da Tração nos Banzos da Tesoura						
Barra →	1	2	3	4	5	6
Perfil →	U200x75x3	U200x75x3	U200x75x3	U200x75x4.75	U200x75x4.75	U200x75x4.75
Lx (cm) =	465	465	640	467	467	644
Ly (cm) =	155	155	165	156	156	166
Vertificação da Esbeltez						
λx =	60.01 < 300	60.01 < 300	82.59 < 300	60.86 < 300	60.86 < 300	83.92 < 300
λy =	67.55 < 300	67.55 < 300	71.91 < 300	68.56 < 300	68.56 < 300	72.96 < 300
Escoamento Seção bruta						
Ag (cm²) =	10.14	10.14	10.14	15.72	15.72	15.72
N _{T,Rd} (kgf) =	23045	23045	23045	35727	35727	35727
Ruptura Seção Líquida						
Ae (cm²) =	9.126	9.126	9.126	14.148	14.148	14.148
N _{T,Rd} (kgf) =	22124	22124	22124	34298	34298	34298
Solicitação						
N _{T,Sd} (kgf) =	12374	17928	17999	9008	10658	10426
Verificação						
N _{T,Sd} /N _{T,Rd} =	55.9%	81.0%	81.4%	26.3%	31.1%	30.4%

Tabela 4 – Dimensionamento à tração dos montantes da tesoura

Verificação da Tração nas Montantes									
Barra →	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Perfil →	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"
Lx (cm) =	100	116	131	147	162	178	193	209	225
Ly (cm) =	100	116	131	147	162	178	193	209	225
Verificação da Esbeltez									
λx =	11.7 < 300	13.6 < 300	15.4 < 300	17.3 < 300	19 < 300	20.9 < 300	22.7 < 300	24.5 < 300	26.4 < 300
λy =	83.5 < 300	96.8 < 300	109.3 < 300	122.7 < 300	135.2 < 300	148.6 < 300	161.1 < 300	174.4 < 300	187.8 < 300
Escoamento Seção bruta									
Ag (cm²) =	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64
NT,Rd (tf) =	14.55	14.55	14.55	14.55	14.55	14.55	14.55	14.55	14.55
Ruptura Seção Líquida									
Ae (cm²) =	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18
NT,Rd (tf) =	13.92	13.92	13.92	13.92	13.92	13.92	13.92	13.92	13.92
Solicitação									
NT,Sd (tf) =	3.41	2.76	2.07	1.45	0.91	0.44	0.00	0.63	2.56
Verificação									
NT,Sd/NT,Rd =	24.5%	19.8%	14.9%	10.4%	6.5%	3.2%	0.0%	4.5%	18.4%

Tabela 5 – Dimensionamento à tração das diagonais da tesoura

Verificação da Tração nas Diagonais								
Barra →	16	17	18	19	20	21	22	23
Perfil →	L2"X1/8"	L1.3/4"X1/8"	L1.3/4"X1/8"	L1.3/4"X1/8"	L1.3/4"X1/8"	L1.3/4"X1/8"	L1.3/4"X1/8"	L1.3/4"X1/8"
Lx (cm) =	184	193	203	213	224	236	248	266
Ly (cm) =	184	193	203	213	224	236	248	266
Verificação da Esbeltez								
λx =	22.3 < 300	23 < 300	24.2 < 300	25.4 < 300	26.7 < 300	28.1 < 300	29.5 < 300	31.7 < 300
λy =	115.2 < 300	136.6 < 300	143.7 < 300	150.8 < 300	158.5 < 300	167 < 300	175.5 < 300	188.3 < 300
Escoamento Seção bruta								
Ag (cm²) =	6.2	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42
NT,Rd (kgf) =	19.45	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Ruptura Seção Líquida								
Ae (cm²) =	5.58	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88
NT,Rd (tf) =	18.60	16.26	16.26	16.26	16.26	16.26	16.26	16.26
Solicitação								
NT,Sd (tf) =	8.94	6.05	3.97	2.40	1.13	0.60	1.13	1.68
Verificação								
NT,Sd/NT,Rd =	48.1%	37.2%	24.4%	14.8%	6.9%	3.7%	6.9%	10.3%

Tabela 6 – Dimensionamento à compressão dos banzos da tesoura

Verificação da Compressão nos Banzos da Tesoura						
Barra →	1	2	3	4	5	6
Perfil →	U200x75x3	U200x75x3	U200x75x3	U200x75x4.75	U200x75x4.75	U200x75x4.75
Lx (cm) =	465	465	640	467	467	644
Ly (cm) =	155	155	165	156	156	166
Verificação da Esbeltez						
$\lambda_x =$	60.01 < 200	60.01 < 200	82.59 < 200	60.86 < 200	60.86 < 200	83.92 < 200
$\lambda_y =$	67.55 < 200	67.55 < 200	71.91 < 200	68.56 < 200	68.56 < 200	72.96 < 200
Instabilidade por Flexão						
Nex (kgf) =	55589	55589	29345	83790	83790	44061
Ney (kgf) =	43866	43866	38710	66008	66008	58295
Nez (kgf) =	39835	39835	35489	67298	67298	60762
Nexz (kgf) =	31380	31380	21949	50907	50907	34570
$\lambda_o =$	0.90	0.90	1.07	0.88	0.88	1.07
$\chi =$	0.712	0.712	0.619	0.723	0.723	0.619
σ (kgf/cm²) =	1780	1780	1548	1808	1808	1548
bf/bw =	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
kl =	3.865	3.865	3.865	3.865	3.865	3.865
Nl (kgf) =	15940	15940	15940	61949	61949	61949
$\lambda_p =$	1.064	1.064	0.992	0.677	0.677	0.627
Aef (cm²) =	8.272	8.272	8.665	15.720	15.720	15.720
Resistência						
Nc,Rd (kgf) =	12270	12270	11174	23678	23678	20272
Solicitação						
Nc,Sd (kgf) =	7060	10140	10138	15491	18083	17577
Verificação						
Nc,Sd/Nc,Rd =	57.5%	82.6%	90.7%	65.4%	76.4%	86.7%

Tabela 7 – Dimensionamento à compressão dos montantes da tesoura

Verificação da Compressão nas Montantes									
Barra →	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Perfil →	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"	L1.1/2"X1/8"
Lx (cm) =	100	116	131	147	162	178	193	209	225
Ly (cm) =	100	116	131	147	162	178	193	209	225
Verificação da Esbeltez									
λx =	11.7 < 200	13.6 < 200	15.4 < 200	17.3 < 200	19 < 200	20.9 < 200	22.7 < 200	24.5 < 200	26.4 < 200
λy =	83.5 < 200	96.8 < 200	109.3 < 200	122.7 < 200	135.2 < 200	148.6 < 200	161.1 < 200	174.4 < 200	187.8 < 200
Espaçamento dos Travejamentos									
l (mm) =	333	387	437	490	540	593	643	697	750
l/rmin =	43.8	50.9	57.5	64.5	71.1	78.0	84.6	91.7	98.7
0,75 (L/r)o =	62.6	72.6	82.0	92.0	101.4	111.5	120.8	130.8	140.9
Verificação =	43.8 ≤ 62.6	50.9 ≤ 72.6	57.5 ≤ 82	64.5 ≤ 92	71.1 ≤ 101.4	78 ≤ 111.5	84.6 ≤ 120.8	91.7 ≤ 130.8	98.7 ≤ 140.9
Flambagem Global									
Nex (kgf) =	664027	493480	386940	307292	253020	209578	178267	152017	131166
Ney (kgf) =	13146	9770	7661	6084	5009	4149	3529	3010	2597
Nez (kgf) =	16369	12878	10697	9067	7956	7067	6426	5889	5462
1 - (xo/ro)² =	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Nexz (kgf) =	16348	12861	10682	9053	7943	7055	6414	5877	5450
Ne,m (kgf) =	10923	8111	6359	5052	4158	3447	2931	2499	2156
λo =	1.21	1.4	1.59	1.78	1.96	2.16	2.34	2.53	2.72
χ =	0.54	0.44	0.35	0.28	0.23	0.19	0.16	0.14	0.12
χ.fy (MPa) =	186.3	151.8	120.75	96.6	79.35	65.55	55.2	48.3	41.4
Flambagem Local									
b/t =	12.02	12.02	12.02	12.02	12.02	12.02	12.02	12.02	12.02
(b/t)lim =	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83
(b/t)lim/√χ =	14.74	16.33	18.31	20.47	22.58	24.85	27.08	28.94	31.26
σel (MPa) =									
bef (cm) =									
Aef (cm) =	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64
Resistência									
NC,Rd (tf) =	7.86	6.4	5.09	4.07	3.35	2.77	2.33	2.04	1.75
Solicitação									
NC,Sd (tf) =	5.98	4.85	3.61	2.57	1.65	0.82	0.46	0.90	1.55
Verificação									
NC,Sd/NC,Rd =	76.1%	75.8%	70.9%	63.1%	49.3%	29.6%	19.7%	44.1%	88.6%
Dimensionamento do Travejamento									
e (cm) =	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86
Q (kgf) =	102.9	102.9	102.9	102.9	102.9	102.9	102.9	102.9	102.9
T (kgf) =	203.3	236.3	266.8	299.1	329.7	362.0	392.6	425.5	457.9
M (kgf.cm) =	1714	1992	2249	2521	2779	3052	3310	3587	3860
fy,k (Mpa) =	345	345	345	345	345	345	345	345	345
tf (cm) =	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317
b (cm) =	4.445	4.445	4.445	4.445	4.445	4.445	5.08	5.08	5.08
W (cm³) =	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.36	1.36	1.36
σ (kgf/cm²) =	1648	1915	2163	2424	2672	2935	2434	2638	2838
σ / fy,d =	52.5%	61.1%	69.0%	77.3%	85.2%	93.6%	77.6%	84.1%	90.5%

Tabela 8 – Dimensionamento à compressão das diagonais da tesoura

Verificação da Compressão nas Diagonais								
Barra →	16	17	18	19	20	21	22	23
Perfil →	L2"x1/8"	L1.3/4"x1/8"	L1.3/4"x1/8"	L1.3/4"x1/8"	L1.3/4"x1/8"	L1.3/4"x1/8"	L1.3/4"x1/8"	L1.3/4"x1/8"
Lx (cm) =	184	193	203	213	224	236	248	266
Ly (cm) =	184	193	203	213	224	236	248	266
Verificação da Esbeltez								
λx =	22.3 < 200	23 < 200	24.2 < 200	25.4 < 200	26.7 < 200	28.1 < 200	29.5 < 200	31.7 < 200
λy =	115.2 < 200	136.6 < 200	143.7 < 200	150.8 < 200	158.5 < 200	167 < 200	175.5 < 200	188.3 < 200
Espaçamento dos Travejamentos								
l (mm) =	613	643	677	710	747	787	620	665
l/rmin =	60.1	72.2	76.1	79.8	83.9	88.4	69.7	74.7
0,75 (L/r)0 =	86.4	102.5	107.8	113.1	118.9	125.3	131.6	141.2
Verificação =	60.1 ≤ 86.4	72.2 ≤ 102.5	76.1 ≤ 107.8	79.8 ≤ 113.1	83.9 ≤ 118.9	88.4 ≤ 125.3	69.7 ≤ 131.6	74.7 ≤ 141.2
Flambagem Global								
Nex (kgf) =	246390	202649	183175	166379	150440	135530	122731	106683
Ney (kgf) =	9224	5734	5183	4708	4257	3835	3473	3019
Nez (kgf) =	11743	8428	7893	7431	6993	6583	6231	5790
1 - (xo/ro)² =	0.9	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
Nexz (kgf) =	11685	8403	7868	7407	6969	6560	6208	5767
Ne,m (kgf) =	7678	4752	4293	3900	3526	3177	3110	2704
λo =	1.67	1.98	2.09	2.19	2.3	2.43	2.45	2.63
χ =	0.31	0.22	0.2	0.18	0.17	0.15	0.15	0.13
χ.fy (MPa) =	106.95	75.9	69	62.1	58.65	51.75	51.75	44.85
Flambagem Local								
b/t =	16.03	14.02	14.02	14.02	14.02	14.02	14.02	14.02
(b/t)lim =	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83	10.83
(b/t)lim/√χ =	19.45	23.09	24.22	25.53	26.27	27.96	27.96	30.04
σel (MPa) =								
bef (cm) =								
Aef (cm) =	6.20	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42
Resistência								
NC,Rd (tf) =	6.03	3.74	3.4	3.06	2.89	2.55	2.55	2.21
Solicitação								
NC,Sd (tf) =	5.10	3.44	2.26	1.34	0.61	0.00	0.82	1.64
Verificação								
NC,Sd/NC,Rd =	84.6%	92.0%	66.5%	43.8%	21.1%	0.0%	32.2%	74.2%
Dimensionamento do Travejamento								
e (cm) =	16.2	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56
Q (kgf) =	124.0	108.4	108.4	108.4	108.4	108.4	108.4	108.4
T (kgf) =	469.2	420.9	443.2	464.8	489.0	515.2	405.8	435.3
M (kgf.cm) =	3800.5	3485.1	3669.7	3848.5	4048.9	4265.9	3360	3604.3
fy,k (Mpa) =	345	345	345	345	345	345	345	345
tf (cm) =	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317
b (cm) =	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08
W (cm³) =	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
σ (kgf/cm²) =	2794	2563	2698	2830	2977	3137	2471	2650
σ / fy,d =	89.1%	81.7%	86.0%	90.2%	94.9%	100.0%	78.8%	84.5%

Abaixo estão os cálculos detalhados dos cinco perfis que compõem a tesoura, considerando as barras mais solicitadas, conforme descrito:

- U200X75X3,0 → Barra 3
- U200X75X4,75 → Barra 6
- L1.1/2"x1/8" → Barra 15
- L1.3/4"x1/8" → Barra 17
- L2"x1/8" → Barra 16

BARRA 3

- Dados do Perfil:**

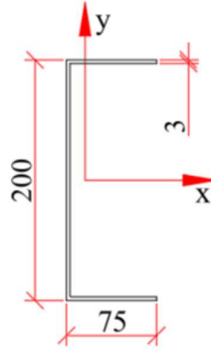
Perfil formado a frio

U200X75X3,00

$L_x = 640$ cm e $L_y = L_z = 165$ cm

$f_y = 250$ MPa e $f_u = 400$ MPa

$A = 10,14$ cm²



$$I_x = 608,93 \text{ cm}^4 \text{ e } I_y = 53,39 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 7,75 \text{ cm e } r_y = 2,29 \text{ cm}$$

$$x_0 = 4,14 \text{ cm e } r_0 = 9,08 \text{ cm}$$

$$I_t = 0,306 \text{ cm}^4 \text{ e } C_w = 3710,53 \text{ cm}^6$$

$$x_G = 1,75 \text{ cm}$$

TRAÇÃO:

- Ações:**

$$PP = 2,41 \text{ tf} - AP = 5,54 \text{ tf} - SC = 4,82 \text{ tf} - V1 = -12,92 \text{ tf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,25 \times 2,41 + 1,4 \times 5,54 + 1,5 \times 4,82 = \mathbf{18,00 \text{ tf}}$$

- Verificação da Esbeltez:**

$$\lambda_x = \frac{640}{\sqrt{\frac{925,75}{10,14}}} = 82,59 \rightarrow \lambda_x < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{165}{\sqrt{\frac{81,38}{10,14}}} = 71,91 \rightarrow \lambda_y < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

- Escoamento da Seção Bruta**

$$N_{t,Rd} = \frac{10,14 \cdot 2,50}{1,1} = 23,05 \text{ tf} > 18,00 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (78,1\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida**

$$N_{t,Rd} \leq \begin{cases} \frac{10,14 \cdot 4,0}{1,35} = 30,04 \text{ tf} \\ \frac{0,9 \cdot 10,14 \cdot 4,0}{1,65} = 22,12 \text{ tf} \end{cases} \rightarrow N_{t,Rd} = 22,12 \text{ tf} > 18,00 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (81,4\%)}$$

COMPRESSÃO:

- Ações:**

$$PP = 2,41 \text{ tf} - AP = 5,54 \text{ tf} - SC = 4,82 \text{ tf} - V1 = -12,92 \text{ tf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,0 \times 2,41 + 1,0 \times 5,54 + 1,4 \times (-12,92) = \mathbf{-10,14 \text{ tf}}$$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{640}{\sqrt{\frac{925,75}{10,14}}} = 82,59 \rightarrow \lambda_x < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{165}{\sqrt{\frac{81,38}{10,14}}} = 71,91 \rightarrow \lambda_y < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

- Instabilidade por Flexão (Método da Seção Efetiva):

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 608,93}{640^2} = 29345 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 53,39}{165^2} = 38710 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{9,08^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 3710,53}{165^2} + 0,385 \cdot 2000000 \cdot 0,306 \right] = 35489 \text{ kgf}$$

$$1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 = 1 - \left(\frac{4,14}{9,08} \right)^2 = 0,79$$

$$N_{exz} = \frac{29345 + 35489}{2 \cdot 0,79} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 29345 \cdot 35489 \cdot 0,79}{(29345 + 35489)^2}} \right] = 21949 \text{ kgf}$$

Portanto, $N_e = \min.(N_{ey} \text{ e } N_{exz}) = 21949 \text{ kgf}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{10,14 \cdot 2500}{21949}} = 1,07 < 1,5$$

$$\chi = 0,658^{1,07^2} = 0,619 \rightarrow \chi \cdot f_y = 0,619 \cdot 250 = 154,8 \text{ Mpa}$$

$$\frac{b_f}{b_w} = \frac{75}{200} = 0,375$$

Tabela 10 (caso b) da NBR 14762/2010

$$\begin{array}{lll} 0,3 & \rightarrow & 4,33 \\ 0,375 & \rightarrow & k_l \rightarrow k_l = 3,865 \\ 0,4 & \rightarrow & 3,71 \end{array}$$

$$N_l = 3,865 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2000000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot (200/3,00)^2} \cdot 10,14 = 15940 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{0,619 \cdot 10,14 \cdot 2500}{15940}} = 0,992 > 0,776 \rightarrow \text{Calcular } A_{ef}$$

$$A_{ef} = \frac{10,14}{0,992^{0,8}} \cdot \left(1 - \frac{0,15}{0,992^{0,8}} \right) = 8,66 \text{ cm}^2$$

- Cálculo de $N_{c,Rd}$:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,619 \cdot 8,66 \cdot 2,50}{1,2} = 11,17 \text{ tf} > 10,14 \text{ tf} \rightarrow \text{Ok! (90,7\%)}$$

BARRA 6

- Dados do Perfil:**

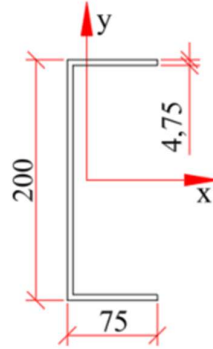
Perfil formado a frio

U200X75X4.75

$L_x = 644 \text{ cm}$ e $L_y = L_z = 166 \text{ cm}$

$f_y = 250 \text{ MPa}$ e $f_u = 400 \text{ MPa}$

$A = 15,72 \text{ cm}^2$



$$I_x = 925,75 \text{ cm}^4 \text{ e } I_y = 81,38 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 7,67 \text{ cm e } r_y = 2,28 \text{ cm}$$

$$x_0 = 4,10 \text{ cm e } r_0 = 8,99 \text{ cm}$$

$$I_t = 1,193 \text{ cm}^4 \text{ e } C_w = 5573,07 \text{ cm}^6$$

$$x_G = 1,83 \text{ cm}$$

TRAÇÃO:

- Ações:**

$$PP = -2,35 \text{ tf} - AP = -5,41 \text{ tf} - SC = -4,71 \text{ tf} - V1 = 12,99 \text{ tf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,0x(-2,35) + 1,0x(-5,41) + 1,4x12,99 = \mathbf{10,43 \text{ tf}}$$

- Verificação da Esbeltez:**

$$\lambda_x = \frac{644}{\sqrt{\frac{925,75}{15,72}}} = 83,92 \rightarrow \lambda_x < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{166}{\sqrt{\frac{81,38}{15,72}}} = 72,96 \rightarrow \lambda_y < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

- Escoamento da Seção Bruta**

$$N_{t,Rd} = \frac{15,72 \cdot 2,50}{1,1} = 35,73 \text{ tf} > 10,43 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (29,2\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida**

$$N_{t,Rd} \leq \begin{cases} \frac{15,72 \cdot 4,0}{1,35} = 46,58 \text{ tf} \\ \frac{0,9 \cdot 15,72 \cdot 4,0}{1,65} = 34,30 \text{ tf} \end{cases} \rightarrow N_{t,Rd} = 34,30 \text{ tf} > 10,43 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (30,4\%)}$$

COMPRESSÃO:

- Ações:**

$$PP = -2,35 \text{ tf} - AP = -5,41 \text{ tf} - SC = -4,71 \text{ tf} - V1 = 12,99 \text{ tf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,25x(-2,35) + 1,4x(-5,41) + 1,5x(-4,71) = \mathbf{-17,58 \text{ tf}}$$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{644}{\sqrt{\frac{925,75}{15,72}}} = 83,92 \rightarrow \lambda_x < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{166}{\sqrt{\frac{81,38}{15,72}}} = 72,96 \rightarrow \lambda_y < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

- Instabilidade por Flexão (Método da Seção Efetiva):

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 925,75}{644^2} = 44061 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 81,38}{166^2} = 58295 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{8,99^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 5573,07}{166^2} + 0,385 \cdot 2000000 \cdot 1,193 \right] = 60762 \text{ kgf}$$

$$1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 = 1 - \left(\frac{4,10}{8,99} \right)^2 = 0,79$$

$$N_{exz} = \frac{44061 + 60762}{2 \cdot 0,79} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 44061 \cdot 60762 \cdot 0,79}{(44061 + 60762)^2}} \right] = 34570 \text{ kgf}$$

Portanto, $N_c = \min.(N_{ey} \text{ e } N_{exz}) = 34570 \text{ kgf}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{15,72 \cdot 2500}{34570}} = 1,07 < 1,5$$

$$\chi = 0,658^{1,072} = 0,619 \rightarrow \chi \cdot f_y = 0,619 \cdot 250 = 154,8 \text{ Mpa}$$

$$\frac{b_f}{b_w} = \frac{75}{200} = 0,375$$

Tabela 10 (caso b) da NBR 14762/2010

$$\begin{array}{lll} 0,3 & \rightarrow & 4,33 \\ 0,375 & \rightarrow & k_1 \rightarrow k_1 = 3,865 \\ 0,4 & \rightarrow & 3,71 \end{array}$$

$$N_1 = 3,865 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2000000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot (200/4,75)^2} \cdot 15,72 = 61949 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{0,619 \cdot 15,72 \cdot 2500}{61949}} = 0,627 < 0,776 \rightarrow A_{ef} = A_g = 15,72 \text{ cm}^2$$

- Cálculo de $N_{c,Rd}$:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,619 \cdot 15,72 \cdot 2,50}{1,2} = 20,27 \text{ tf} > 17,58 \text{ tf} \rightarrow \text{Ok! (86,7\%)}$$

BARRA 15

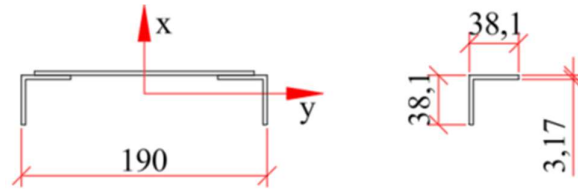
- Dados do Perfil:

L1.1/2"x1/8"

$f_y = 345 \text{ MPa}$

$f_u = 450 \text{ MPa}$

$L_x = L_y = L_z = 225 \text{ cm}$



- Perfil Isolado:

$A = 2,32 \text{ cm}^2$

$x_G = 1,07 \text{ cm}$

$x_0 = 1,35 \text{ cm}$ e $r_0 = 2,17 \text{ cm}$

$J = 0,04 \text{ cm}^4$ e $C_w = 0 \text{ cm}^6$

$I_x = 3,33 \text{ cm}^4$ e $I_y = 3,33 \text{ cm}^4$

$r_{\min} = 0,76 \text{ cm}$

- Perfil Composto:

$A = 4,64 \text{ cm}^2$

$x_0 = 1,95 \text{ cm}$ e $r_0 = 8,82 \text{ cm}$

$J = 0,28 \text{ cm}^4$ e $C_w = 534,41 \text{ cm}^6$

$I_x = 336,40 \text{ cm}^4$ e $I_y = 6,66 \text{ cm}^4$

TRAÇÃO:

- Ações:

PP = 0,34 tf – AP = 0,79 tf – SC = 0,68 tf – V1 = -1,91 tf

Combinação $\rightarrow 1,25 \times 0,34 + 1,4 \times 0,79 + 1,5 \times 0,68 = \mathbf{2,56 \text{ tf}}$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{L_x}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}} = \frac{225}{\sqrt{\frac{336,4}{4,64}}} = 26,4 \rightarrow \lambda_x < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{225}{\sqrt{\frac{6,66}{4,64}}} = 187,8 \rightarrow \lambda_y < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

- Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{4,64 \cdot 3,45}{1,1} = 14,55 \text{ tf} > 2,56 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (17,6\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida

$A_e = 90\%$ da área bruta (ligação não definida)

$$A_e = 0,9 \cdot 4,64 = 4,18 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{4,17 \cdot 4,5}{1,35} = 13,92 \text{ tf} > 2,56 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (18,4\%)}$$

COMPRESSÃO:

- Ações:

$$PP = 0,34 \text{ tf} - AP = 0,79 \text{ tf} - SC = 0,68 \text{ tf} - V1 = -1,91 \text{ tf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,0 \times 0,34 + 1,0 \times 0,79 + 1,4 \times (-1,91) = -1,55 \text{ tf}$$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{L_x}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}} = \frac{225}{\sqrt{\frac{336,4}{4,64}}} = 26,4 \rightarrow \lambda_x < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{225}{\sqrt{\frac{6,66}{4,64}}} = 187,8 \rightarrow \lambda_y < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

- Travejamento:

Utilizando 3 chapas uniformemente espaçadas $\rightarrow l = 2250/3 = 750 \text{ mm}$

$$\frac{l}{r_{\min}} = \frac{75}{0,76} = 98,7$$

$$0,75 \cdot \left(\frac{L}{r}\right)_0 = 0,75 \cdot \frac{225}{\sqrt{\frac{6,66}{4,64}}} = 140,9$$

$$\frac{l}{r_{\min}} \leq 0,75 \cdot \left(\frac{L}{r}\right)_0 \rightarrow \text{OK!}$$

- Flambagem Global:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 336,4}{225^2} = 131166 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 6,66}{225^2} = 2597 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{8,81^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 534,4}{255^2} + 0,385 \cdot 2000000 \cdot 0,28 \right] = 5462 \text{ kgf}$$

$$1 - \left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 = 1 - \left(\frac{1,95}{8,81}\right)^2 = 0,95$$

$$N_{exz} = \frac{131166 + 5462}{2 \cdot 0,95} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 131166 \cdot 5462 \cdot 0,95}{(131166 + 5462)^2}} \right] = 5450 \text{ kgf}$$

Para $\frac{l}{r_{\min}} > 40$

$$N_{e,m} = 2597 \cdot \frac{187,8^2}{187,8^2 + \left(\frac{0,86 \cdot 75}{0,76}\right)^2} = 2156 \text{ kgf}$$

Portanto, $N_e = \min.(N_{e,m} \text{ e } N_{exz}) = 2156 \text{ kgf}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{4,64 \cdot 3450}{2156}} = 2,72 > 1,5$$

$$\chi = \frac{0,877}{2,72^2} = 0,12$$

$$\chi \cdot f_y = 0,12 \cdot 345 = 41,4 \text{ MPa}$$

- Flambagem Local → Abas (AL):

$$\frac{b}{t} = \frac{38,1}{3,17} = 12,02$$

$$(b/t)_{\lim} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{200000}{345}} = 10,83$$

$$\frac{(b/t)_{\lim}}{\sqrt{\chi}} = \frac{10,83}{\sqrt{0,12}} = 31,26$$

$$\frac{b}{t} < \frac{(b/t)_{\lim}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b$$

- Cálculo de $N_{c,Rd}$:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,12 \cdot 4,64 \cdot 3,45}{1,1} = 1,75 \text{ tf} > 1,55 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (88,6\%)}$$

TRAVEJAMENTO:

$$e = 19 - 2,1,07 = 16,86 \text{ cm}$$

$$20 \cdot r_1 = 20 \cdot 0,76 = 15,2 \text{ cm}$$

$$e > 20 \times r_1$$

$$Q = 20 \cdot 4,64 \cdot \{1 + [5 \cdot (16,86/0,76 - 20)/100]\}$$

$$Q = 102,9 \text{ kgf}$$

$$T = \frac{102,9 \cdot 75}{16,86} = 457,9 \text{ kgf}$$

$$M = 457,9 \cdot \frac{16,86}{2} = 3860 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

Barra chata → BL2"x1/8"

$$W = 0,317 \cdot 5,08^2 / 6 = 1,36 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{s,d} = 3860 / 1,36 = 2838 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{s,d} \leq f_{yd}/1,1$$

$$\sigma_{s,d} \leq 3450/1,1$$

$$2838 \text{ kgf/cm}^2 < 3136,4 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow \text{OK! (90,5\%)}$$

BARRA 17

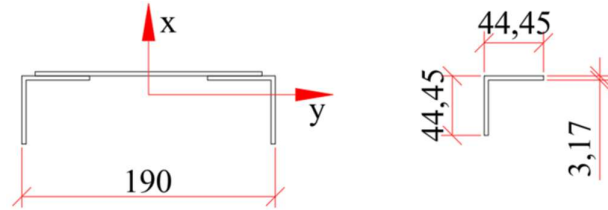
- Dados do Perfil:**

L1.3/4"x1/8"

$f_y = 345 \text{ MPa}$

$f_u = 450 \text{ MPa}$

$L_x = L_y = L_z = 193 \text{ cm}$



- Perfil Isolado:**

$A = 2,71 \text{ cm}^2$

$x_G = 1,22 \text{ cm}$

$x_0 = 1,57 \text{ cm}$ e $r_0 = 2,54 \text{ cm}$

$J = 0,05 \text{ cm}^4$ e $C_w = 0 \text{ cm}^6$

$I_x = 5,41 \text{ cm}^4$ e $I_y = 5,41 \text{ cm}^4$

$r_{\min} = 0,89 \text{ cm}$

- Perfil Composto:**

$A = 5,42 \text{ cm}^2$

$x_0 = 2,36 \text{ cm}$ e $r_0 = 8,84 \text{ cm}$

$J = 0,29 \text{ cm}^4$ e $C_w = 821,49 \text{ cm}^6$

$I_x = 382,41 \text{ cm}^4$ e $I_y = 10,82 \text{ cm}^4$

TRAÇÃO:

- Ações:**

PP = 0,81 tf – AP = 1,86 tf – SC = 1,62 tf – V1 = -4,36 tf

Combinação $\rightarrow 1,25 \times 0,81 + 1,4 \times 1,86 + 1,5 \times 1,62 = \mathbf{6,05 \text{ tf}}$

- Verificação da Esbeltez:**

$$\lambda_x = \frac{L_x}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}} = \frac{193}{\sqrt{\frac{382,4}{5,42}}} = 23,0 \rightarrow \lambda_x < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{193}{\sqrt{\frac{10,82}{5,42}}} = 136,6 \rightarrow \lambda_y < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

- Escoamento da Seção Bruta**

$$N_{t,Rd} = \frac{5,42 \cdot 3,45}{1,1} = 17,00 \text{ tf} > 6,05 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (35,6\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida**

$A_e = 90\%$ da área bruta (ligação não definida)

$$A_e = 0,9 \cdot 5,42 = 4,88 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{4,88 \cdot 4,5}{1,35} = 16,26 \text{ tf} > 6,05 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (37,2\%)}$$

COMPRESSÃO:

- Ações:

$$PP = 0,81 \text{ tf} - AP = 1,86 \text{ tf} - SC = 1,62 \text{ tf} - V1 = -4,36 \text{ tf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,0 \times 0,81 + 1,0 \times 1,86 + 1,4 \times (-4,36) = -3,44 \text{ tf}$$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{193}{\sqrt{\frac{382,4}{5,42}}} = 23,0 \rightarrow \lambda_x < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{193}{\sqrt{\frac{10,82}{5,42}}} = 136,6 \rightarrow \lambda_y < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

- Travejamento:

Utilizando 3 chapas uniformemente espaçadas $\rightarrow l = 1930/3 = 643 \text{ mm}$

$$\frac{l}{r_{\min}} = \frac{64,3}{0,89} = 72,2$$

$$0,75 \cdot \left(\frac{L}{r}\right)_0 = 0,75 \cdot \frac{193}{\sqrt{\frac{10,82}{5,42}}} = 102,5$$

$$\frac{l}{r_{\min}} \leq 0,75 \cdot \left(\frac{L}{r}\right)_0 \rightarrow \text{OK!}$$

- Flambagem Global:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 382,41}{193^2} = 202649 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 10,82}{193^2} = 5734 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{8,84^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 821,49}{193^2} + 0,385 \cdot 2000000 \cdot 0,29 \right] = 8428 \text{ kgf}$$

$$1 - \left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 = 1 - \left(\frac{2,36}{8,84}\right)^2 = 0,93$$

$$N_{exz} = \frac{202649 + 8428}{2 \cdot 0,93} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 202649 \cdot 8428 \cdot 0,93}{(202649 + 8428)^2}} \right] = 8403 \text{ kgf}$$

Para $\frac{l}{r_{\min}} > 40$

$$N_{e,m} = 5734 \cdot \frac{136,6^2}{136,6^2 + \left(\frac{0,86 \cdot 64,3}{0,89}\right)^2} = 4752 \text{ kgf}$$

Portanto, $N_e = \min.(N_{e,m} \text{ e } N_{exz}) = 4752 \text{ kgf}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{5,42 \cdot 3450}{4752}} = 1,98 > 1,5$$

$$\chi = \frac{0,877}{1,98^2} = 0,22$$

$$\chi \cdot f_y = 0,22 \cdot 345 = 75,9 \text{ MPa}$$

- Flambagem Local → Abas (AL):

$$\frac{b}{t} = \frac{44,45}{3,17} = 14,02$$

$$(b/t)_{\lim} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{200000}{345}} = 10,83$$

$$\frac{(b/t)_{\lim}}{\sqrt{\chi}} = \frac{10,83}{\sqrt{0,22}} = 23,09$$

$$\frac{b}{t} < \frac{(b/t)_{\lim}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b$$

- Cálculo de $N_{c,Rd}$:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,22 \cdot 5,42 \cdot 3,45}{1,1} = 3,74 \text{ tf} > 3,44 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (92,0\%)}$$

TRAJEJAMENTO:

$$e = 19 - 2 \cdot 1,22 = 16,56 \text{ cm}$$

$$20 \cdot r_1 = 20 \cdot 0,89 = 17,8 \text{ cm}$$

$$e < 20 \cdot r_1$$

$$Q = 20 \cdot 5,42 = 108,4 \text{ kgf}$$

$$T = \frac{108,4 \cdot 64,3}{16,56} = 420,9 \text{ kgf}$$

$$M = 420,9 \cdot \frac{16,56}{2} = 3485 \text{ kgf.cm}$$

$$\text{Barra chata} \rightarrow \text{BL2''} \times 1/8''$$

$$W = 0,317 \cdot 5,08^2 / 6 = 1,36 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{s,d} = 3485 / 1,36 = 2563 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{s,d} \leq f_{yd} / 1,1$$

$$\sigma_{s,d} \leq 3450 / 1,1$$

$$2563 \text{ kgf/cm}^2 < 3136,4 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow \text{OK! (81,7\%)}$$

BARRA 16

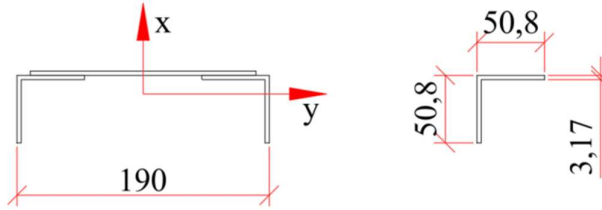
- Dados do Perfil:

L2"x1/8"

$f_y = 345 \text{ MPa}$

$f_u = 450 \text{ MPa}$

$L_x = L_y = L_z = 184 \text{ cm}$



- Perfil Isolado:

$A = 3,10 \text{ cm}^2$

$x_G = 1,40 \text{ cm}$

$x_0 = 1,80 \text{ cm}$ e $r_0 = 2,89 \text{ cm}$

$J = 0,05 \text{ cm}^4$ e $C_w = 0 \text{ cm}^6$

$I_x = 7,91 \text{ cm}^4$ e $I_y = 7,91 \text{ cm}^4$

$r_{\min} = 1,02 \text{ cm}$

- Perfil Composto:

$A = 6,20 \text{ cm}^2$

$x_0 = 2,81 \text{ cm}$ e $r_0 = 8,87 \text{ cm}$

$J = 0,30 \text{ cm}^4$ e $C_w = 1188,50 \text{ cm}^6$

$I_x = 422,60 \text{ cm}^4$ e $I_y = 15,82 \text{ cm}^4$

TRAÇÃO:

- Ações:

$PP = 1,20 \text{ tf} - AP = 2,75 \text{ tf} - SC = 2,39 \text{ tf} - V1 = -6,46 \text{ tf}$

Combinação $\rightarrow 1,25 \times 1,20 + 1,4 \times 2,75 + 1,5 \times 2,39 = \mathbf{8,94 \text{ tf}}$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{184}{\sqrt{\frac{422,6}{6,2}}} = 22,29 \rightarrow \lambda_x < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{184}{\sqrt{\frac{15,82}{6,2}}} = 115,19 \rightarrow \lambda_y < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

- Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{6,20 \cdot 3,45}{1,1} = 19,45 \text{ tf} > 8,94 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (46,0\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida

$A_e = 90\%$ da área bruta (ligação não definida)

$$A_e = 0,9 \cdot 6,2 = 5,58 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{5,58 \cdot 4,5}{1,35} = 18,60 \text{ tf} > 8,94 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (48,1\%)}$$

COMPRESSÃO:

- Ações:

$$PP = 1,20 \text{ tf} - AP = 2,75 \text{ tf} - SC = 2,39 \text{ tf} - V1 = -6,46 \text{ tf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,0 \times 1,20 + 1,0 \times 2,75 + 1,4 \times (-6,46) = \mathbf{-5,10 \text{ tf}}$$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{184}{\sqrt{\frac{422,6}{6,2}}} = 22,29 \rightarrow \lambda_x < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_y = \frac{184}{\sqrt{\frac{15,82}{6,2}}} = 115,19 \rightarrow \lambda_y < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

- Travejamento:

Utilizando 3 chapas uniformemente espaçadas $\rightarrow l = 1840/3 = 613 \text{ mm}$

$$\frac{l}{r_{\min}} = \frac{61,3}{1,02} = 60,1$$

$$0,75 \cdot \left(\frac{L}{r}\right)_0 = 0,75 \cdot \frac{184}{\sqrt{\frac{15,82}{6,2}}} = 86,39$$

$$\frac{l}{r_{\min}} \leq 0,75 \cdot \left(\frac{L}{r}\right)_0 \rightarrow \text{OK!}$$

- Flambagem Global:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 422,6}{184^2} = 246390 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 15,82}{184^2} = 9224 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{8,87^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 1188,5}{184^2} + 0,385 \cdot 2000000 \cdot 0,3 \right] = 11743 \text{ kgf}$$

$$1 - \left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 = 1 - \left(\frac{2,81}{8,87}\right)^2 = 0,9$$

$$N_{exz} = \frac{246390 + 11743}{2 \cdot 0,9} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 246390 \cdot 11743 \cdot 0,9}{(246390 + 11743)^2}} \right] = 11685 \text{ kgf}$$

Para $\frac{l}{r_{\min}} > 40$

$$N_{e,m} = 9224 \cdot \frac{115,19^2}{115,19^2 + \left(\frac{0,86 \cdot 61,3}{1,02}\right)^2} = 7678 \text{ kgf}$$

Portanto, $N_e = \min.(N_{e,m} \text{ e } N_{exz}) = 7678 \text{ kgf}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{6,2 \cdot 3450}{7678}} = 1,67 > 1,5$$

$$\chi = \frac{0,877}{1,67^2} = 0,31$$

$$\chi \cdot f_y = 0,31 \cdot 345 = 106,95 \text{ MPa}$$

- Flambagem Local → Abas (AL):

$$\frac{b}{t} = \frac{50,8}{3,17} = 16,03$$

$$(b/t)_{\lim} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{200000}{345}} = 10,83$$

$$\frac{(b/t)_{\lim}}{\sqrt{\chi}} = \frac{10,83}{\sqrt{0,31}} = 19,45$$

$$\frac{b}{t} < \frac{(b/t)_{\lim}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b$$

- Cálculo de $N_{c,Rd}$:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,31 \cdot 6,2 \cdot 3,45}{1,1} = 6,03 \text{ tf} > 5,10 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (84,6\%)}$$

TRAVEJAMENTO:

$$e = 19 - 2,1,4 = 16,2 \text{ cm}$$

$$20 \cdot r_1 = 20 \cdot 1,02 = 20,4 \text{ cm}$$

$$e < 20 \cdot r_1$$

$$Q = 20 \cdot 6,2 = 124 \text{ kgf}$$

$$T = \frac{124 \cdot 61,3}{16,2} = 469,2 \text{ kgf}$$

$$M = 469,2 \cdot \frac{16,2}{2} = 3801 \text{ kgf.cm}$$

$$\text{Barra chata} \rightarrow \text{BL2''x1/8''}$$

$$W = 0,317 \cdot 5,08^2 / 6 = 1,36 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{s,d} = 3801 / 1,36 = 2795 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{s,d} \leq f_{yd}/1,1$$

$$\sigma_{s,d} \leq 3450/1,1$$

$$2795 \text{ kgf/cm}^2 < 3136,4 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow \text{OK! (89,1\%)}$$

9.2. TERÇA DE COBERTURA

- Dados do Perfil:

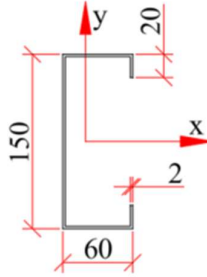
Perfil formado a frio

UE150X60X20x2,0

$L_x = 500$ cm e $L_y = L_z = 250$ cm

$f_y = 250$ MPa e $f_u = 400$ MPa

$A = 5,94$ cm²



$$I_x = 207,62 \text{ cm}^4 \text{ e } I_y = 30,14 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 5,91 \text{ cm e } r_y = 2,25 \text{ cm}$$

$$I_t = 0,081 \text{ cm}^4 \text{ e } C_w = 1498,57 \text{ cm}^6$$

$$W_x = 27,68 \text{ cm}^3$$

- Ações → Terça de Cobertura:

$$PP = 24,1 \text{ kgf.m} - AP = 139,7 \text{ kgf.m} - SC_1 = 120,6 \text{ kgf.m} - SC_2 = 124,4 \text{ kgf.m} - V_{suc} = 380,6 \text{ kgf.m}$$

$$\text{Combinação 1} \rightarrow 1,25 \times 24,1 + 1,4 \times 139,7 + 1,5 \times 120,6 = 406,6 \text{ kgf.m}$$

$$\text{Combinação 2} \rightarrow 1,25 \times 24,1 + 1,4 \times 139,7 + 1,5 \times 124,4 = \mathbf{412,3 \text{ kgf.m}}$$

$$\text{Combinação 3} \rightarrow 1,0 \times 24,1 + 1,0 \times 139,7 - 1,4 \times 380,6 = -369,0 \text{ kgf/m}$$

- Início do Escoamento (Método da Seção Efetiva):

$$\eta = \frac{60}{150} = 0,4$$

$$\mu = \frac{20}{150} = 0,13$$

$$k_1 = 24,8 \text{ (Tabela 13} \rightarrow \text{caso b} \rightarrow \text{NBR14762/2010)}$$

$$M_l = 24,8 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2000000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot (150/2)^2} \cdot 27,68 = 220598 \text{ kgf.cm}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{27,68 \cdot 2500}{220598}} = 0,56 < 0,673 \rightarrow W_{ef} = W$$

$$M_{Rd} = \frac{27,68 \cdot 25}{1,1} = 629,1 \text{ kgf.m} > 412,3 \text{ kgf.m} \rightarrow \text{OK! (65,5\%)}$$

- Flambagem lateral com torção (Método da Seção Efetiva):

$$C_b = \frac{12,5 \cdot 412}{2,5 \cdot 412 + 3 \cdot 180 + 4 \cdot 309 + 3 \cdot 387} = 1,3$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 30,14}{250^2} = 9519 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{7,86^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 1498,57}{250^2} + 0,385 \cdot 2000000 \cdot 0,081 \right] = 8670 \text{ kgf}$$

$$M_e = 1,3 \cdot 7,86 \cdot (9519 \cdot 8670)^{0,5} = 92826 \text{ kgf.cm}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{27,68 \cdot 2500}{92826}} = 0,86 \rightarrow 0,6 < \lambda_0 < 1,336$$

$$\chi = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot 0,86^2) = 0,88$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{0,88 \cdot 27,68 \cdot 2500}{220598}} = 0,53 < 0,673 \rightarrow W_{ef} = W$$

$$M_{Rd} = \frac{0,88 \cdot 27,68 \cdot 25}{1,1} = 553,6 \text{ kgf. m} > 412,3 \text{ kgf. m} \rightarrow \text{OK! (74,5\%)}$$

9.3. TIRANTE DAS TERÇAS DE COBERTURA

- Dados do Perfil:

Barra redonda Ø12,5 mm (com rosca nas extremidades)

$f_y = 250 \text{ Mpa}$ e $f_u = 400 \text{ MPa}$

$A = 1,23 \text{ cm}^2$

- Ações → Tirantes 1:

PP = 13,43 kgf – AP = 51,11 kgf – SC = 67,59 kgf

Combinação → $1,25 \times 13,43 + 1,4 \times 51,11 + 1,5 \times 67,59 = 189,7 \text{ kgf} \approx 0,19 \text{ tf}$

- Ações → Tirantes 2:

PP = 14,48 kgf – AP = 55,11 kgf – SC = 72,89 kgf

Combinação → $1,25 \times 14,48 + 1,4 \times 55,11 + 1,5 \times 72,89 = 204,6 \text{ kgf} \approx \mathbf{0,21 \text{ tf}}$

- Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{1,23 \cdot 2,5}{1,1} = 2,79 \text{ tf} > 0,21 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (7,5\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida

$A_e = 0,75 \cdot 1,23 = 0,92 \text{ cm}^2$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,92 \cdot 4,0}{1,35} = 2,73 \text{ tf} > 0,21 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (7,7\%)}$$

9.4. TIRANTE DE CONTRAVENTAMENTOS

- Dados do Perfil:

Barra redonda Ø12,5 mm (com rosca nas extremidades)

$f_y = 250 \text{ Mpa}$ e $f_u = 400 \text{ MPa}$

$A = 1,23 \text{ cm}^2$

- Ações:

$$N_{t,sk} = 607 \text{ kgf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,4 \times 607 = 849,8 \text{ kgf} \approx 0,85 \text{ tf}$$

- Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{1,23 \cdot 2,5}{1,1} = 2,80 \text{ tf} > 0,85 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (30,4\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida

$$A_e = 0,75 \cdot 1,23 = 0,92 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,92 \cdot 4,0}{1,35} = 2,73 \text{ tf} > 0,85 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (31,1\%)}$$

9.5. MÃOS FRANCESAS

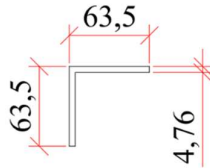
- Dados do Perfil:

L2.1/2"x3/16"

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

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

$$L_x = L_y = L_z = 230 \text{ cm}$$



- Propriedades Geométricas:

$$A = 5,80 \text{ cm}^2$$

$$x_G = 1,75 \text{ cm}$$

$$x_0 = 2,25 \text{ cm e } r_0 = 3,60 \text{ cm}$$

$$J = 0,23 \text{ cm}^4 \text{ e } C_w = 0 \text{ cm}^6$$

$$I_{\max} = 36,54 \text{ cm}^4 \text{ e } I_{\min} = 9,46 \text{ cm}^4$$

$$r_{\min} = 1,24 \text{ cm}$$

TRAÇÃO:

- Ações:

$$N_{t,sk} = 706 \text{ kgf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,4 \times 706 = 988 \text{ kgf} \approx 1,0 \text{ tf}$$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_{\max} = \frac{230}{\sqrt{\frac{36,54}{5,80}}} = 91,6 \rightarrow \lambda_x < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{230}{\sqrt{\frac{9,46}{5,80}}} = 180,1 \rightarrow \lambda_y < 300 \rightarrow \text{OK!}$$

- Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{5,80 \cdot 3,45}{1,1} = 18,19 \text{ tf} > 1,0 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (5,5\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida

$A_e = 90\%$ da área bruta (ligação não definida)

$$A_e = 0,9 \cdot 5,80 = 5,22 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{5,22 \cdot 4,5}{1,35} = 17,40 \text{ tf} > 1,0 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (5,8\%)}$$

COMPRESSÃO:

- Ações:

$$N_{c,Sk} = 706 \text{ kgf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,4 \times 706 = 988 \text{ kgf} \approx 1,0 \text{ tf}$$

- Verificação da Esbeltez:

$$\lambda_{\max} = \frac{230}{\sqrt{\frac{36,54}{5,80}}} = 91,6 \rightarrow \lambda_x < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{230}{\sqrt{\frac{9,46}{5,80}}} = 180,1 \rightarrow \lambda_y < 200 \rightarrow \text{OK!}$$

- Flambagem Global:

$$N_{e,\max} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 36,54}{230^2} = 13635 \text{ kgf}$$

$$N_{e,\min} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 9,46}{230^2} = 3530 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{3,61^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 0}{230^2} + 0,385 \cdot 2000000 \cdot 0,23 \right] = 13590 \text{ kgf}$$

$$1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 = 1 - \left(\frac{2,25}{3,60} \right)^2 = 0,61$$

$$N_{e,\max,z} = \frac{13635 + 3530}{2 \cdot 0,61} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 13635 \cdot 3530 \cdot 0,61}{(13635 + 3530)^2}} \right] = 8379 \text{ kgf}$$

Portanto, $N_e = \min.(N_{e,\min} \text{ e } N_{e,\max,z}) = 3530 \text{ kgf}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{5,8 \cdot 3450}{3530}} = 2,38 > 1,5$$

$$\chi = \frac{0,877}{2,38^2} = 0,15$$

$$\chi \cdot f_y = 0,15 \cdot 345 = 51,75 \text{ MPa}$$

- Flambagem Local → Abas (AL):

$$\frac{b}{t} = \frac{63,5}{4,76} = 13,34$$

$$(b/t)_{\text{lim}} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{200000}{345}} = 10,83$$

$$\frac{(b/t)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} = \frac{10,83}{\sqrt{0,15}} = 27,96$$

$$\frac{b}{t} < \frac{(b/t)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{\text{ef}} = b$$

- Cálculo de $N_{c,Rd}$:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,15 \cdot 5,8 \cdot 3,45}{1,1} = 2,73 \text{ tf} > 1,0 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (36,6\%)}$$

10. VERIFICAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS

Segue abaixo a verificação dos deslocamentos das tesouras e terças de cobertura de acordo com a norma NBR 8800/2024. Os deslocamentos de cada ação atuante na tesoura foram retirados do programa Ftool.

10.1. TESOURA

- Deslocamentos:

Peso Próprio → 0,84 cm (para baixo)

Vento V1 → 4,58 cm (para cima)

Ação Permanente → 1,94 cm (para baixo)

Vento V2 → 3,97 cm (para cima)

Sobre Carga → 1,69 cm (para baixo)

- Combinações:

Combinação 1 → $0,84 + 1,94 + 0,7 \times 1,69 = \mathbf{3,96 \text{ cm}}$

Combinação 2 → $0,84 + 1,94 - 0,3 \times 4,58 = 1,41 \text{ cm}$

- Verificação (L/250):

$$f_{\text{serviço}} = 3,96 \text{ cm} < f_{\text{adm}} = \frac{2500}{250} = 10,0 \text{ cm} \rightarrow \text{OK! (39,6\%)}$$

10.2. TERÇAS DE COBERTURA

- Flecha de Serviço:

$$f_{PP} = \frac{5 \cdot 0,077 \cdot 500^4}{384 \cdot 2000000 \cdot 207,62} = 0,15 \text{ cm (para baixo)}$$

$$f_{AP} = \frac{5 \cdot 0,4463 \cdot 500^4}{384 \cdot 2000000 \cdot 207,62} = 0,88 \text{ cm (para baixo)}$$

$$f_{SC1} = \frac{5 \cdot 0,3856 \cdot 500^4}{384 \cdot 2000000 \cdot 207,62} = 0,76 \text{ cm (para baixo)}$$

$$f_{SC2} = \frac{100 \cdot 500^3}{48 \cdot 2000000 \cdot 207,62} = 0,63 \text{ cm (para baixo)}$$

$$f_V = \frac{5 \cdot 1,22 \cdot 500^4}{384 \cdot 2000000 \cdot 207,62} = 2,39 \text{ cm (para cima)}$$

- Combinações:

$$\text{Combinação 1} \rightarrow 1,0 \times 0,15 + 1,0 \times 0,88 + 1,0 \times 0,63 = \mathbf{1,66 \text{ cm}}$$

$$\text{Combinação 2} \rightarrow 1,0 \times 0,15 + 1,0 \times 0,88 + 0,4 \times 0,76 = 1,33 \text{ cm}$$

$$\text{Combinação 3} \rightarrow 1,0 \times 0,15 + 1,0 \times 0,88 - 0,3 \times 2,39 = 0,31 \text{ cm}$$

- Verificação (L/250):

$$f_{\text{serviço}} = 1,66 \text{ cm} < f_{\text{adm}} = \frac{500}{250} = 2,00 \text{ cm} \rightarrow \text{OK! (83,0\%)}$$

11. LISTA DE MATERIAIS – MODELO UNIFILAR

A Tabela 9 mostra a lista de materiais que compõe a edificação dimensionada no presente memorial de cálculo.

Tabela 9 – Lista de materiais da edificação dimensionada

Estrutura	Perfil	Compr. (m)	Peso (kg/m)	Peso (kg)
Banzos Inferiores	U200x75x3,00	225,00	7,96	1.791,0
Banzos Superiores	U200x75x4,75	226,12	12,34	2.790,8
Montantes	2L1.1/2"x1/8"	484,74	1,83	887,1
Diagonais	2L1.3/4"x1/8"	569,80	2,14	1.219,4
Diagonais	2L2"x1/8"	66,40	2,46	163,3
Terças de Cobertura	UE150x60x20x2,00	720,00	4,62	3.323,4
Tirantes das Terças	Ø1/2"	199,39	0,99	198,3
Tirantes de Contravent.	Ø1/2"	283,72	0,99	282,1
Mão Francesas	2L2.1/2"x3/16"	135,21	4,57	617,9
5% de ligações:				563,7
Total:				11.836,9

Portanto, para uma área de 1.000 m² o **índice de consumo de aço** será de **11,84 kg/m²**.

A lista de materiais da Tabela 9 foi elaborada com base no quantitativo dos comprimentos dos perfis obtidos a partir de um modelo unifilar. Após a conclusão do projeto executivo, será elaborada uma nova lista contemplando os comprimentos reais dos perfis e todos os elementos de ligação, a qual será apresentada na Tabela 10, do Item 13.

12. LIGAÇÕES

Segue abaixo o dimensionamento das ligações principais de acordo com a norma NBR 8800 (ABNT, 2024) – exceto onde indicado.

12.1. LIGAÇÃO EM NÓ DAS DIAGONAIS E MONTANES DAS TESOURAS

Perfil L1.1/2"x1/8"

- Solicitação:

Maior solicitação = 5,98 tf → Item 9.1 (Tabela 4 e 7)

- Espessura do Filete de solda:

$t = 3,17 \text{ mm} \rightarrow b_{\min} = 3 \text{ mm}$ (Tabela 10 da ABNT NBR 8800, 2024)

- Determinação dos esforços nos filetes:

$$N_{dc} = \frac{N_{sd}}{2} = \frac{5,98}{2} = 3,0 \text{ tf}$$

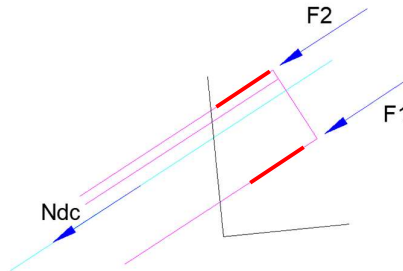
Considerando 2 linhas de filete, paralelamente ao esforço solicitante, tem-se:

$$F_{sd,2} = 100\% \times \frac{38,1 - 10,7}{38,1} = 72\%$$

$$F_{sd,1} = 100\% \times \frac{10,7}{38,1} = 28\%$$

$$F_{sd,2} = 3,0 \times 0,72 = 2,16 \text{ tf}$$

$$F_{sd,1} = 3,0 \times 0,28 = 0,84 \text{ tf}$$



- Comprimento mínimo de filete:

Considerando 2 linhas de filete, paralelamente ao esforço solicitante, tem-se:

$$2,16 = \frac{0,6 \times (0,3 \times l_{w,\min}) \times 3,45}{1,1} \rightarrow l_{w,\min} = 3,83 \text{ cm}$$

$$2,16 = \frac{0,6 \times (0,3 \times l_{w,\min}/\sqrt{2}) \times 4,85}{1,35} \rightarrow l_{w,\min} = 4,72 \text{ cm}$$

$$l_{w,\text{adot}} = 50 \text{ mm}$$

Perfil L1.3/4"x1/8"

- Solicitação:

Maior solicitação = 6,05 tf → Item 9.1 (Tabela 5 e 8)

- Espessura do Filete de solda:

$t = 3,17 \text{ mm} \rightarrow b_{\min} = 3 \text{ mm}$ (Tabela 10 da ABNT NBR 8800, 2024)

- Determinação dos esforços nos filetes:

$$N_{dc} = \frac{N_{sd}}{2} = \frac{6,05}{2} = 3,0 \text{ tf}$$

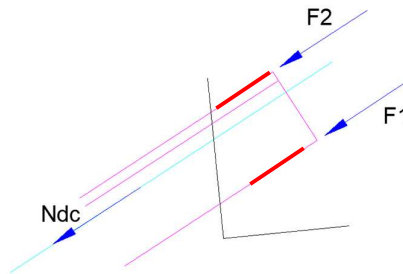
Considerando 2 linhas de filete, paralelamente ao esforço solicitante, tem-se:

$$F_{sd,2} = 100\% \times \frac{44,45 - 12,2}{44,45} = 72,6\%$$

$$F_{sd,1} = 100\% \times \frac{12,2}{44,45} = 27,4\%$$

$$F_{sd,2} = 3,0 \times 0,726 = 2,19 \text{ tf}$$

$$F_{sd,1} = 3,0 \times 0,274 = 0,81 \text{ tf}$$



- Comprimento mínimo de filete:

Considerando 2 linhas de filete, paralelamente ao esforço solicitante, tem-se:

$$2,19 = \frac{0,6 \times (0,3 \times l_{w,\min}) \times 3,45}{1,1} \rightarrow l_{w,\min} = 3,88 \text{ cm}$$

$$2,19 = \frac{0,6 \times (0,3 \times l_{w,\min}/\sqrt{2}) \times 4,85}{1,35} \rightarrow l_{w,\min} = 4,79 \text{ cm}$$

$$l_{w,\text{adot}} = 50 \text{ mm}$$

Perfil L2"x1/8"

- Solicitação:

Maior solicitação = 8,94 tf → Item 9.1 (Tabela 5 e 8)

- Espessura do Filete de solda:

$t = 3,17 \text{ mm} \rightarrow b_{\min} = 3 \text{ mm}$ (Tabela 10 da ABNT NBR 8800, 2024)

- Determinação dos esforços nos filetes:

$$N_{dc} = \frac{N_{sd}}{2} = \frac{8,94}{2} = 4,5 \text{ tf}$$

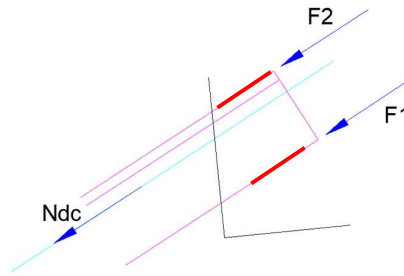
Considerando 2 linhas de filete, paralelamente ao esforço solicitante, tem-se:

$$F_{Sd,2} = 100\% \times \frac{50,8 - 14}{50,8} = 72,4\%$$

$$F_{Sd,1} = 100\% \times \frac{14}{50,8} = 27,6\%$$

$$F_{Sd,2} = 4,5 \times 0,724 = 3,24 \text{ tf}$$

$$F_{Sd,1} = 4,5 \times 0,276 = 1,26 \text{ tf}$$



- Comprimento mínimo de filete:

Considerando 2 linhas de filete, paralelamente ao esforço solicitante, tem-se:

$$3,24 = \frac{0,6 \times (0,3 \times l_{w,\min}) \times 3,45}{1,1} \rightarrow l_{w,\min} = 5,74 \text{ cm}$$

$$3,24 = \frac{0,6 \times (0,3 \times l_{w,\min}/\sqrt{2}) \times 4,85}{1,35} \rightarrow l_{w,\min} = 7,09 \text{ cm}$$

$$l_{w,\text{adot}} = 75 \text{ mm}$$

Chapa de Nó

A chapa de nó mais solicitada na tesoura é a que conecta o montante 7, a diagonal 16 e o banzo superior

4. Dessa forma, o dimensionamento será realizado para esse caso mais crítico e adotado para os demais nós da tesoura.

- Barra chata:

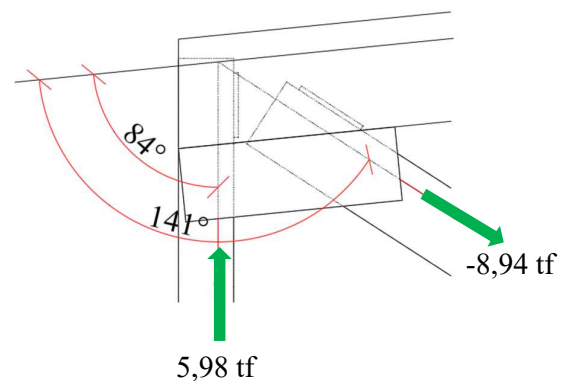
$$BL2'' \times 1/8'' \rightarrow b = 50,8 \text{ mm e } t = 3,17 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{Comprimento} = 150 \text{ mm}$$

- Solicitações:

$$F_{Sd,V} = 5,98 \times \sin 84^\circ - 8,94 \times \sin 39^\circ = 0,32 \text{ tf}$$

$$F_{Sd,H} = 5,98 \times \cos 84^\circ + 8,94 \times \cos 39^\circ = 7,58 \text{ tf}$$



- Solda de Entalhe:

$$b = 3,17 \text{ mm}$$

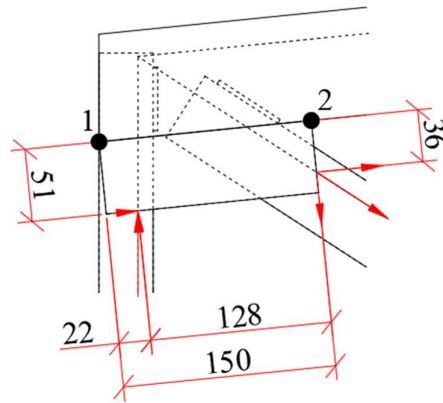
Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda:

$$F_{Rd,w} = \frac{0,317 \times 15 \times 3,45}{1,1} = 14,91 \text{ tf} > F_{Sd,V} = \frac{0,32}{2} = 0,16 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (1,1\%)}$$

Cisalhamento efetivo da solda:

$$F_{Rd,w} = \frac{0,6 \times 0,317 \times 15 \times 3,45}{1,1} = 8,95 \text{ tf} > F_{Sd,H} = \frac{7,58}{2} = 3,79 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (42,3\%)}$$

- Verificação da chapa de Nó:



$$M_{S,d,1} = (5,98 \times \cos 84^\circ) \times 5,1 + (5,98 \times \sin 84^\circ) \times 2,2$$

$$+ (8,94 \times \cos 39^\circ) \times 3,6 - (8,94 \times \sin 39^\circ) \times 15 = -43,1 \text{ tf.cm}$$

$$M_{S,d,2} = (5,98 \times \cos 84^\circ) \times 5,1 - (5,98 \times \sin 84^\circ) \times 12,8 = -72,9 \text{ tf.cm}$$

$$W = 0,317 \times 15^2 / 6 = 11,89 \text{ cm}^3$$

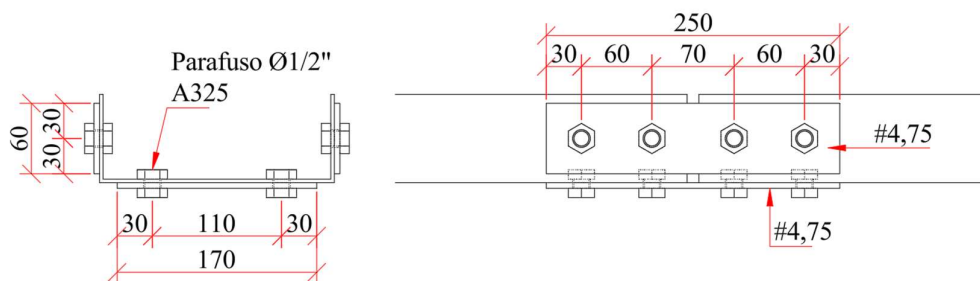
Verificação da tensão normal:

$$f_{S,d} = \frac{M_{S,d}}{W} = \frac{72,9}{11,89} = 3,06 \text{ tf/cm}^2$$

$$f_{R,d} = \frac{f_y}{1,1} = \frac{3,45}{1,1} = 3,14 \text{ tf/cm}^2$$

$$f_{S,d} < f_{R,d} \rightarrow \text{OK! (97,5\%)}$$

12.2. EMENDA DAS TESOURAS



- Solicitação:

Banzo Inferior $\rightarrow PP = 2,30 \text{ tf} - AP = 5,28 \text{ tf} - SC = 4,59 \text{ tf} - V1 = -12,35 \text{ tf}$

Banzo Superior $\rightarrow PP = -2,41 \text{ tf} - AP = -5,55 \text{ tf} - SC = -4,83 \text{ tf} - V1 = 13,24 \text{ tf}$

$$\text{Combinação 1} \rightarrow 1,25 \times 2,30 + 1,4 \times 5,28 + 1,5 \times 4,59 = 17,2 \text{ tf}$$

$$\text{Combinação 2} \rightarrow 1,0 \times (-2,41) + 1,0 \times (-5,55) + 1,4 \times 13,24 = 10,6 \text{ tf}$$

- Distância entre furos:

$$df = 12,7 + 2 = 14,7 \approx 15 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 3 \times 12,7 = 38,1 \text{ mm} < 60 \text{ mm} \rightarrow \text{Ok!}$$

- Distância entre furo e borda:

$$e_{\min} = 1,5 \times 12,7 = 19,05 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \rightarrow \text{Ok!}$$

- Distribuição em função do esforço normal:

$$\text{Alma} \rightarrow \text{Perfil} \rightarrow N_{t,Sd} = 17,2 \times \frac{18,8 \times 0,3}{(18,8 \times 0,3 + 2 \times 6,9 \times 0,3)} = 9,9 \text{ tf}$$

$$\text{Alma} \rightarrow \text{Chapa} \rightarrow N_{t,Sd} = 17,2 \times \frac{17 \times 0,475}{(17 \times 0,475 + 2 \times 6 \times 0,475)} = \mathbf{10,1 \text{ tf}}$$

$$\text{Mesa} \rightarrow \text{Perfil} \rightarrow N_{t,Sd} = 17,2 \times \frac{2 \times (6,9 \times 0,3)}{(18,8 \times 0,3 + 2 \times 6,9 \times 0,3)} = \mathbf{7,3 \text{ tf}}$$

$$\text{Mesa} \rightarrow \text{Chapa} \rightarrow N_{t,Sd} = 17,2 \times \frac{2 \times 6 \times 0,475}{(17 \times 0,475 + 2 \times 6 \times 0,475)} = 7,1 \text{ tf}$$

Parafusos → Mesas

- Resistência ao cisalhamento:

$$F_{Rd,v} = \frac{0,45 \times (\pi \times 1,27^2 / 4) \cdot 8,25}{1,35} = 3,48 \text{ tf} > \frac{7,3}{4} = 1,83 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (52,6\%)}$$

- Verificação da pressão de contato:

$$l_{f1} = 30 - 15/2 = 22,5 \text{ mm}$$

$$l_{f2} = 60 - 15 = 45 \text{ mm} \quad l = 22,5 \text{ mm}$$

$$F_{Rd,c} < \begin{cases} \frac{1,5 \times 2,25 \times 0,475 \times 4,5}{1,35} = 5,34 \text{ tf} \\ \frac{3 \times 1,27 \times 0,475 \times 4,5}{1,35} = 6,03 \text{ tf} \end{cases} \rightarrow F_{Rd,c} = 5,34 \text{ tf} > \frac{7,3}{4} = 1,83 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (34,3\%)}$$

Parafusos → Alma

- Resistência ao cisalhamento:

$$F_{Rd,v} = \frac{0,45 \times (\pi \times 1,27^2 / 4) \cdot 8,25}{1,35} = 3,48 \text{ tf} > \frac{10,1}{4} = 2,53 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (72,7\%)}$$

- Verificação da pressão de contato:

$$l_{f1} = 30 - 15/2 = 22,5 \text{ mm}$$

$$l_{f2} = 60 - 15 = 45 \text{ mm} \quad l = 22,5 \text{ mm}$$

$$F_{Rd,c} < \begin{cases} \frac{1,5 \times 2,25 \times 0,475 \times 4,5}{1,35} = 5,34 \text{ tf} \\ \frac{3 \times 1,27 \times 0,475 \times 4,5}{1,35} = 6,03 \text{ tf} \end{cases} \rightarrow F_{Rd,c} = 5,34 \text{ tf} > \frac{10,1}{4} = 2,53 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (47,4\%)}$$

Chapa das Mesas

- Escoamento da Seção Bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{(6 \times 0,475) \times 3,45}{1,1} = 8,94 \text{ tf} > \frac{7,3}{2} = 3,65 \text{ tf} \rightarrow \text{Ok! (40,8\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida:

$$A_{furos} = 1,5 \times 0,475 = 0,71 \text{ cm}^2$$

$$A_n = (6 \times 0,475) - 0,71 = 2,14 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - [(0,475/2)/6] = 0,96 \rightarrow 0,9$$

$$N_{t,Rd} = \frac{(0,90 \times 2,14) \times 4,5}{1,35} = 6,42 \text{ tf} > \frac{7,3}{2} = 3,65 \text{ tf} \rightarrow \text{Ok! (56,9\%)}$$

- Colapso por rasgamento:

$$A_{gv} = 9 \times 0,475 = 4,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 4,28 - 1,5 \times 1,5 \times 0,475 = 3,21 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 3 \times 0,475 - 0,5 \times 1,5 \times 0,475 = 1,07 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,r} < \begin{cases} \frac{0,6 \times 3,21 \times 4,5 + 1 \times 1,07 \times 4,5}{1,35} = 10,0 \text{ tf} \\ \frac{0,6 \times 4,28 \times 3,45 + 1 \times 1,07 \times 4,5}{1,35} = 10,1 \text{ tf} \end{cases}$$

$$F_{Rd,r} = 10,0 \text{ tf} > \frac{7,3}{2} = 3,65 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (36,5\%)}$$

Chapa da Alma

- Escoamento da Seção Bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{(17 \times 0,475) \times 3,45}{1,1} = 25,33 \text{ tf} > 10,1 \text{ tf} \rightarrow \text{Ok! (39,9\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida:

$$A_{furos} = 2 \times 1,5 \times 0,475 = 1,42 \text{ cm}^2$$

$$A_n = (17 \times 0,475) - 1,42 = 6,65 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - [(0,475/2)/6] = 0,96 \rightarrow 0,9$$

$$N_{t,Rd} = \frac{(0,90 \times 6,65) \times 4,5}{1,35} = 19,95 \text{ tf} > 10,1 \text{ tf} \rightarrow \text{Ok! (50,6\%)}$$

- Colapso por rasgamento:

$$A_{gv} = 9 \times 0,475 = 4,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 4,28 - 1,5 \times 1,5 \times 0,475 = 3,21 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 3 \times 0,475 - 0,5 \times 1,5 \times 0,475 = 1,07 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,r} < \begin{cases} \frac{0,6 \times 3,21 \times 4,5 + 1 \times 1,07 \times 4,5}{1,35} = 10,0 \text{ tf} \\ \frac{0,6 \times 4,28 \times 3,45 + 1 \times 1,07 \times 4,5}{1,35} = 10,1 \text{ tf} \end{cases}$$

$$F_{Rd,r} = 10,0 \text{ tf} > 10,1 \text{ tf} \rightarrow \text{Aceitável (101,0\%)}$$

Perfil

- Escoamento da Seção Bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{10,14 \times 2,5}{1,1} = 23,05 \text{ tf} > 17,2 \text{ tf} \rightarrow \text{Ok! (74,8\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida:

$$A_{furos} = 4 \times 1,5 \times 0,3 = 1,8 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 10,14 - 1,8 = 8,34 \text{ cm}^2$$

$C_t = 1 \rightarrow$ força de tração transmitida diretamente para cada um dos elementos do perfil

$$N_{t,Rd} \leq \begin{cases} \frac{10,14 \times 4,0}{1,35} = 30,0 \text{ tf} \\ \frac{1 \times 8,34 \times 4,0}{1,65} = 20,2 \text{ tf} \end{cases} \rightarrow N_{t,Rd} = 20,2 \text{ tf} > 17,2 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (85,1\%)}$$

Ligação da Diagonal na posição da emenda

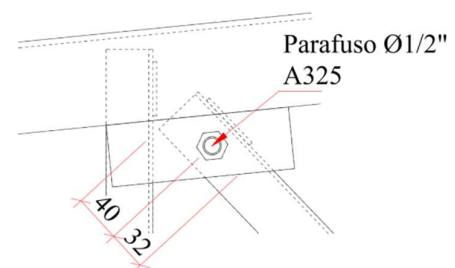
- Solicitação:

$$\text{Barra 20} \rightarrow F_{Sd,v} = 1,13 \text{ tf} \rightarrow \text{Item 9.1 (Tabela 5 e 8)}$$

- Distância entre furo e borda:

$$d_f = 12,7 + 2 = 14,7 \approx 15 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 1,5 \times 12,7 = 19,05 \text{ mm} < 32 \text{ mm} \rightarrow \text{Ok!}$$



Parafusos

- Resistência dos parafusos:

$$F_{Rd,v} = \frac{0,45 \times (\pi \times 1,27^2 / 4) \times 8,25}{1,35} = 3,48 \text{ tf} > \frac{1,13}{2} = 0,57 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (16,4\%)}$$

- Verificação da pressão de contato:

$$l_f = 32 - 15/2 = 24,5 \text{ mm}$$

$$F_{Rd,c} < \begin{cases} \frac{1,5 \times 2,45 \times 0,317 \times 4,5}{1,35} = 3,89 \text{ tf} \\ \frac{3 \times 1,27 \times 0,317 \times 4,5}{1,35} = 4,03 \text{ tf} \end{cases} \rightarrow F_{Rd,c} = 3,89 \text{ tf} > \frac{1,13}{2} = 0,57 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (14,7\%)}$$

Barras Chatas

- Colapso por rasgamento:

$$A_{gv} = 3,2 \times 0,317 = 1,01 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 1,01 - 0,5 \times 1,5 \times 0,317 = 0,77 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 3 \times 0,317 - 0,5 \times 1,5 \times 0,317 = 0,71 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,r} < \begin{cases} \frac{0,6 \times 0,77 \times 4,5 + 1 \times 0,71 \times 4,5}{1,35} = 3,91 \text{ tf} \\ \frac{0,6 \times 1,01 \times 3,45 + 1 \times 0,71 \times 4,5}{1,35} = 3,92 \text{ tf} \end{cases}$$

$$F_{Rd,r} = 3,91 \text{ tf} > \frac{1,13}{2} = 0,57 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (14,6\%)}$$

Perfil

- Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{5,42 \times 3,45}{1,1} = 17,00 \text{ tf} > 1,13 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (6,6\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida

$$A_{furos} = 2 \times 1,5 \times 0,317 = 0,95 \text{ cm}^2$$

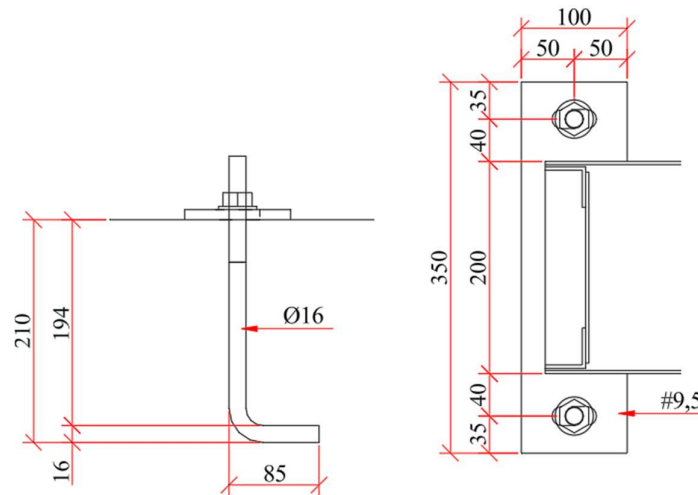
$$A_n = 5,42 - 0,95 = 4,47 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{1,22}{0} \rightarrow C_{t,adot} = 0,6$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \times 4,47 \times 4,5}{1,35} = 8,94 \text{ tf} > 1,13 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (12,6\%)}$$

12.3. APOIO DAS TESOURAS NOS PILARES DE CONCRETO

Será dimensionado o apoio de segundo gênero, sendo adotada a mesma configuração para o apoio de primeiro gênero, liberando apenas o esforço horizontal neste último.



- Solicitação:

PP = -0,80 tf – AP = -1,85 tf – SC = -1,60 tf – V_{2,V} = 4,29 tf – V_{2,H} = 0,26 tf

Compressão: Combinação 1 → 1,25x(-0,80) + 1,4x(-1,85) + 1,5x(-1,60) = -6,0 tf

Tração: Combinação 1 → 1,0x(-0,80) + 1,0x(-1,85) + 1,4x(4,29) = 3,4 tf

Cisalhamento: Combinação 1 → 1,4x(0,26) = 0,37 tf

Combinação Compressão + Cisalhamento = $\sqrt{(6,0^2 + 0,37^2)} = 6,01$ tf

Combinação Tração + Cisalhamento = $\sqrt{(3,4^2 + 0,37^2)} = 3,42$ tf

- Distância entre furo e borda:

$$d_f = 16 + 2 = 18 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 1,5 \times 16 = 24 \text{ mm} < 50 \text{ mm} \rightarrow \text{Ok!}$$

- Chumbadores → Resistência ao Cisalhamento:

$$F_{Rd,v} = \frac{0,45 \times (\pi \times 1,6^2/4) \times 4000}{1,35} = 2681 \text{ kgf} > \frac{370}{2} = 185 \text{ kgf} \rightarrow \text{OK! (6,9\%)}$$

- Chumbadores → Resistência à Tração:

$$F_{Rd,t} = \frac{(\pi \times 1,6^2/4) \times 2500}{1,1} = 4570 \text{ kgf} > \frac{3400}{2} = 1700 \text{ kgf} \rightarrow \text{OK! (37,2\%)}$$

$$F_{Rd,t} = \frac{(0,75 \times \pi \times 1,6^2/4) \times 4000}{1,35} = 4468 \text{ kgf} > \frac{3400}{2} = 1700 \text{ kgf} \rightarrow \text{OK! (38,0\%)}$$

- Chumbadores → Cisalhamento + Tração:

$$\left(\frac{185}{2383}\right)^2 + \left(\frac{1700}{4468}\right)^2 = 0,15 < 1,0 \rightarrow \text{OK!}$$

- Chumbadores → Espaçamento e Dimensões (ANSI/AISC 360, 2022):

Espaçamento → Maior (10 cm e $5 \times 1,6 = 8$ cm) = 10 cm < 28 cm → OK!

$$T_u = 0,56 \times \left(\pi \times \frac{1,6^2}{4} \right) \times 4000 = 4504 \text{ kgf}$$

$$\text{Gancho} \rightarrow \frac{4504}{1,4 \times 250 \times 1,6} = 8,04 \text{ cm} < 8,5 \text{ cm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$\text{Ancoragem} \rightarrow 12 \times 1,6 = 19,2 \text{ cm} < 19,4 \text{ cm} \rightarrow \text{OK!}$$

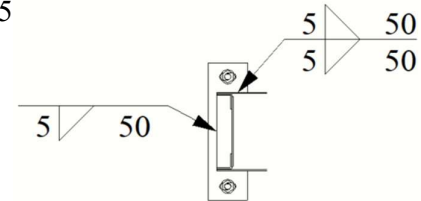
- Filete de solda:

$$b_{\min} = 3 \text{ mm (Tabela 10 da ABNT NBR 8800, 2024)} \rightarrow b_{\text{adot.}} = 5$$

$$6,01 = \frac{0,6 \times (0,5 \times l_{w,\min}) \times 2,5}{1,1} \rightarrow l_{w,\min} = 8,8 \text{ cm}$$

$$6,01 = \frac{0,6 \times (0,5 \times l_{w,\min} / \sqrt{2}) \times 4,85}{1,35} \rightarrow l_{w,\min} = 7,9 \text{ cm}$$

$$l_{w,\text{adot}} = 150 \text{ mm}$$



- Espessura da chapa:

$$a = 35 \text{ mm (} a < 1,25 \times b \text{)}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

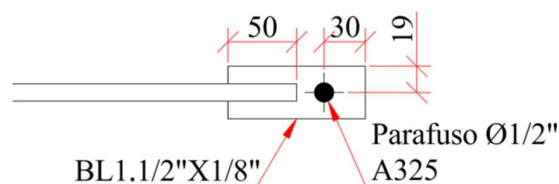
$$e_{\text{ext}} = 50 \text{ mm}$$

$$p = \min.(50 \text{ e } 1,75 \times 40) + \min.(50 \text{ e } 1,75 \times 40) = 100 \text{ mm}$$

Considerando placa rígida:

$$t > \sqrt{\frac{4 \times (4 - 0,5 \times 1,6) \times 1700 \times 1,1}{10 \times 4500}} = 0,73 \text{ cm} \rightarrow t_{\text{adot}} = 9,5 \text{ mm}$$

12.4. CONTRAVENTAMENTO



- Ações:

$$N_{t,Sk} = 607 \text{ kgf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,4 \times 607 = 849,8 \text{ kgf} \approx 0,85 \text{ tf}$$

- Distância entre furo e borda:

$$d_f = 12,7 + 2 = 14,7 \approx 15 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 1,5 \times 12,7 = 19,05 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \rightarrow \text{Ok!}$$

Parafuso

- Resistência ao cisalhamento:

$$F_{Rd,v} = \frac{0,45 \times (\pi \times 1,27^2 / 4) \times 8,25}{1,35} = 3,48 \text{ tf} > 0,85 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (24,4\%)}$$

- Verificação da pressão de contato:

$$l_f = 30 - 15/2 = 22,5 \text{ mm}$$

$$F_{Rd,c} < \begin{cases} \frac{1,5 \times 2,25 \times 0,317 \times 4,5}{1,35} = 3,57 \text{ tf} \\ \frac{3 \times 1,27 \times 0,317 \times 4,5}{1,35} = 4,03 \text{ tf} \end{cases} \rightarrow F_{Rd,c} = 3,57 \text{ tf} > 0,85 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (23,8\%)}$$

Barra Chata

- Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{1,21 \times 3,45}{1,1} = 3,79 \text{ tf} > 0,85 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (22,4\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida

$$A_e = 1,21 - 1,5 \times 0,317 = 0,73 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{0,317/2}{0} \rightarrow C_{t,adot} = 0,6$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \times 0,73 \times 4,5}{1,35} = 1,46 \text{ tf} > 0,85 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (58,2\%)}$$

- Colapso por rasgamento:

$$A_{gv} = 3,0 \times 0,317 = 0,95 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 0,95 - 0,5 \times 1,5 \times 0,317 = 0,71 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 1,9 \times 0,317 - 0,5 \times 1,5 \times 0,317 = 0,36 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,r} < \begin{cases} \frac{0,6 \times 0,71 \times 4,5 + 1 \times 0,36 \times 4,5}{1,35} = 2,62 \text{ tf} \\ \frac{0,6 \times 0,95 \times 3,45 + 1 \times 0,36 \times 4,5}{1,35} = 2,66 \text{ tf} \end{cases}$$

$$F_{Rd,r} = 2,62 \text{ tf} > 0,85 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (32,4\%)}$$

Ligação Barra Redonda e Barra Chata

- Filete de solda:

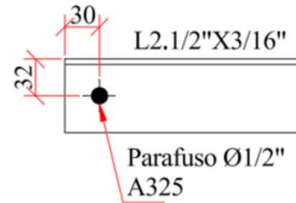
$$b_{\min} = 3 \text{ mm (Tabela 10 da ABNT NBR 8800, 2024)} \rightarrow b_{adot.} = 3 \text{ mm}$$

$$F_{Rd,w} = \frac{0,6 \times (0,3 \times 2 \times 5) \times 3,45}{1,1} = 5,6 \text{ tf}$$

$$F_{Rd,w} = \frac{0,6 \times (0,3 \times 2 \times 5/\sqrt{2}) \times 4,85}{1,35} = 4,6 \text{ tf}$$

$$F_{Rd,w} = 4,6 \text{ tf} > 0,85 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (18,5\%)}$$

12.5. MÃO FRANCESA



- Ações:

$$N_{t,sk} = 706 \text{ kgf}$$

$$\text{Combinação} \rightarrow 1,4 \times 706 = 988 \text{ kgf} \approx 1,0 \text{ tf}$$

- Distância entre furo e borda:

$$d_f = 12,7 + 2 = 14,7 \approx 15 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 1,5 \times 12,7 = 19,05 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \rightarrow \text{Ok!}$$

Parafuso

- Resistência ao cisalhamento:

$$F_{Rd,v} = \frac{0,45 \times (\pi \times 1,27^2 / 4) \times 8,25}{1,35} = 3,48 \text{ tf} > 1,0 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (28,7\%)}$$

- Verificação da pressão de contato:

$$l_f = 30 - 15/2 = 22,5 \text{ mm}$$

$$F_{Rd,c} < \begin{cases} \frac{1,5 \times 2,25 \times 0,476 \times 4,5}{1,35} = 5,36 \text{ tf} \\ \frac{3 \times 1,27 \times 0,476 \times 4,5}{1,35} = 6,05 \text{ tf} \end{cases} \rightarrow F_{Rd,c} = 5,36 \text{ tf} > 1,0 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (18,7\%)}$$

Perfil

- Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{5,80 \cdot 3,45}{1,1} = 18,19 \text{ tf} > 1,0 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (5,5\%)}$$

- Ruptura da Seção Líquida

$$A_{\text{furos}} = 1,5 \times 0,476 = 0,71 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 5,80 - 0,71 = 5,09 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{1,75}{0} \rightarrow C_{t,adot} = 0,6$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \times 5,09 \times 4,5}{1,35} = 10,18 \text{ tf} > 1,0 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (9,8\%)}$$

- Colapso por rasgamento:

$$A_{gv} = 3,0 \times 0,476 = 1,43 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 1,43 - 0,5 \times 1,5 \times 0,476 = 1,07 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 3,2 \times 0,476 - 0,5 \times 1,5 \times 0,476 = 1,17 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,r} < \begin{cases} \frac{0,6 \times 1,07 \times 4,5 + 1 \times 1,17 \times 4,5}{1,35} = 6,04 \text{ tf} \\ \frac{0,6 \times 1,43 \times 3,45 + 1 \times 1,17 \times 4,5}{1,35} = 6,09 \text{ tf} \end{cases}$$

$$F_{Rd,r} = 6,04 \text{ tf} > 1,0 \text{ tf} \rightarrow \text{OK! (16,6\%)}$$

13. LISTA DE MATERIAIS – PROJETO EXECUTIVO

A Tabela 10 apresenta a lista de materiais que compõem a edificação dimensionada, extraída do projeto executivo, na qual estão contemplados todos os perfis e ligações que serão utilizados na execução da estrutura.

Tabela 10 – Lista de materiais extraída do projeto executivo

Descrição	Perfil	Material	Compr. (m)	Qtde	Peso (kg/m)	Peso (kg)
Barra Chata	BL1.1/2"X1/8"	fy = 345 MPa fu = 450 MPa	8,00	-	0,95	7,60
	BL1.3/4"X1/8"		68,04	-	1,11	75,52
	BL2"X1/8"		228,06	-	1,27	289,64
Barra Redonda	FRØ1/2"	fy = 250 MPa fu = 400 MPa	553,90	-	0,99	550,81
	FRØ5/8"		11,20	-	1,58	17,68
Cantoneira Laminada	L1.1/2"X1/8"	fy = 345 MPa fu = 450 MPa	516,93	-	1,83	945,98
	L1.1/2"X1/4"		1,52	-	3,48	5,29
	L1.3/4"X1/8"		540,77	-	2,14	1.157,25
	L2"X1/8"		63,00	-	2,46	154,98
	L2.1/2"X3/16"		137,42	-	4,57	628,01
U Dobrado	UD150X50X3,0	fy = 250 MPa fu = 400 MPa	24,30	-	5,60	136,20
	UD200X75X3,0		225,31	-	7,96	1.793,45
	UD200X75X4,75		226,57	-	12,34	2.796,36
U Enrij. Dobrado	UE150X60X20X2,0		727,74	-	4,62	3.359,10
Chapas	CH60X250X4,75	fy = 345 MPa fu = 450 MPa	-	72	-	40,27
	CH170X250X4,75		-	36	-	57,05
	CH100X350X9,5		-	18	-	46,98
Total:						12.062,2

Portanto, para uma área de 1.000 m² o **índice de consumo de aço** é de **12,06 kg/m²**.

14. CONCLUSÃO TÉCNICA

A estrutura metálica proposta apresentou excelente desempenho quanto à eficiência estrutural e racionalização construtiva. O consumo estimado de aço estrutural foi de 12,00 kg/m² (Item 5.1.), enquanto o valor obtido após a finalização do projeto executivo foi de 12,06 kg/m² (Tabela 10), demonstrando aderência ao valor previsto e confirmando a precisão do modelo estrutural adotado.

Entre as principais vantagens do uso do aço estrutural no projeto desenvolvido, destacam-se:

- Redução do peso próprio da estrutura, minimizando esforços nas fundações;
- Maior precisão dimensional e controle de qualidade pela fabricação industrial;
- Rapidez na execução e montagem, reduzindo prazos de obra;
- Possibilidade de desmontagem e reaproveitamento dos elementos estruturais; e
- Integração com sistemas sustentáveis, como a instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura.

Além disso, a adoção de um sistema construtivo industrializado — com treliças planas, ligações parafusadas e peças padronizadas — proporcionou facilidade logística, redução de erros de montagem e racionalização de materiais, reforçando a viabilidade técnica e econômica da solução estrutural em aço.

Diante do exposto, conclui-se que a solução estrutural adotada atende plenamente aos requisitos de segurança, funcionalidade e desempenho previstos nas normas técnicas brasileiras aplicáveis, em especial as NBR 8800 (ABNT, 2024), NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 15575 (ABNT, 2021). Destaca-se pela eficiência estrutural, facilidade construtiva e sustentabilidade do sistema em aço. O projeto cumpre integralmente os objetivos propostos, garantindo um comportamento adequado da cobertura metálica durante sua vida útil, com manutenção simplificada, padronização construtiva e elevado padrão técnico de execução.

15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para cálculo de estruturas**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações**. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2021.

- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **ANSI/AISC 360-05, -10, -16, -22: Specification for structural steel buildings**. AISC, 2005, 2010, 2016, 2022.
- ROSA, G. R.; PRAVIA, Z. M. C. **Planos de manutenção para empreendimentos em estruturas de aço**. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca/planos-de-manutencao-para-empreendimentos-em-estruturas-de-aco>. Acesso em: 29 out. 2025
- PINHO, M. O. **Manual de Construção em Aço (CBCA) – Transporte e Montagem**. Rio de Janeiro, 2018.
- REZENDE, J. P. V.; VIANA, H. F.; FRANCKLIN, H. M.; IZIDORO, A. A. dos S.; CAMPOSILVAN, J. C. de S.; FRAGA, I. F. **Influence of roof pitch on the design and steel consumption of Pratt trusses in industrial sheds**. *Caderno Pedagógico, [S. l.]*, v. 21, n. 13, p. e11948, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n13-190. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/11948>. Acesso em: 4 set. 2025.
- RIBEIRO, A. B.; OLIVEIRA, L. S. de; MACHADO, R. G.; PADUA, L. H. de; REZENDE, J. P. V.; FRAGA, I. F.; MORAES, M. H. M. de; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. **Influence of the end vertical member length on the design of steel roof trusses**. *Caderno Pedagógico, [S. l.]*, v. 22, n. 1, p. e13744, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n1-290. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/13744>. Acesso em: 4 set. 2025.