



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
DIRETORIA GERAL DO CÂMPUS JOÃO PESSOA
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LENILDO SOARES DA SILVA JUNIOR

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AÇO TRADICIONAL (ASTM A36) E AÇO DE
ALTA RESISTÊNCIA (ASTM A572 Gr. 50) EM TRELIÇAS**

JOÃO PESSOA - PB
2025

LENILDO SOARES DA SILVA JUNIOR

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AÇO TRADICIONAL (ASTM A36) E AÇO DE
ALTA RESISTÊNCIA (ASTM A572 Gr.50) EM TRELIÇAS**

Monografia de graduação apresentada ao Curso
Superior de Bacharelado em Engenharia Civil como
parte dos requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: MARCOS ALYSSANDRO SOARES DOS
ANJOS

Coorientador: ULISSES TARGINO BEZERRA

JOÃO PESSOA - PB
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *campus* João Pessoa

S586e

Silva Junior, Lenildo Soares da.

Estudo comparativo entre aço tradicional (ASTM A36) e
aço de alta resistência (ASTM A572 Gr.50) em treliças /
Lenildo Soares da Silva Junior. – 2026.

80 f. : il.

TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB /
Coordenação de Engenharia Civil.

Orientador: Marcos Alyssandro Soares dos Anjos.

Coorientador: Ulisses Targino Bezerra.

1. Estrutura metálica. 2. Treliça Pratt. 3. Aço ASTM A36. 4.
Aço ASTM A572 Grau 50. 5. Perfil laminado. 6. Perfil de
chapa dobrada. 7. Otimização de custos. I. Título.

CDU 624.014.2

 INSTITUTO FEDERAL Paraíba	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba CAMPUS JOÃO PESSOA
---	--

DECISÃO 23/2026 - CBEC/UA1/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB, de 22 de fevereiro de 2026.

LENILDO SOARES DA SILVA JUNIOR
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AÇO TRADICIONAL (ASTM A36) E AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA
(ASTM A572 GR. 50) EM TRELIÇAS

	Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito curricular para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil
--	--

Aprovado em 06 de fevereiro de 2026

Banca Examinadora

Dr. Marcos Alyssandro Soares dos Anjos (Orientador - IFPB)

Dr. Ulisses Targino Bezerra (Co-orientador IFPB)

Dra. Ana Cláudia Leão Borges (Examinadora Interna - IFPB)

Me. Breno José Santos da Silva (Examinador Interno - IFPB)

JOÃO PESSOA

2026

Documento assinado eletronicamente por:

- Marcos Alyssandro Soares dos Anjos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2026 18:46:23.
- Ulisses Targino Bezerra, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 23/02/2026 09:00:23.
- Ana Claudia Leao Borges, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 23/02/2026 17:03:53.
- Breno Jose Santos da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/02/2026 14:42:26.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código: 835841
Verificador: 18dfb84fdc
Código de Autenticação:



NOSSA MISSÃO: Ofertar a educação profissional, tecnológica e humanística em todos os seus níveis e modalidades por meio do Ensino, da Pesquisa e da Extensão, na perspectiva de contribuir na formação de cidadãos para atuarem no mundo do trabalho e na construção de uma sociedade inclusiva, justa, sustentável e democrática.

VALORES E PRINCÍPIOS: Ética, Desenvolvimento Humano, Inovação, Qualidade e Excelência, Transparência, Respeito, Compromisso Social e Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, fonte de toda sabedoria e fortaleza, por conduzir meus passos ao longo de toda a minha trajetória pessoal e acadêmica, concedendo-me forças para superar os desafios e alcançar a conclusão desta importante etapa da minha formação.

Aos meus pais, Lenildo e Verônica, expresso minha mais profunda gratidão pelo amor incondicional, pelos ensinamentos, pela dedicação incansável e pelos inúmeros sacrifícios realizados para que eu pudesse usufruir de uma educação de qualidade. Tudo o que sou e conquistei até aqui devo a vocês.

Aos meus amigos Rhuan, Samuel, José Neto, Júlia e Lia, pela amizade leal, pelo companheirismo constante e pelo apoio irrestrito nos momentos de dificuldades e conquistas ao longo desta jornada.

Ao Grupo Delta, registro meu sincero agradecimento por todo o apoio, união e parceria construídos durante a vida acadêmica no IFPB, tornando essa caminhada mais leve, significativa e memorável.

Aos meus amigos de curso e de estágio Bruno, Antoniely, Larissa, Zé Vitor, Diego, Lavínia, Valdemir, Maria Eduarda e André pela convivência acadêmica e profissional, pelo incentivo mútuo e pelas valiosas trocas de experiências que levarei para toda a vida.

Ao meu orientador, Professor Marcos Alyssandro, expresso minha sincera gratidão por ter aceitado conduzir este trabalho.

Ao meu coorientador, Professor Ulisses Targino Bezerra, minha especial gratidão, por meio de suas aulas e de sua postura docente, ter sido fundamental para que eu permanecesse motivado, persistente e confiante ao longo do curso.

À Professora Ana Cláudia, meu profundo reconhecimento pela dedicação exemplar à docência, pela sensibilidade no trato com os alunos e pelo auxílio sempre presente em diversos aspectos da vida acadêmica.

Aos professores do curso de Engenharia do IFPB, expresso meu reconhecimento pela dedicação ao ensino, pelo comprometimento com a formação técnica e humana dos alunos e

pela contribuição essencial para o desenvolvimento do conhecimento que fundamentou minha trajetória acadêmica.

Aos profissionais que pude conhecer ao longo da minha trajetória de estágios, agradeço pelos ensinamentos técnicos, pela orientação profissional e pelas experiências compartilhadas, que foram essenciais para a consolidação da minha formação.

Por fim, à Instituição IFPB, manifesto minha sincera gratidão por proporcionar a estrutura, o conhecimento e as oportunidades indispensáveis à minha formação acadêmica, técnica e cidadã.

RESUMO

As estruturas metálicas destacam-se na construção civil pela elevada resistência mecânica, rapidez construtiva e versatilidade de aplicação. Entretanto, a escolha do tipo de aço e do perfil estrutural influencia diretamente o desempenho estrutural e o custo final da obra. Neste trabalho, é apresentado um estudo comparativo entre o uso do aço estrutural convencional ASTM A36 e do aço de alta resistência ASTM A572 Grau 50 aplicados a uma treliça metálica do tipo Pratt. Foram analisadas duas configurações estruturais: uma estrutura composta por aço ASTM A36 com a utilização de perfis laminados e perfis de chapa dobrada; e outra estrutura composta por aço ASTM A572 Grau 50, utilizando perfis laminados da série W nos banzos e perfis laminados do tipo duplo L nas diagonais e montantes. O dimensionamento foi realizado com base nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8800, considerando os esforços axiais atuantes, as verificações de flambagem e as propriedades geométricas dos perfis. Os resultados obtidos indicaram que a solução em aço de alta resistência apresentou maior eficiência estrutural, com redução de peso próprio e otimização dos custos de fabricação, quando comparada à solução em aço convencional. Além disso, os perfis laminados mostraram-se mais vantajosos em relação aos perfis de chapa dobrada quanto à disponibilidade comercial, facilidade de cálculo e execução. Conclui-se que a adoção do aço ASTM A572 Grau 50 constitui uma alternativa tecnicamente eficiente e economicamente mais vantajosa para estruturas metálicas treliçadas.

Palavras-chave: estrutura metálica; treliça Pratt; aço ASTM A36; aço ASTM A572 Grau 50; perfil laminado; perfil de chapa dobrada; otimização de custos.

ABSTRACT

Steel structures stand out in civil construction due to their high mechanical strength, fast execution, and versatility of application. However, the choice of steel grade and structural profile has a direct influence on the structural performance and the final cost of the project. This study presents a comparative analysis between the use of conventional structural steel ASTM A36 and high-strength steel ASTM A572 Grade 50 applied to a Pratt-type steel truss. Two structural configurations were analyzed: one composed of ASTM A36 steel using rolled profiles and cold-formed profiles; and another composed of ASTM A572 Grade 50 steel, using W-shape rolled profiles in the chords and double-angle rolled profiles in the diagonals and vertical members. The design was carried out according to the criteria established by ABNT NBR 8800, considering axial forces, buckling verification, and the geometric properties of the profiles. The results indicated that the solution using high-strength steel presented greater structural efficiency, with a reduction in self-weight and optimization of fabrication costs when compared to the conventional steel solution. In addition, rolled profiles proved to be more advantageous than cold-formed profiles in terms of commercial availability, ease of design, and execution. It is concluded that the adoption of ASTM A572 Grade 50 steel represents a technically efficient and economically more advantageous alternative for metallic truss structures.

Keywords: steel structure. Pratt truss; ASTM A36 steel; ASTM A572 grade 50 steel; rolled profiles; cold-formed profiles; cost optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Modelo estrutural escolhido	24
Figura 02 - Esforços axiais de compressão do banzo superior.....	27
Figura 03 - Esforços axiais de compressão dos montantes	27
Figura 04 - Esforços axiais de tração no banzo inferior.....	29
Figura 05 - Disposição da treliça para encontrar o ângulo α :	31
Figura 06 - Esforços solicitantes de tração e compressão da treliça	33
Figura 07 - Resultados dos esforços axiais analisados no <i>software</i> FTOOL	34
Figura 08 - Resumo do dimensionamento.....	58
Figura 09 - Resumo do dimensionamento.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Propriedades geométricas cantoneiras L	39
Tabela 02 - Propriedades geométricas cantoneiras duplo L (2L)	40
Tabela 03 - Valores de X em função do índice de esbeltez λ_0	47
Tabela 04 - Propriedades geométricas perfil série W Gerdau	60

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

A36 - Aço estrutural ASTM A36;

A572 - Aço estrutural ASTM A572 Grau 50;

ELU - Estado Limite Último;

ELS - Estado Limite de Serviço;

NBR - Norma Brasileira Registrada;

kg - Quilograma;

kN - Quilonewton;

MPa - Megapascal;

m - Metro;

mm - Milímetro;

cm - Centímetro;

ρ - Massa específica;

A - Área da seção transversal;

I - Momento de inércia;

I_x - Momento de inércia no eixo x;
 I_y - Momento de inércia no eixo y;
 r - Raio de giração;
 r_x - Raio de giração no eixo x;
 r_y - Raio de giração no eixo y;
 K - Coeficiente de flambagem;
 χ - Fator de redução da resistência por flambagem;
 L - Comprimento da barra;
 N - Esforço normal (esforço axial);
 W - Perfil laminado wide flange;
 L (perfil) - Cantoneira laminada;
 U - Perfil U;
ASTM – American Society for Testing and Materials.

SUMÁRIO

Ficha catalográfica	3
AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	13
2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
2.1 HIPÓTESE GERAL	15
2.2 HIPÓTESES ESPECÍFICAS.....	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. JUSTIFICATIVA.....	17
5. REFERENCIAL TEÓRICO	18
5.1 TRELIÇAS METÁLICAS	18
5.2 ESFORÇOS AXIAIS EM BARRAS DE TRELIÇA.....	18
5.3 AÇOS ESTRUTURAIS ASTM A36 E ASTM A572 Gr.50	18
5.3.1 AÇO ASTM A36.....	18
5.3.2 AÇO ASTM A572 Gr.50	19
5.4 PERFIS LAMINADOS E PERFIS CHAPAS DOBRADAS	20
5.5 FLAMBAGEM E ESTABILIDADE.....	21
5.6 SEÇÕES COMPACTAS	21
5.7 BASE NORMATIVA.....	21
6. METODOLOGIA	22
7. MODELO ESTRUTURAL ESCOLHIDO	23
7.1 RESOLUÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL.....	24
7.1.1 RESOLUÇÃO DOS ESFORÇOS AXIAIS DE COMPRESSÃO.....	24
7.1.2 RESOLUÇÃO DOS ESFORÇOS AXIAIS DE TRAÇÃO.....	28
7.1.3 RESUMO GERAL DOS ESFORÇOS AXIAIS DA ESTRUTURA	32
7.2 CONFERÊNCIA DOS CÁLCULOS UTILIZANDO O <i>SOFTWARE</i> FTOOL	32
8. DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO AÇO ASTM A36.....	33
8.1 DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO.....	34
8.1.1 BANZO INFERIOR	35

8.1.2	DIAGONAIS	38
8.2	DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO	41
8.2.1	BANZO SUPERIOR	42
8.2.2	MONTANTES	52
	ESFORÇO SOLICITANTE: 74 kN.....	55
8.3	RESUMO DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO AÇO A36.....	57
9.	DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO O AÇO A572.....	58
9.1	DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO.....	58
9.1.1	BANZO INFERIOR.....	58
9.1.2	DIAGONAIS.....	60
9.2	DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO	61
9.2.1	BANZO SUPERIOR.....	61
9.2.2	MONTANTES	65
9.3	RESUMO DOS PERFIS ADOTADOS.....	69
10.	ESTIMATIVA DE PREÇO E PESO.....	69
10.1	ESTIMATIVA DE PREÇO E PESO DA ESTRUTURA DIMENSIONADA UTILIZANDO AÇO A36.....	71
10.2	ESTIMATIVA DE PREÇO E PESO DA ESTRUTURA DIMENSIONADA UTILIZANDO AÇO A572	75
10.3	COMPARATIVO ENTRE AS ESTRUTURAS	77
	COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CUSTO:.....	77
	ESTRUTURA EM A36 × ESTRUTURA EM A572:.....	77
	COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO PESO:	78
	EM RELAÇÃO AO PESO ESTRUTURA EM A36 × ESTRUTURA EM A572:	78
	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS	80

1. INTRODUÇÃO

O aço é um dos materiais mais importantes da engenharia estrutural, sendo amplamente empregado na construção civil em razão de suas elevadas propriedades mecânicas, previsibilidade de comportamento, durabilidade e versatilidade de aplicação. As estruturas metálicas destacam-se por possibilitarem grandes vãos livres, elevado controle dimensional, rapidez de execução e facilidade de montagem, características que justificam sua ampla utilização em edificações industriais, comerciais, pontes e estruturas de infraestrutura em geral. (PFEIL; PFEIL, 2021; BELLEI et al., 2024).

O desenvolvimento da siderurgia ao longo das últimas décadas permitiu a ampliação da variedade de aços disponíveis para uso estrutural, possibilitando ao projetista escolher materiais com diferentes níveis de resistência, ductilidade e comportamento mecânico. Dentre esses materiais, o aço ASTM A36 consolidou-se como o aço estrutural mais tradicionalmente utilizado no Brasil, em virtude de sua ampla disponibilidade comercial, boa soldabilidade e comportamento plástico adequado às exigências de segurança das normas técnicas. Paralelamente, passaram a ganhar destaque os aços de maior resistência mecânica, como o ASTM A572 Gr.50, os quais permitem o desenvolvimento de estruturas mais esbeltas, com menores áreas de seção transversal, mantendo-se os níveis de segurança exigidos.

A utilização de aços com resistências distintas influencia diretamente o dimensionamento das peças, o consumo de material, o peso próprio da estrutura e, conseqüentemente, o comportamento global do sistema estrutural. Além disso, o uso de diferentes tipologias de perfis, como perfis laminados a quente e perfis formados a frio (chapas dobradas), também interfere de forma significativa tanto no desempenho estrutural quanto nos processos construtivos e nos custos de fabricação. Dessa forma, a definição do tipo de aço e da geometria do perfil não se restringe apenas à verificação da resistência, mas envolve também aspectos de ordem econômica, logística e executiva. (BELLEI 2024; ABNT NBR 8800, 2008).

No cenário atual da construção civil, observa-se uma crescente busca por soluções estruturais mais eficientes, que possibilitem a redução do consumo de materiais, a racionalização dos processos construtivos e a diminuição dos custos globais das obras, sem prejuízo à segurança e ao desempenho estrutural. Nesse contexto, o uso de aços de alta resistência surge como uma alternativa tecnicamente viável, porém sua aplicação deve ser criteriosamente avaliada, uma vez que sua eficiência depende da forma como os esforços estão distribuídos na estrutura e do tipo de elemento estrutural em que será empregado. (PFEIL;

PFEIL, 2021; BELLEI 2024).

Diante desse panorama, torna-se relevante o estudo comparativo entre o aço tradicional e o aço de alta resistência aplicados a estruturas metálicas, de forma a compreender as implicações dessas escolhas sob os pontos de vista estrutural, construtivo e econômico. Assim, este trabalho insere-se no campo da análise e do dimensionamento de estruturas metálicas, buscando contribuir para a discussão técnica acerca do uso racional do aço na engenharia civil e para a formação de critérios mais consistentes na escolha dos materiais estruturais.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar do amplo uso do aço ASTM A36 como material estrutural tradicional, o avanço da siderurgia tem proporcionado a crescente utilização de aços de alta resistência, como o ASTM A572 Gr.50, os quais possibilitam a redução das áreas de seção e do peso próprio das estruturas. No entanto, a adoção desses aços mais resistentes nem sempre resulta, de forma direta, em soluções estrutural e economicamente mais eficientes, uma vez que o desempenho final da estrutura depende da distribuição dos esforços, da tipologia dos perfis empregados, dos processos construtivos e dos custos de fabricação envolvidos.

Além disso, na prática do projeto estrutural, a escolha entre o uso do aço convencional e do aço de alta resistência envolve não apenas critérios de resistência mecânica, mas também aspectos relacionados ao consumo de material, ao peso próprio da estrutura, à viabilidade construtiva, à disponibilidade comercial dos perfis e ao custo global da obra. Nesse contexto, torna-se necessário avaliar de forma criteriosa o real impacto da substituição do aço convencional pelo aço de alta resistência em estruturas metálicas treliçadas.

Diante desse panorama, o presente trabalho busca responder à seguinte questão fundamental:

Qual é a alternativa estrutural mais eficiente, sob os pontos de vista do consumo de material, do peso próprio e do custo final, entre o uso exclusivo de aço ASTM A36 e o uso exclusivo de aço ASTM A572 Gr.50 em uma estrutura metálica do tipo treliça Pratt?

2.1 HIPÓTESE GERAL

A utilização do aço de alta resistência ASTM A572 Gr.50 em estruturas metálicas do tipo treliça possibilita a redução do consumo de material, do peso próprio e do custo final da estrutura quando comparada a soluções dimensionadas exclusivamente com o aço ASTM A36.

2.2 HIPÓTESES ESPECÍFICAS

- I. A substituição do aço ASTM A36 pelo aço ASTM A572 Gr.50 nos elementos estruturais da treliça proporciona redução significativa do peso próprio da estrutura, em virtude da maior resistência mecânica do aço de alta resistência;
- II. A estrutura dimensionada integralmente em aço ASTM A572 Gr.50 apresenta melhor

eficiência estrutural e econômica quando comparada à estrutura dimensionada integralmente em aço ASTM A36, considerando o consumo de material e o custo global da obra;

- III. A escolha adequada do tipo de perfil estrutural (perfis laminados ou perfis de chapa dobrada) influencia de forma significativa os resultados técnicos, construtivos e econômicos da análise comparativa entre as duas soluções em aço.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo comparativo entre o aço estrutural tradicional ASTM A36 e o aço de alta resistência ASTM A572 Gr.50 aplicados ao dimensionamento de uma estrutura metálica do tipo treliça, avaliando os impactos dessas escolhas no consumo de material, no peso próprio e no custo final da estrutura.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Determinar os esforços atuantes nas barras da treliça adotada por meio de análise estrutural, conforme os critérios das normas técnicas vigentes;
- II. Realizar o dimensionamento dos elementos estruturais da treliça utilizando exclusivamente o aço ASTM A36;
- III. Realizar o dimensionamento dos elementos estruturais da treliça utilizando exclusivamente o aço ASTM A572 Gr.50;
- IV. Comparar as duas alternativas estruturais quanto ao consumo de material e ao peso próprio total da estrutura;
- V. Estimar o custo de fabricação das duas soluções estruturais, considerando parâmetros praticados no mercado;
- VI. Analisar, de forma técnica e econômica, a viabilidade das soluções estudadas,

identificando a alternativa mais eficiente;

- VII. Avaliar a influência da escolha do tipo de aço e da tipologia de perfil no desempenho estrutural e no custo global da estrutura.

4. JUSTIFICATIVA

A crescente competitividade do setor da construção civil tem exigido soluções estruturais cada vez mais eficientes, seguras e economicamente viáveis. Nesse contexto, a engenharia estrutural assume papel fundamental na racionalização do uso dos materiais, especialmente no que se refere às estruturas metálicas, nas quais a escolha do tipo de aço e da tipologia dos perfis influencia diretamente o desempenho técnico e o custo final do empreendimento.

Embora o aço ASTM A36 seja tradicionalmente empregado em estruturas metálicas devido à sua ampla disponibilidade comercial, comportamento mecânico amplamente conhecido e boa soldabilidade, o avanço tecnológico da siderurgia tem ampliado, de forma significativa, a utilização de aços de maior resistência, como o ASTM A572 Gr.50. Esses materiais possibilitam a redução das áreas de seção e do peso próprio da estrutura, podendo gerar benefícios diretos nos custos de fabricação, transporte e montagem. No entanto, a adoção de aços de alta resistência não garante, por si só, a obtenção da solução estrutural mais vantajosa, uma vez que seu desempenho depende da correta aplicação em função da distribuição dos esforços, da tipologia dos perfis adotados e das particularidades do processo executivo.

Nesse sentido, torna-se relevante a realização de estudos comparativos que avaliem, de forma técnica e econômica, o desempenho de estruturas dimensionadas com aço convencional e com aço de alta resistência, permitindo verificar, de maneira objetiva, os impactos dessas escolhas no consumo de material, no peso próprio e no custo global da estrutura.

Dessa forma, o presente trabalho justifica-se pela sua importância técnica, acadêmica e profissional, ao propor uma análise comparativa entre o uso do aço ASTM A36 e do aço ASTM A572 Gr.50 aplicados a uma estrutura metálica do tipo treliça. Os resultados obtidos poderão contribuir para o meio acadêmico e para a prática profissional, fornecendo subsídios para a tomada de decisão no projeto de estruturas metálicas, com foco na otimização do consumo de material, na redução do peso próprio e na viabilidade econômica das soluções estruturais adotadas.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 TRELIÇAS METÁLICAS

As treliças são sistemas estruturais formados por barras interligadas em nós, cujas ligações são, em geral, consideradas articuladas. Dessa forma, os esforços normais desenvolvidos em suas barras são predominantemente axiais, de tração ou compressão. Esse tipo de estrutura apresenta elevada eficiência estrutural, pois permite vencer grandes vãos com baixo consumo de material, sendo amplamente utilizado em coberturas, passarelas e pontes metálicas (PFEIL; PFEIL, 2021).

A treliça do tipo Pratt, adotada neste trabalho, caracteriza-se por possuir diagonais predominantemente tracionadas e montantes comprimidos, o que favorece sua execução em aço, especialmente quando se utiliza perfis esbeltos. (BEZERRA, 2025).

5.2 ESFORÇOS AXIAIS EM BARRAS DE TRELIÇA

Em treliças idealizadas como sistemas isostáticos, os esforços nas barras podem ser determinados por métodos clássicos da estática, como o método dos nós e o método das seções. Nessas estruturas, as barras trabalham exclusivamente sob tração ou compressão, sendo desprezados, na formulação teórica, os efeitos de momento fletor e força cortante nas barras individuais, desde que as cargas sejam aplicadas nos nós (HIBBELER, 2016).

5.3 AÇOS ESTRUTURAIS ASTM A36 E ASTM A572 Gr.50

5.3.1 AÇO ASTM A36

O aço ASTM A36 é um dos aços estruturais mais amplamente utilizados na construção civil e na indústria metalúrgica devido à sua boa disponibilidade no mercado, facilidade de fabricação e comportamento mecânico adequado para grande parte das aplicações convencionais. Classificado como um aço carbono de resistência moderada, o A36 apresenta um limite de escoamento mínimo de aproximadamente 250 MPa, sendo, portanto, inferior aos valores encontrados em aços de alta resistência, como o ASTM A572 Grau 50. (ASTM A36;A36M, 2020)

Sua composição química é relativamente simples, composta basicamente por ferro e carbono, com pequenas frações de elementos como manganês, silício e fósforo. Essa

simplicidade confere ao material excelente soldabilidade e boa conformabilidade, permitindo dobragem, corte, laminação e fabricação de perfis sem grandes dificuldades. Por esse motivo, o ASTM A36 é frequentemente empregado na produção de perfis laminados, chapas, barras e vigas destinadas a estruturas metálicas de baixa e média complexidade.

No âmbito estrutural, o A36 se destaca por proporcionar um comportamento previsível e seguro, sendo adequado para vigas, pilares, treliças leves, elementos de contraventamento e componentes secundários. Entretanto, seu limite de escoamento mais baixo implica a necessidade de seções transversais maiores quando comparado aos aços de alta resistência. Isso resulta em perfis mais pesados e, conseqüentemente, em maior demanda de material para atingir o mesmo nível de capacidade resistente.

Embora isso possa representar um aumento no peso próprio da estrutura e nos esforços transmitidos às fundações, o A36 continua sendo uma alternativa bastante competitiva devido ao seu custo por tonelada geralmente inferior, sua ampla padronização e sua facilidade de obtenção no mercado nacional. Essas características fazem com que ele permaneça como um dos aços mais empregados em obras convencionais e projetos onde a redução de peso ou a otimização extrema não são fatores determinantes.

Além disso, o aço A36 apresenta boa ductilidade, o que contribui para um comportamento mais favorável em situações de carregamentos dinâmicos moderados ou eventos extremos, como impactos e solicitações sísmicas, fornecendo margens adicionais de segurança.

Dessa maneira, o ASTM A36 se mantém como um material fundamental na engenharia estrutural, especialmente em aplicações onde a simplicidade do processo construtivo, o baixo custo relativo e a facilidade de fabricação são fatores prioritários. Embora não ofereça a mesma eficiência na redução de peso que os aços de alta resistência, como o A572 Gr.50, o A36 desempenha um papel essencial em projetos convencionais, proporcionando equilíbrio adequado entre desempenho mecânico, versatilidade e custo-benefício.

5.3.2 AÇO ASTM A572 Gr.50

O aço ASTM A572 Grau 50 é classificado como um aço de baixa liga e alta resistência (HSLA – *High Strength Low Alloy*), desenvolvido com o objetivo de fornecer maior capacidade resistente sem aumento significativo de massa ou comprometer a soldabilidade. Sua principal característica é o limite de escoamento mínimo de 345 MPa, valor consideravelmente superior ao dos aços estruturais tradicionais, como o ASTM A36, que apresenta aproximadamente 250

MPa. Essa diferença de resistência gera impactos diretos na concepção estrutural e no dimensionamento econômico de perfis metálicos. (ASTM A572;A572M, 2020)

A composição química do A572 Gr.50 inclui pequenas quantidades de elementos de liga, como vanádio, nióbio e cobre, que aumentam a resistência mecânica sem prejudicar a ductilidade e sem elevar excessivamente o carbono equivalente. Isso garante ao material boa soldabilidade, característica essencial para estruturas metálicas montadas em campo ou fabricadas com processos intensivos de soldagem.

No contexto estrutural, o uso do aço de alta resistência permite reduções significativas na área das seções transversais, mantendo ou até ampliando o desempenho resistente. Em comparação com aços convencionais, perfis fabricados com A572 Gr.50 podem apresentar menor massa linear, contribuindo para a redução do peso próprio da estrutura. Essa diminuição tem reflexos positivos nos esforços internos, nos consumos de aço, nos deslocamentos e até nas cargas transmitidas às fundações.

A adoção do A572 Gr.50 está diretamente alinhada às demandas atuais da engenharia estrutural, que buscam otimizar materiais e promover maior eficiência. Em estruturas onde a redução de peso é estratégica como galpões industriais, edificações de múltiplos pavimentos, torres, treliças e pontes, o emprego deste aço resulta em economia de material, racionalização de perfis e menor impacto ambiental devido à diminuição do volume total de aço utilizado.

Além da eficiência mecânica, o aço A572 Gr.50 contribui para o desempenho global da obra por apresentar boa confiabilidade, facilitando processos de dobra, laminação ou fabricação de perfis soldados. Assim, o material combina alta resistência, facilidade de fabricação e viabilidade econômica, tornando-se uma escolha sólida para projetos que visam alta performance com redução de massa estrutural.

Dessa forma, o ASTM A572 Grau 50 se destaca como uma alternativa tecnicamente superior aos aços estruturais tradicionais. Sua capacidade de fornecer maior resistência com menor quantidade de material reforça sua importância em projetos que buscam otimização, sustentabilidade e competitividade, constituindo um dos pilares da engenharia estrutural contemporânea.

A utilização do A572 proporciona vantagens estruturais, principalmente em elementos fortemente solicitados, enquanto o A36 se mostra economicamente vantajoso em elementos secundários, nos quais as solicitações mecânicas são menores (PFEIL; PFEIL, 2021).

5.4 PERFIS LAMINADOS E PERFIS CHAPAS DOBRADAS

Os perfis laminados são produzidos em usinas siderúrgicas por processos de laminação a quente, apresentando dimensões padronizadas e propriedades geométricas tabeladas, o que facilita o dimensionamento estrutural. Entre eles, destacam-se os perfis W e as cantoneiras L.

Os perfis chapa dobrada (ou formados a frio) são obtidos a partir da conformação de chapas planas. Suas dimensões podem ser definidas pelo projetista, tornando necessária a determinação manual de propriedades como área da seção, momentos de inércia e raios de giração, visto que não há, em geral, tabelas padronizadas para esses perfis. (BEZERRA, 2025).

5.5 FLAMBAGEM E ESTABILIDADE

Elementos estruturais submetidos à compressão podem entrar em colapso por flambagem, fenômeno de instabilidade associado à esbeltez da barra. A teoria clássica da flambagem foi desenvolvida por Euler e posteriormente aprimorada para aplicação em estruturas reais, considerando imperfeições geométricas e não linearidades do material.

A ABNT NBR 8800 estabelece os critérios para a verificação da estabilidade de barras comprimidas, por meio de coeficientes de redução da resistência em função da esbeltez e das propriedades do material.

5.6 SEÇÕES COMPACTAS

A norma ABNT NBR 8800 classifica as seções quanto à suscetibilidade à flambagem local de mesas e almas. Uma seção compacta é aquela capaz de atingir o escoamento total do material antes da ocorrência de instabilidades locais. Essa condição é fundamental para garantir comportamento resistente adequado nos estados limites últimos.

5.7 BASE NORMATIVA

Todo o dimensionamento desenvolvido neste trabalho está fundamentado principalmente na ABNT NBR 8800 — Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto, que estabelece os critérios de segurança, resistência e estabilidade para elementos tracionados, comprimidos e solicitados à flexão.

Complementarmente, foram utilizadas notas de aula do coorientador. Ulisses Targino Bezerra e os livros de Walter e Michèle Pfeil, livro do Bellei, do Hibbeler e do Timoshenko e Gere ambos amplamente reconhecidos na área de engenharia estrutural

6. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e caráter comparativo, cujo objetivo é avaliar o comportamento estrutural, o consumo de material, o peso próprio e o custo de estruturas metálicas dimensionadas com diferentes tipos de aço, a saber: o aço convencional ASTM A36, e o aço de alta resistência ASTM A572 Gr.50.

Quanto aos procedimentos técnicos, o trabalho enquadra-se como um estudo comparativo, no qual foi selecionada uma treliça metálica representativa de uma estrutura de uso corrente na engenharia civil. Inicialmente, definiu-se a geometria da estrutura, as condições de apoio, as vinculações e as cargas atuantes, de acordo com as recomendações das normas técnicas brasileiras vigentes.

Em seguida, foram determinadas as ações permanentes e variáveis, com base na ABNT NBR 8681, e realizadas as combinações de ações para os estados limites últimos. A análise estrutural foi desenvolvida pelo método dos nós, e por equação do momento máximo de vigas, complementada por verificação computacional por meio de software de análise estrutural, com o intuito de garantir maior confiabilidade aos resultados dos esforços internos obtidos nas barras da treliça.

Após a determinação dos esforços de tração e compressão em cada elemento estrutural, procedeu-se ao dimensionamento das barras, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8800, considerando-se os estados limites últimos de escoamento, flambagem por compressão, ruptura por tração e instabilidade local dos elementos. Para os perfis laminados, foram adotadas as propriedades geométricas fornecidas pelos fabricantes. Já para os perfis do tipo chapa dobrada, as propriedades de área, momento de inércia e raio de giração foram determinadas por meio de formulações analíticas, uma vez que tais seções não dispõem de tabelas padronizadas.

O dimensionamento foi realizado em duas configurações distintas:

- I. estrutura composta exclusivamente por elementos em aço ASTM A36;
- II. estrutura composta exclusivamente por perfis em aço ASTM A572 Gr.50.

Para cada configuração foram determinados o peso total da estrutura e posteriormente,

o custo estimado de fabricação, considerando-se o preço do aço por unidade de massa e a aplicação de fatores de fabricação adotados segundo a prática usual de mercado informada por profissional da área.

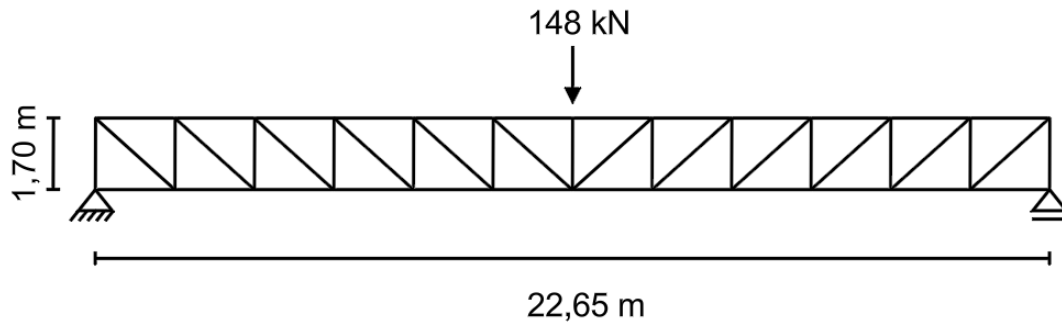
Por fim, os resultados obtidos foram organizados em forma de texto permitindo assim a análise comparativa entre as soluções estruturais, possibilitando a avaliação da eficiência estrutural e econômica de cada alternativa, bem como a verificação das hipóteses propostas no trabalho.

7. MODELO ESTRUTURAL ESCOLHIDO

O modelo estrutural escolhido foi uma treliça tipo Pratt, uma configuração clássica e amplamente consolidada na engenharia estrutural devido ao seu desempenho eficiente e à facilidade de execução. Nessa tipologia, as diagonais são dispostas de forma a trabalhar predominantemente à tração, enquanto os montantes assumem esforços de compressão. Essa distribuição racional dos esforços permite um melhor aproveitamento das características mecânicas dos perfis metálicos, resultando em uma estrutura mais leve, econômica e com comportamento previsível.

A treliça tipo Pratt também se destaca por sua geometria simples e repetitiva, que facilita tanto o processo de fabricação quanto a montagem em campo, reduzindo riscos de execução e custos produtivos. Além disso, sua boa performance em vãos médios, aliada à estabilidade global proporcionada pelo arranjo dos banzos e conexões, torna esse modelo uma escolha confiável para diferentes aplicações, como passarelas, coberturas, pórticos e pontes metálicas. No modelo em questão temos uma treliça biapoiada com dimensão total de 22,65 m de comprimento e 1,70 metros de altura, além de uma carga pontual de 148 kN localizada no meio da estrutura (carga já majorada com o coeficiente de segurança no valor de 1,4).

Figura 01 - Modelo estrutural escolhido



Fonte: Autor (2025)

7.1 RESOLUÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

Existem vários caminhos para se resolver uma treliça e determinar os esforços axiais em suas barras, como o método dos nós, o método das seções, entre outros procedimentos clássicos de análise estrutural. Cada uma dessas abordagens possui particularidades e níveis distintos de detalhamento, permitindo ao projetista escolher a técnica mais adequada conforme a complexidade da treliça, a quantidade de barras e o tipo de carregamento aplicado. Esses métodos, amplamente consolidados na engenharia, fornecem uma base rigorosa para compreender o fluxo de esforços na estrutura, garantindo que o dimensionamento seja seguro, eficiente e compatível com os requisitos normativos.

7.1.1 RESOLUÇÃO DOS ESFORÇOS AXIAIS DE COMPRESSÃO

O esforço axial de compressão é um dos estados de solicitação mais relevantes no dimensionamento de elementos estruturais. Ele ocorre quando uma força atua ao longo do eixo longitudinal do elemento, exercendo tendência de encurtamento da barra. Em contraste com esforços tracionados, que normalmente apresentam comportamento mais linear e previsível, os elementos comprimidos exigem atenção especial devido à possibilidade de instabilidade, especialmente a flambagem, que pode ocorrer mesmo quando as tensões atuantes estão abaixo da resistência do material. Dessa forma, a análise de barras comprimidas envolve não apenas a verificação da resistência ao esmagamento, mas também a avaliação da esbeltez, das condições de apoio e do comprimento de flambagem. A compreensão adequada desse tipo de esforço é

essencial para garantir o desempenho seguro e eficiente de estruturas metálicas, de concreto e de madeira. (TIMOSHENKO; GERE, 1961)

No caso específico desta treliça, observa-se que ela apresenta configuração simétrica, é biapoiada e está submetida a uma carga concentrada aplicada em seu vão central. Sendo assim consegue-se encontrar os esforços solicitantes da maioria de suas barras usando conhecimentos básicos de análise estrutural e de seus banzos usando a fórmula de momento fletor máximo a seguir:

Dados de entrada:

$$M = ?$$

$$C = 148 \text{ kN}$$

$$L = 22,65 \text{ m}$$

$$h = 1,70 \text{ m}$$

$$N = ?$$

Momento fletor máximo:

$$M = \frac{C \cdot L}{4} (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$N = \frac{M}{h}$$

Força axial no banzo superior:

$$M = \frac{148 \cdot 22,65}{4} (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$M = 838,05$$

$$N = \frac{838,05}{1,7}$$

$$N = 492,97 \approx 493 \text{ kN}$$

Em que:

M = Momento fletor máximo

C = Carga pontual

L = Comprimento da estrutura

h = Altura

N = Força axial

Nota-se que ao utilizar o momento máximo da viga equivalente a $M = C \cdot L / 4$ e dividi-lo pela altura da treliça, obtém-se uma estimativa coerente do esforço axial no banzo mais solicitado, localizado próximo à região de aplicação da carga pontual. Isso ocorre porque, embora a treliça seja composta por barras que trabalham apenas à tração e compressão, seu comportamento global equivale ao de uma viga simplesmente apoiada, na qual o momento fletor é equilibrado internamente pela tração no banzo inferior e pela compressão no banzo superior, conforme a relação $M = N \cdot h$. Assim, a expressão $N = M / h$ representa o equilíbrio entre os banzos e fornece uma avaliação adequada do esforço axial máximo, preservando a coerência estrutural da análise.

Após a determinação do esforço axial máximo na barra central do banzo, pode-se obter os esforços das demais barras considerando que, devido à simetria da treliça e à aplicação de uma carga pontual no centro do vão, os esforços no banzo variam de forma proporcional ao afastamento em relação ao meio do vão. Assim, basta dividir o valor máximo encontrado pelo número de barras de um dos lados do banzo (neste caso, seis) para determinar o esforço axial da barra mais distante do centro. A partir desse valor, procede-se acumulando progressivamente os esforços em cada painel até alcançar novamente a barra central previamente analisada, vejamos a seguir:

$$N = \frac{493,0}{6} = 82,17 \text{ kN}$$

Com isso é só ir multiplicando esse valor progressivamente até o centro da treliça e obtêm-se os esforços axiais de todas as barras do banzo superior:

$$N = 82,20 \cdot 2 = 164,3 \text{ kN};$$

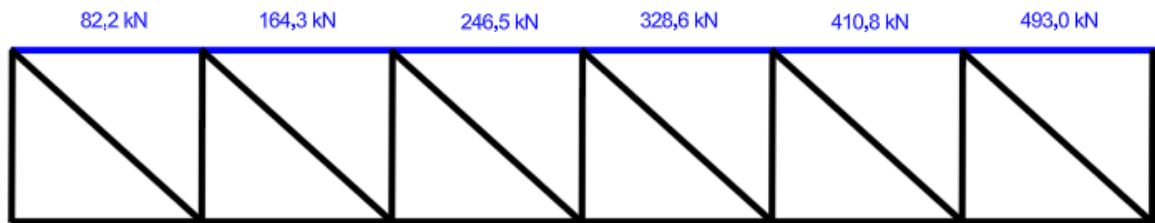
$$N = 82,20 \cdot 3 = 246,5 \text{ kN};$$

$$N = 82,20 \cdot 4 = 328,6 \text{ kN};$$

$$N = 82,20 \cdot 5 = 410,8 \text{ kN};$$

$$N = 82,20 \cdot 6 = 493,0 \text{ kN}.$$

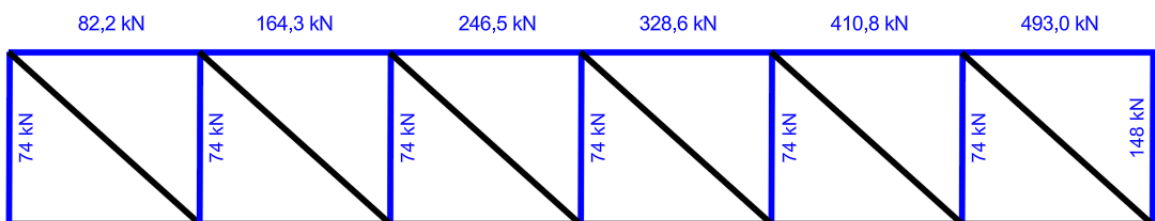
Figura 02 - Esforços axiais de compressão do banzo superior



Fonte: Autor (2025)

Para a treliça analisada, submetida a uma carga pontual de 148 kN aplicada exatamente no nó superior central, a análise estrutural mostra que o montante localizado sob essa carga absorve praticamente todo o esforço vertical, resultando em uma força axial de 148 kN em compressão. Isso ocorre porque, na configuração Pratt adotada, o nó central superior não possui diagonais conectadas a ele assim, não há barras inclinadas com componente vertical capaz de contribuir para o equilíbrio desse nó. Já os demais montantes apresentam esforços de aproximadamente 74 kN cada, valor correspondente à metade da carga aplicada. Essa distribuição é consequência direta da simetria geométrica da treliça e das reações iguais nos apoios. Esse comportamento só é válido porque a carga é aplicada exatamente em um nó, os painéis têm dimensões uniformes e as ligações são consideradas articuladas, conforme o modelo clássico de treliças. Logo tem-se que:

Figura 03 - Esforços axiais de compressão dos montantes



Fonte: Autor (2025)

Conclui-se que, no sistema estrutural da treliça Pratt, o banzo superior e os montantes verticais são os elementos que, de forma predominante, trabalham à compressão quando a

estrutura é submetida a carregamentos verticais descendentes, como é usual em aplicações de pontes e coberturas. O banzo superior atua como o principal componente comprimido, recebendo diretamente os efeitos da flexão global da treliça. Essa região concentra esforços de compressão devido à combinação entre o formato da treliça e a transferência de cargas realizada pelos nós superiores.

Os montantes verticais, por sua vez, têm a função de conduzir as cargas dos nós superiores para os inferiores, complementando o fluxo de esforços internos. Em uma geometria Pratt típica, esses montantes também permanecem sob compressão, uma vez que suportam parte das cargas gravitacionais aplicadas nos pontos intermediários. A atuação desses elementos comprimidos exige atenção especial ao fenômeno de flambagem, tornando a escolha do perfil e da esbeltez fatores essenciais no dimensionamento.

7.1.2 RESOLUÇÃO DOS ESFORÇOS AXIAIS DE TRAÇÃO

O esforço axial de tração caracteriza-se pela atuação de uma força ao longo do eixo longitudinal do elemento estrutural, produzindo a tendência de alongamento da barra. Em geral, os elementos tracionados apresentam comportamento mais previsível e eficiente do que os comprimidos, uma vez que não estão sujeitos a fenômenos de instabilidade, como a flambagem. Assim, o dimensionamento de barras tracionadas concentra-se principalmente na verificação da resistência do material e das condições adequadas de ligação, garantindo que a seção seja capaz de suportar a tensão gerada sem atingir o escoamento ou a ruptura. Devido à simplicidade do comportamento mecânico e à alta eficiência estrutural, os elementos submetidos à tração são amplamente utilizados em treliças, cabos, tirantes e diversos sistemas estruturais onde a transmissão direta de força é desejada. (TIMOSHENKO; GERE, 1961).

Nas treliças Pratt, quando uma carga pontual é aplicada no nó superior central, forma-se um padrão específico de fluxo de forças entre banzos e diagonais devido à simetria do modelo e à geometria dos painéis. No caso analisado, observa-se que a barra do banzo inferior mais próxima do centro apresenta esforço axial igual ao da segunda barra do banzo superior, diferindo apenas pelo sinal (tração no banzo inferior e compressão no banzo superior).

Essa igualdade ocorre pelo equilíbrio axial entre nós. Nos painéis adjacentes ao meio da treliça, as diagonais que se conectam ao nó central não possuem configuração geométrica capaz de absorver toda a variação de esforço gerada pela carga aplicada. Assim, a redistribuição dos esforços entre os banzos superior e inferior segue um padrão proporcional ao fluxo de carga através desses nós: a barra superior imediatamente subsequente ao centro e a barra inferior

correspondente recebem o mesmo valor de esforço porque participam do mesmo mecanismo de transmissão axial da força, obedecendo ao equilíbrio horizontal dos nós simétricos.

Portanto, a igualdade entre esses esforços é consequência direta da simetria da treliça, do carregamento aplicado em nó e da topologia típica do sistema Pratt, que define como a força flui entre banzos e diagonais. Consequentemente para encontrar o valor das barras do banzo inferior ao longo do restante da treliça basta apenas ir diminuindo 82,20 kN:

$$N = 490,8 - 82,20 = 328,6 \text{ kN};$$

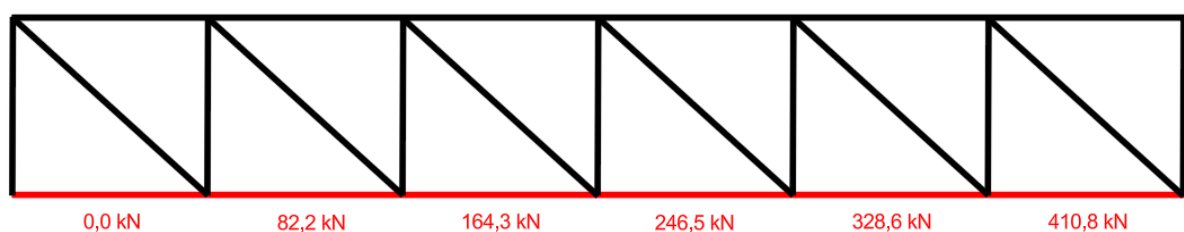
$$N = 328,6 - 82,20 = 246,5 \text{ kN};$$

$$N = 246,5 - 82,20 = 164,3 \text{ kN};$$

$$N = 164,3 - 82,20 = 82,1 \text{ kN};$$

$$N = 82,1 - 82,20 = 0,0 \text{ kN}.$$

Figura 04 - Esforços axiais de tração no banzo inferior



Fonte: Autor (2025)

Na treliça Pratt analisada, a barra do banzo inferior mais distante do centro apresenta esforço axial igual a 0 kN. Esse resultado decorre diretamente das condições de simetria, do carregamento aplicado apenas no nó central superior e da topologia do sistema Pratt.

Como toda a carga vertical é aplicada exclusivamente no nó central, apenas os montantes e diagonais próximos a esse ponto participam da redistribuição dos esforços. À medida que nos afastamos do centro, o fluxo de forças transmitido pelas diagonais diminui progressivamente, pois não existem outras cargas ao longo da treliça que exijam a ativação dos painéis extremos.

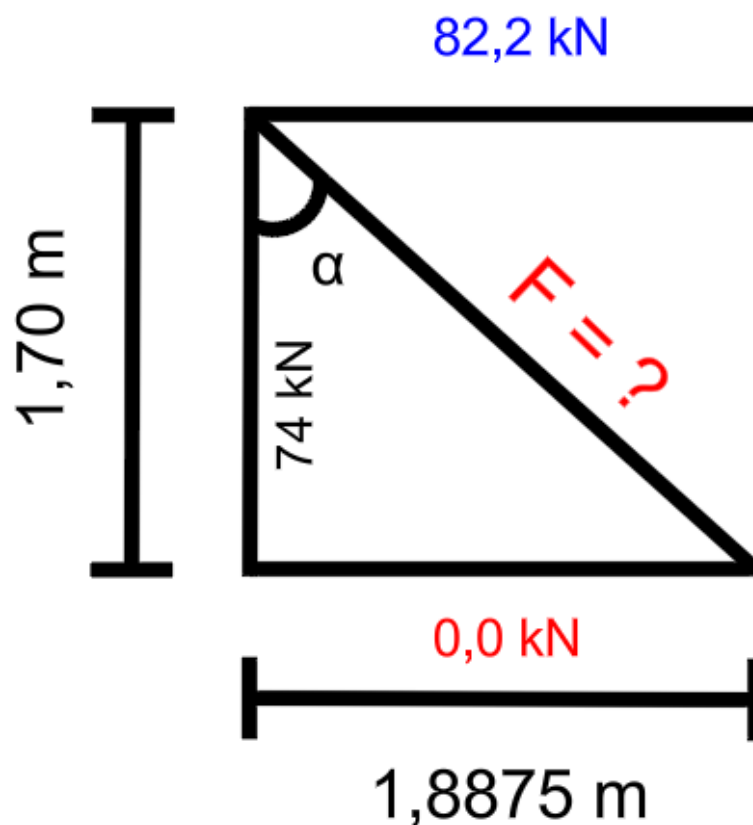
Além disso, a barra mais afastada pertence ao painel de extremidade, que está ligado diretamente ao apoio. Nesse painel, o equilíbrio dos nós é garantido basicamente pelas

diagonais e pelo montante ligado ao apoio, não havendo necessidade de esforço axial adicional na barra extrema do banzo inferior. Assim, como nenhuma força precisa ser transmitida através dessa barra para manter o equilíbrio do sistema, seu esforço interno resulta naturalmente em zero.

Para as diagonais que, conforme o comportamento típico da treliça Pratt, trabalham predominantemente tracionadas, será empregado o método dos nós para a determinação dos esforços axiais. Essa abordagem é adequada porque permite avaliar diretamente o equilíbrio de cada nó e identificar com precisão quais barras são solicitadas e em que magnitude, respeitando a configuração geométrica da treliça.

Com grande parte dos esforços das barras já determinados, podemos estabelecer a seguinte configuração geométrica para calcular o ângulo α , necessário para a resolução das diagonais.

Figura 05 - Disposição da treliça para encontrar o ângulo α :



Fonte: Autor (2025)

$$tg(\alpha) = \frac{CO}{CA} \rightarrow \frac{1,8875}{1,7} = 48^\circ$$

Assim, temos que:

$$Sen(\alpha) = 0,743;$$

$$Cos(\alpha) = 0,67.$$

logo:

$$NDx: F Sen(\alpha) - 82,20 \text{ kN} = 0$$

$$NDx: F = \frac{82,2}{sen(\alpha)} = 110,6 \text{ kN}$$

$$NDy: F cos(\alpha) - 74,0 \text{ kN} = 0$$

$$NDy: F = \frac{74,0}{cos(\alpha)} = 110,6 \text{ kN}$$

A determinação do esforço axial na diagonal é obtida a partir do equilíbrio do nó onde convergem o montante, o banzo inferior e a própria diagonal. Nesse ponto da treliça, as forças conhecidas atuam nas direções vertical e horizontal, correspondentes respectivamente ao montante e ao banzo. Como a diagonal está inclinada, ela é a única barra capaz de fornecer simultaneamente componentes vertical e horizontal que estabeleçam o equilíbrio do nó. Assim, decompõe-se a força da diagonal em suas projeções vertical e horizontal, proporcionais ao cosseno e ao seno do ângulo que ela forma com o montante. Ao igualar esses componentes às forças já conhecidas nos outros dois membros, encontra-se a intensidade necessária para que a diagonal “feche” o equilíbrio nas duas direções. O resultado final corresponde à força axial que garante que o nó permaneça estático, mostrando que a diagonal assume exatamente o esforço requerido para equilibrar as ações verticais e horizontais impostas pelo montante e pelo banzo.

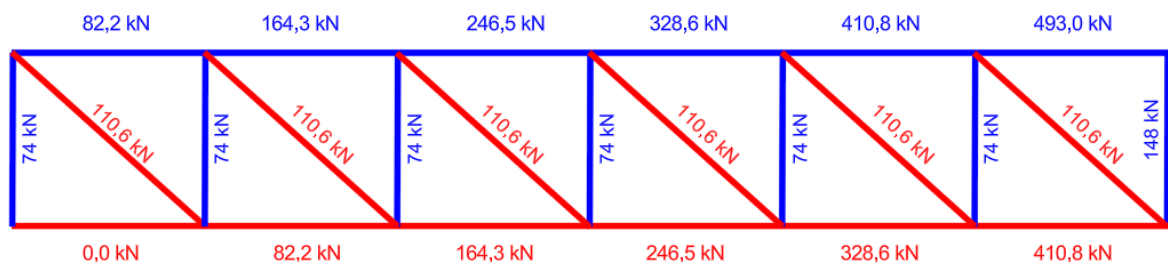
Importante destacar que, embora os esforços nos banzos superior e inferior aumentem progressivamente a cada painel, sempre adicionando 82,20 kN no sentido de afastamento do centro da treliça, a diagonal mantém praticamente o mesmo valor de esforço axial (110,6 kN). Isso ocorre porque o incremento de 82,20 kN nos banzos é totalmente horizontal, resultante da redistribuição interna das forças na estrutura em função da simetria e do equilíbrio global. Já a

diagonal é responsável por equilibrar a componente vertical constante transmitida pelos montantes, que permanece igual em todos os painéis adjacentes ao ponto carregado. Como a geometria da treliça (especialmente o ângulo da diagonal) também não se altera entre os painéis, a relação trigonométrica que liga a componente vertical ao esforço axial da diagonal permanece invariável. Assim, mesmo que os banzos acumulem valores maiores de tração e compressão à medida que se afastam do centro, a parcela vertical do esforço que é exatamente a que determina a força na diagonal não muda. Em consequência, a diagonal repete o mesmo esforço axial em todos os painéis equivalentes, assumindo o valor constante de 110,6 kN.

7.1.3 RESUMO GERAL DOS ESFORÇOS AXIAIS DA ESTRUTURA

Após o cálculo de todos os elementos da treliça e a identificação dos membros solicitados à tração e à compressão, obtêm-se os seguintes valores de esforços axiais:

Figura 06 - Esforços solicitantes de tração e compressão da metade simétrica da treliça



Fonte: Autor (2025)

Legenda:

Em azul esforços axiais de compressão;

Em vermelho esforços axiais de tração.

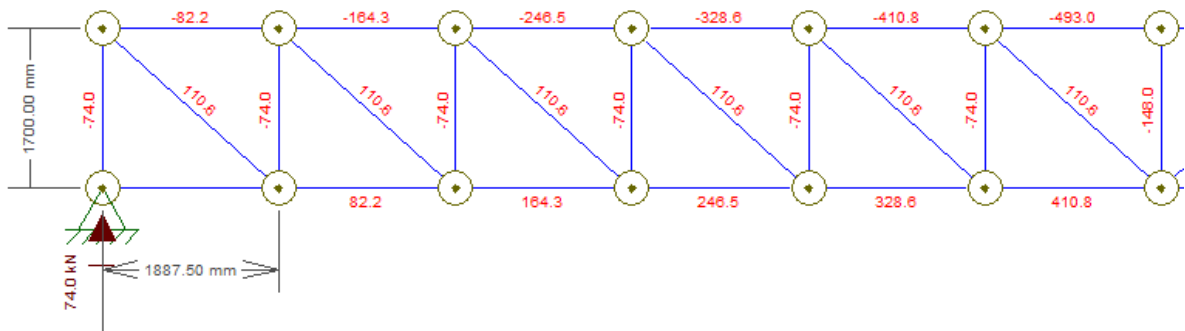
7.2 CONFERÊNCIA DOS CÁLCULOS UTILIZANDO O *SOFTWARE* FTOOL

Para assegurar a precisão dos cálculos apresentados nesta análise, será utilizado o *software* Ftool para a verificação das forças axiais em cada uma das barras da treliça. Essa etapa

de conferência permite comparar os resultados obtidos analiticamente com aqueles fornecidos pelo modelo computacional, reforçando a confiabilidade do dimensionamento.

O Ftool é um *software* de análise estrutural amplamente utilizado no meio acadêmico e profissional para o estudo do comportamento de estruturas reticuladas, como vigas, pórticos e treliças. Desenvolvido na PUC-Rio, o programa se destaca por sua interface intuitiva e por oferecer recursos visuais que facilitam a compreensão das distribuições de esforços internos, deslocamentos e reações de apoio. Apesar de sua simplicidade operacional, o Ftool emprega métodos numéricos robustos e confiáveis, permitindo ao usuário simular diversos tipos de carregamentos e condições de contorno com elevada precisão. Por essas características, o *software* é frequentemente adotado como ferramenta complementar na verificação de cálculos manuais, contribuindo para a validação e o aprimoramento do processo de análise estrutural.

Figura 07 - Resultados dos esforços axiais analisados no software FTOOL



Fonte: Autor (2025)

8. DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO AÇO ASTM A36

Nesse dimensionamento o perfil escolhido para os banzos foi U formado a frio pois esse tipo apresenta vantagens significativas dentro do contexto deste projeto, especialmente porque o dimensionamento está sendo realizado com aço ASTM A36. Como esse aço possui um limite de escoamento inferior ao do A572, torna-se essencial dispor de maior liberdade para ajustar a geometria dos perfis a fim de alcançar a capacidade resistente necessária sem recorrer a seções excessivamente pesadas ou economicamente desfavoráveis.

Diferentemente dos perfis U laminados, que possuem dimensões rígidas e limitadas aos modelos disponíveis em catálogo, os perfis chapa dobrada permitem personalizar altura, largura das mesas e espessura de acordo com as exigências de cada barra da treliça. Essa flexibilidade

é fundamental quando se trabalha com o ASTM A36, pois possibilita compensar o menor limite de escoamento por meio de uma geometria mais favorável, garantindo segurança estrutural sem gerar super dimensionamentos.

Além disso, a fabricação de perfis formados a frio permite ajustes precisos e maior compatibilidade entre os elementos da treliça, resultando em uma solução tecnicamente eficiente, economicamente mais vantajosa e melhor adaptada ao comportamento real da estrutura. Assim, o uso de perfil chapa dobrada em conjunto com aço ASTM A36 assegura um dimensionamento otimizado e plenamente adequado às necessidades do projeto.

Nas diagonais e nos montantes da estrutura a escolha foi pelo uso de perfis cantoneira L devido a fundamentos e critérios estruturais, funcionais e econômicos que tornam esse tipo de seção particularmente adequado para barras tracionadas e comprimidas em treliças. As cantoneiras apresentam boa relação rigidez/peso, proporcionando resistência axial eficiente com menor consumo de material quando comparadas a perfis mais robustos como perfis W ou U. Isso é especialmente vantajoso nas diagonais e montantes, onde os esforços são predominantemente axiais e não há necessidade de elevada resistência à flexão.

Além disso, perfis L são amplamente utilizados em treliças metálicas por permitirem ligações simples e eficientes, seja por solda ou por parafusos. A geometria da cantoneira facilita o encaixe direto com os banzos, reduzindo complexidade de fabricação e garantindo boa transmissão dos esforços. Quando utilizadas em pares (2L), ainda oferecem melhor simetria estrutural, maior estabilidade à compressão e facilidade de soldagem direta às almas dos banzos.

Outro fator determinante é a otimização econômica. Cantoneiras apresentam custo inferior aos perfis laminados mais pesados e permitem selecionar esbeltez e espessura adequadas aos esforços de cada barra, sem excessos de material. Como os montantes e diagonais da treliça demandam seções relativamente pequenas, o uso de perfil L proporciona uma solução estrutural mais leve, racional e economicamente vantajosa, mantendo plena segurança e desempenho.

Assim, a adoção de perfis cantoneira L nas diagonais e montantes representa a alternativa mais coerente em termos de resistência axial, simplicidade construtiva, compatibilidade com o sistema estrutural e redução de custos.

8.1 DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

O dimensionamento à tração se dá de forma direta através da divisão do esforço pela tensão (escoamento ou ruptura), encontrando-se a seção transversal da peça.

8.1.1 BANZO INFERIOR

ESFORÇO SOLICITANTE: 410,8 kN

Pré-dimensionamento do perfil: U250×50×6,35

Dados de entrada:

$$Pd = 410,8 \text{ kN}$$

$$\sigma = 227,27 \text{ MPa}$$

$$A = ?$$

Em que:

Pd = Esforço axial de tração solicitante

σ = Tensão de escoamento aço ASTM A36 com coeficiente de segurança aplicado

A = Área solicitante mínima

$$\sigma = \frac{Pd}{A} \rightarrow A = \frac{Pd}{\sigma}$$

$$A = \frac{410,8}{227,27 \cdot 10^3} = 18,07 \text{ cm}^2$$

$$Ap = h + b + b - 2(t)$$

$$Ap = 250 + 50 + 50 - 2 \cdot (6,35) = 287,3 \text{ mm}^2 \text{ ou } 28,73 \text{ cm}^2$$

$$Ap = 28,73 \cdot 0,635 = 18,24 \text{ cm}^2 > 18,07 \text{ cm}^2$$

Em que:

Ap = área do perfil

h = dimensão da alma

$b = \text{dimensão da aba}$

$t = \text{espessura da chapa}$

Índice de esbeltez máximo segundo a norma:

$$\frac{L}{r} < 300$$

$$\frac{188,75}{1,28} = 147,46 < 300$$

Em que:

$L = \text{comprimento da peça em cm}$

$r = \text{raio de giração mínimo do perfil}$

Perfil final escolhido: U250×50×6,35

O perfil U250×50×6,35 por suas características resistentes, atende às solicitações de todas as barras da treliça. Contudo, sua utilização será limitada às três barras submetidas aos maiores esforços axiais de compressão. Para as demais barras, iremos dimensionar outro perfil para resistir aos esforços atuantes. Além disso, a metalúrgica permite a combinação de perfis distintos na fabricação da treliça, o que possibilita a otimização de custos sem comprometer o desempenho estrutural.

ESFORÇO SOLICITANTE: 246,5 kN

Dados de entrada:

$$Pd = 246,5 \text{ kN}$$

$$\sigma = 227,27 \text{ MPa}$$

$$A = ?$$

Em que:

Pd = Esforço axial de tração solicitante

σ = Tensão de escoamento aço ASTM A36 com coeficiente de segurança aplicado

A = Área solicitante mínima

$$\sigma = \frac{Pd}{A} \rightarrow A = \frac{Pd}{\sigma}$$

$$A = \frac{246,5}{227,27 \cdot 10^3} = 10,85 \text{ cm}^2$$

Pré-dimensionamento do perfil de acordo com a área mínima solicitada:

Perfil escolhido; U250×50×3,175

$$Ap = h + b + b - 2(t)$$

$$Ap = 250 + 50 + 50 - 2 \cdot (3,175) = 343,65 \text{ mm}^2 \text{ ou } 34,37 \text{ cm}^2$$

$$Ap = 34,37 \cdot 0,3175 = 10,91 \text{ cm}^2 > 10,85 \text{ cm}^2$$

Em que:

Ap = área do perfil

h = dimensão da alma

b = dimensão da aba

t = espessura da chapa

Índice de esbeltez máximo segundo a norma:

$$\frac{L}{r} < 300$$

$$\frac{188,75}{1,32} = 142,99 < 300$$

Em que:

L = comprimento da peça em cm

r = raio de giração mínimo do perfil

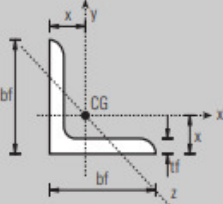
Perfil final escolhido; U250×50×3,175

8.1.2 DIAGONAIS

ESFORÇO SOLICITANTE: 110,6 kN

Pré-dimensionamento do perfil: 2 L 1 3/4'' com espessura de 1/8''

Tabela 01 - Propriedades geométricas cantoneiras L

 Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais Propriedades para dimensionamento										
b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{z \min}$	x
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	0,317	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	3/16"	0,476	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,540	1,19	1,48	1/8"	0,317	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	3/16"	0,476	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	1/4"	0,635	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1 1/4"	3,175	1,50	1,93	1/8"	0,317	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	3/16"	0,476	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	1/4"	0,635	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1 1/2"	3,810	1,83	2,32	1/8"	0,317	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	3/16"	0,476	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	1/4"	0,635	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1 3/4"	4,445	2,14	2,71	1/8"	0,317	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	3/16"	0,476	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	1/4"	0,635	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	5/16"	0,794	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,080	2,46	3,10	1/8"	0,317	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	3/16"	0,476	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	1/4"	0,635	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	5/16"	0,794	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	3/8"	0,952	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2 1/2"	6,350	4,57	5,80	3/16"	0,476	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	1/4"	0,635	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	5/16"	0,794	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	11,16	3/8"	0,952	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	7,620	5,52	7,03	3/16"	0,476	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	1/4"	0,635	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	5/16"	0,794	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	13,61	3/8"	0,952	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	7/16"	1,111	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	1/2"	1,270	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36

Fonte: O calculista de aço (2025)

Tabela 02 - Propriedades geométricas cantoneiras duplo L (2L)

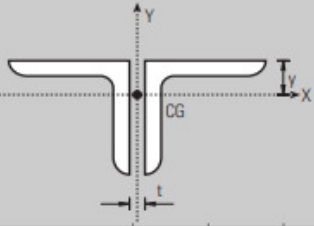


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01

Fonte: O calculista do aço (2025)

Dados de entrada:

$$Pd = 110,6 \text{ kN}$$

$$\sigma = 227,27 \text{ MPa}$$

$$A = ?$$

Em que:

Pd = Esforço axial solicitante

σ = Tensão de escoamento aço ASTM A 36 com coeficiente de segurança aplicado

A = Área solicitante mínima

$$\sigma = \frac{Pd}{A} \rightarrow A = \frac{Pd}{\sigma}$$

$$A = \frac{110,6}{227,27 \cdot 10^3} = 4,87 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ L } 3/4'' \text{ com espessura de } 1/8'' = 2,71 \text{ cm}^2 < 4,87 \text{ cm}^2$$

$$2 \text{ L } 3/4'' \text{ com espessura de } 1/8'' = 5,42 \text{ cm}^2 > 4,87 \text{ cm}^2$$

Na tabela, o perfil 1 L 3/4'' com espessura de 1/8'' apresenta uma área de 2,71 cm². Assim, opta-se pela utilização de dois perfis idênticos, resultando em uma área total de 5,42 cm², valor superior à área requerida de 4,87 cm².

Índice de esbeltez máximo segundo a norma:

$$\frac{L}{r} < 300$$

$$\frac{254,02}{1,40} = 181,44 < 300$$

Em que:

L = comprimento da peça em cm

r = raio de giração mínimo do perfil

Perfil final escolhido: 2 L 3/4'' com espessura de 1/8''

Como mencionado anteriormente, devido à geometria da treliça e ao comportamento estrutural associado ao arranjo Pratt, todas as diagonais apresentam o mesmo esforço axial, igual a 110,6 kN. Dessa forma, torna-se necessário realizar apenas um dimensionamento, que passa a ser válido para todas as diagonais do sistema.

8.2 DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO

No processo de dimensionamento à compressão da estrutura, identifica-se que os elementos da treliça sujeitos às forças axiais de compressão correspondem ao banzo superior e aos montantes, conforme o comportamento típico observado nesse tipo de sistema estrutural.

O dimensionamento foi conduzido com base nos critérios estabelecidos pela NBR 8800, norma brasileira que regulamenta o projeto de estruturas de aço. Essa norma adota, como fundamento teórico, os princípios clássicos da flambagem de Euler, responsáveis por descrever o comportamento de barras esbeltas submetidas à compressão. Contudo, ao longo do século XX, diversos estudos experimentais e casos reais de colapso estrutural demonstraram que o modelo puramente teórico de Euler não era suficiente para representar com precisão todas as instabilidades envolvidas no comportamento de perfis metálicos.

Em decorrência disso, a NBR 8800 incorpora correções e ajustes empíricos, levando em conta imperfeições geométricas iniciais, tensões residuais oriundas do processo de fabricação, efeitos de segunda ordem e limitações práticas de construção. O resultado é um modelo de dimensionamento mais realista e seguro, que combina a base teórica clássica com observações experimentais e critérios de segurança consolidados. Assim, o processo de verificação das barras da treliça segue não apenas os conceitos fundamentais de instabilidade, mas também os parâmetros atualizados que garantem o desempenho adequado da estrutura em condições reais de operação.

Sobre seção compacta: Alguns passos e parâmetros precisam ser estabelecidos previamente, entre eles o conceito de seção compacta, fundamental para o correto dimensionamento segundo a NBR 8800. Uma seção é considerada compacta quando suas mesas e sua alma possuem proporções geométricas que evitam flambagem local prematura. Em outras palavras, as partes planas do perfil devem ser dimensionadas de modo que a instabilidade local da alma e das mesas ocorra simultaneamente, permitindo que o elemento alcance plenamente sua resistência nominal à compressão, tração ou flexão, sem apresentar modos de colapso local antecipados.

Esse critério assegura que o perfil apresente um comportamento global mais previsível e eficiente, aproximando-se das hipóteses teóricas utilizadas nos modelos de resistência. Portanto, verificar a compacidade da seção é um passo essencial tanto para garantir a segurança quanto para evitar super dimensionamentos desnecessários.

8.2.1 BANZO SUPERIOR

ESFORÇO SOLICITANTE: 493,0 kN

Pré-dimensionamento de perfil: U250×80×7,94

Para o dimensionamento de perfis formados a frio (chapa dobrada), é indispensável calcular manualmente propriedades geométricas como área, momento de inércia e raio de giração. Isso ocorre porque, diferentemente dos perfis laminados, as dimensões são definidas pelo projetista, e portanto não existem tabelas padronizadas que forneçam previamente as características desses perfis. Assim, cada nova configuração geométrica exige a determinação individual de suas propriedades estruturais.

Cálculo do centróide:

$$\bar{y} = 125 \text{ mm};$$

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x} \cdot A}{\sum A}$$

$$\bar{x} = \frac{3,97 \cdot (7,94 \cdot 250) + 43,97 \cdot (72,06 \cdot 7,94) + 43,97 \cdot (72,06 \cdot 7,94)}{(7,94 \cdot 250) + (72,06 \cdot 7,94) + (72,06 \cdot 7,94)}$$

$$\bar{x} = 18,59 \text{ mm}$$

Área total:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_T = (7,94 \cdot 250) + (72,06 \cdot 7,94) + (72,06 \cdot 7,94)$$

$$A_T = 3129,31 \text{ mm}^2$$

$$A_T = 31,3 \text{ cm}^2$$

Momento de inércia em X:

$$I_x = \Sigma(I_x + dy^2 \cdot A)$$

$$I_x = \left[\frac{7,94 \cdot 250^3}{12} + 0 \right] + \left[\frac{72,06 \cdot 7,94^3}{12} + 121,06^2 \cdot 72,06 \cdot 7,94 \right] \cdot 2$$

$$I_x = 27,106 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_x = 2710,06 \text{ cm}^4$$

Momento de inércia em Y:

$$I_y = \Sigma(I_y + dx^2 \cdot A)$$

$$I_y = \left[\frac{250 \cdot 7,94^3}{12} + (18,59 - 3,97)^2 \cdot 250 \cdot 7,94 \right] + \left[\frac{7,94 \cdot 72,06^3}{12} + (18,59 - 43,97)^2 \cdot 7,94 \cdot 72,06 \right] \cdot 2$$

$$I_y = 1,66698 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 166,7 \text{ cm}^4$$

Raio de giração em x:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{2710,06}{31,3}}$$

$$r_x = 9,3 \text{ cm}$$

Raio de giração em y:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{166,7}{31,3}}$$

$$r_y = 2,3 \text{ cm}$$

Verificação da seção compacta:

$$\text{Limite da norma: } \frac{b}{t_{lim}} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{200 \cdot 10^9}{250 \cdot 10^6}} = 15,83$$

$$\text{Perfil: } \frac{b}{t_{perfil}} = \frac{80}{7,94} = 10,07$$

Em que:

E = Módulo de elasticidade do aço;

f_y = tensão de escoamento do aço;

b = dimensão da aba;

t_{perfil} = espessura do perfil.

$$\text{Parâmetro } Q_s : \text{ Como } \frac{b}{t_{perfil}} < \frac{b}{t_{lim}}, Q_s = 1$$

$$\text{Limite da norma: } \frac{h}{t_{lim}} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{200 \cdot 10^9}{250 \cdot 10^6}} = 35,87$$

$$\text{Perfil: } \frac{h}{t_{perfil}} = \frac{250 - 2 \cdot (7,94)}{7,94} = 29,48$$

Em que:

E = Módulo de elasticidade do aço;

f_y = tensão de escoamento do aço;

h = dimensão da alma;

t_{perfil} = espessura do perfil.

$$\text{Parâmetro } Q_a : \text{ Como } \frac{h}{t_{perfil}} < \frac{h}{t_{lim}}, Q_a = 1$$

$$\text{Parâmetro } Q : Q = Q_s \cdot Q_a = 1 \cdot 1$$

$$Q = 1$$

Com isso verificamos que a seção compacta desse perfil está assegurada.

Com os valores de área, momento de inércia, raio de giração e seção compactada devidamente determinados e garantidos, é possível prosseguir para a etapa de dimensionamento estrutural propriamente dita.

Dados de entrada:

$$I_y = 166,7 \text{ cm}^4;$$

$$r_y = 2,3 \text{ cm};$$

$$A = 31,3 \text{ cm}^2;$$

$$K = 1;$$

$$Q = 1;$$

$$F_y = 250 \text{ MPa};$$

$$L = 188,75 \text{ cm};$$

$$Pd = 493,0 \text{ kN};$$

Em que:

I_y = Momento de inércia referente ao eixo y;

r_y = Raio de giração mínimo;

A = Seção transversal;

K = Coeficiente de flambagem a flexão;

Q = Fator de redução total associado;

F_y = Tensão de escoamento do aço;

L = Comprimento de flambagem;

Pd = Esforço axial requisitado.

Índice de esbeltez máximo de compressão segundo a norma:

$$\frac{L_{fb}}{r} < 200$$

$$\frac{188,75}{2,3} = 81,06 < 200$$

Força axial de flambagem elástica (N_e):

$$Ne = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$Ne = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 166,7}{(1 \cdot 188,75)^2 \cdot 10^4} = 923,61 \text{ kN}$$

Índice de esbeltez reduzido λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A \cdot F_y}{Ne}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 31,3 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{923,61 \cdot 10^3}} = 0,92$$

Fator de redução X:

Tabela 03 - Valores de X em função do índice de esbeltez λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

Fonte: ABNT NBR 8800 (2008)

O fator de redução χ foi determinado conforme a Tabela 03 localizada acima, em função da esbeltez adimensional da barra, segundo a ABNT NBR 8800.

Logo temos que:

$$\chi = 0,702$$

Força axial de compressão resistente de cálculo (N_{cRd}):

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot F_y}{1,1}$$

$$N_{cRd} = \frac{0,702 \cdot 1 \cdot 31,3 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^6}{1,1} = 499,38 \text{ kN} > 493,0 \text{ kN}$$

Perfil final escolhido: U250×80×7,94

Conforme demonstrado anteriormente, o perfil selecionado possui capacidade resistente suficiente para atender às solicitações de todas as barras do banzo superior. Entretanto, visando otimizar o custo total da estrutura, optou-se por utilizar esse perfil apenas nas três barras mais solicitadas do banzo, aplicando perfis de menor porte nas demais posições, onde as exigências estruturais são inferiores.

ESFORÇO SOLICITANTE: 328,6 kN

Pré dimensionamento de perfil: U250×60×7,94

Novamente, torna-se necessário realizar também os cálculos para determinar a área da seção, o momento de inércia e o raio de giração.

Cálculo do centróide:

$$\bar{y} = 125 \text{ mm};$$

$$\bar{x} = \frac{\Sigma \bar{x} \cdot A}{\Sigma A}$$

$$\bar{x} = \frac{3,97 \cdot (7,94 \cdot 250) + 33,97 \cdot (52,06 \cdot 7,94) + 33,97 \cdot (52,06 \cdot 7,94)}{(7,94 \cdot 250) + (52,06 \cdot 7,94) + (52,06 \cdot 7,94)}$$

$$\bar{x} = 12,79 \text{ mm}$$

Área total:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_T = (7,94 \cdot 250) + (52,06 \cdot 7,94) + (52,06 \cdot 7,94)$$

$$A_T = 2268,85 \text{ mm}^2$$

$$A_T = 28,12 \text{ cm}^2$$

Momento de inércia em X:

$$I_x = \Sigma (I_x + dy^2 \cdot A)$$

$$I_x = \left[\frac{7,94 \cdot 250^3}{12} + 0 \right] + \left[\frac{52,06 \cdot 7,94^3}{12} + 121.03^2 \cdot 52,06 \cdot 7,94 \right] \cdot 2$$

$$I_x = 22,4528 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 2245,28 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$$

Momento de inércia em Y:

$$I_y = \Sigma (I_y + dx^2 \cdot A)$$

$$I_y = \left[\frac{250 \cdot 7,94^3}{12} + (12,79 - 3,97)^2 \cdot 250 \cdot 7,94 \right] + \left[\frac{7,94 \cdot 52,06^3}{12} + (12,79 - 33,97)^2 \cdot 250 \cdot 7,94 \right] \cdot 2$$

$$I_y = 722,42 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 72,2 \text{ cm}^4$$

Raio de giração em x:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{2245,28}{28,12}}$$

$$r_x = 8,93 \text{ cm}$$

Raio de giração em y:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{72,2}{28,12}}$$

$$r_y = 1,6 \text{ cm}$$

Verificação da seção compacta:

$$\text{Limite da norma: } \frac{b}{t_{lim}} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{200 \cdot 10^9}{250 \cdot 10^6}} = 15,83$$

$$\text{Perfil: } \frac{b}{t_{perfil}} = \frac{60}{7,94} = 7,55$$

Em que:

E = Módulo de elasticidade do aço;

f_y = tensão de escoamento do aço;

b = dimensão da aba;

t_{perfil} = espessura do perfil.

Parâmetro Q_s : Como $\frac{b}{t_{perfil}} < \frac{b}{t_{lim}}$, $Q_s = 1$

$$\text{Limite da norma: } \frac{h}{t_{lim}} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{200 \cdot 10^9}{250 \cdot 10^6}} = 35,87$$

$$\text{Perfil: } \frac{h}{t_{perfil}} = \frac{250 - 2 \cdot (7,94)}{7,94} = 29,48$$

Em que:

E = Módulo de elasticidade do aço;

f_y = tensão de escoamento do aço;

h = dimensão da alma;

t_{perfil} = espessura do perfil.

Parâmetro Q_a : Como $\frac{h}{t_{perfil}} < \frac{h}{t_{lim}}$, $Q_a = 1$

Parâmetro Q_s : $Q = Q_s \cdot Q_a = 1 \cdot 1$

$Q = 1$

Com isso verifica-se que a seção compacta desse perfil está assegurada.

Com os valores de área, momento de inércia, raio de giração devidamente e seção compactada garantidos e assegurados, é possível prosseguir para a etapa de dimensionamento estrutural propriamente dita.

Dados de entrada:

$I_y = 72,2 \text{ cm}^4$;

$r = 1,60 \text{ cm}$;

$A = 28,12 \text{ cm}^2$;

$K = 0,95$;

$Q = 1$;

$F_y = 250 \text{ MPa}$;

$L = 188,75 \text{ cm}$;

$Pd = 328,6 \text{ kN}$;

Em que:

I_y = Momento de inércia referente ao eixo y;

r_y = Raio de giração mínimo;

A = Seção transversal;

K = Coeficiente de flambagem a flexão;

Q = Fator de redução total associado;

F_y = Tensão de escoamento do aço;

L = Comprimento de flambagem;

P_d = Esforço axial requisitado.

Sobre o coeficiente de flambagem a flexão: Considerando tratar-se de uma treliça metálica, adota-se, para fins de cálculo, o modelo estrutural com nós rotulados, conforme a simplificação usual prevista na ABNT NBR 8800:2008, na qual o coeficiente de flambagem (K) é igual a 1,0 para elementos com extremidades rotuladas.

Contudo, no comportamento real da estrutura, as ligações entre os elementos não se configuram como rótulas perfeitas, apresentando certa rigidez à rotação. Dessa forma, admite-se uma condição de vinculação parcialmente engastada, o que possibilita a redução do coeficiente de flambagem. Assim, para representar de maneira mais fiel o comportamento real da treliça, adota-se nesse caso $K = 0,95$

Índice de esbeltez máximo de compressão segundo a norma:

$$\frac{L_{fb}}{r} < 200$$

$$\frac{188,75}{1,6} = 117,96 < 200$$

Força axial de flambagem elástica (N_e):

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 72,2}{(0,95 \cdot 188,75)^2 \cdot 10^4} = 443,25 \text{ kN}$$

Índice de esbeltez reduzido λ_o :

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \cdot A \cdot F_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 28,12 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{443,25 \cdot 10^3}} = 1,26$$

Fator de redução X:

$$x = 0,515$$

O fator de redução X foi determinado conforme a Tabela 03 localizada no tópico 8.2.1 em função da esbeltez adimensional da barra, segundo a ABNT NBR 8800.

Força axial de compressão resistente de cálculo (NcRd):

$$NcRd = \frac{x \cdot Q \cdot A \cdot Fy}{1,1}$$

$$NcRd = \frac{0,515 \cdot 1 \cdot 28,12 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^6}{1,1} = 329,13 \text{ kN} > 328,6 \text{ kN}$$

Perfil final escolhido: U250×60×7,93

8.2.2 MONTANTES

ESFORÇO SOLICITANTE: 148 kN

Pré-dimensionamento de perfil: 2 L 2'' com 1/4'' de espessura (verificar tabelas 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2.)

Dados de entrada:

$$I_y = 14,60 \text{ cm}^4$$

$$r = 1,55 \text{ cm}$$

$$A = 6,06 \text{ cm}^2$$

$$K = 1$$

$$Q = 1$$

$$Fy = 250 \text{ MPa}$$

$$L = 170 \text{ cm}$$

$$Pd = 148 \text{ kN}$$

Em que:

I_y = Momento de inércia referente ao eixo y;

r_y = Raio de giração mínimo;

A = Seção transversal;

K = Coeficiente de flambagem a flexão;

Q = Fator de redução total associado;

F_y = Tensão de escoamento do aço;

L = Comprimento de flambagem;

Pd = Esforço axial requisitado.

Índice de esbeltez máximo de compressão segundo a norma:

$$\frac{L_{fb}}{r} < 200$$

$$\frac{170}{1,55} = 109,67 < 200$$

Força axial de flambagem elástica (N_e):

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 14,60}{(1 \cdot 170)^2 \cdot 10^4} = 99,72 \text{ kN}$$

Índice de esbeltez reduzido λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A \cdot F_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 6,06 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^6}{99,72 \cdot 10^3}} = 1,23$$

Fator de redução X:

$$x = 0,536$$

O fator de redução X foi determinado conforme a Tabela 03 localizada no tópico 8.2.1, em função da esbeltez adimensional da barra, segundo a ABNT NBR 8800.

Força axial de compressão resistente de cálculo (NcRd):

$$NcRd = \frac{x \cdot Q \cdot A \cdot Fy}{1,1}$$

$$NcRd = \frac{0,536 \cdot 1 \cdot 6,06 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^6}{1,1} = 73,82 \text{ kN}$$

O resultado apresentado refere-se à capacidade de esforço suportado do perfil 2L 2'' com espessura de 1/4''. Como serão utilizadas duas cantoneiras de abas iguais soldadas entre si, a capacidade resistente do conjunto passa a ser o dobro da capacidade individual de cada cantoneira.

$$1L \text{ 2'' com 1/4'' de espessura} = 73,82 \text{ kN} < 148 \text{ kN}$$

$$2L \text{ 2'' com 1/4'' de espessura} = 147,64 \text{ kN} > 148 \text{ kN}$$

O perfil selecionado apresenta capacidade resistente de 147,64 kN frente a uma solicitação de 148 kN. A diferença entre esses valores é extremamente pequena (cerca de 0,24%) e já está contemplada pelos coeficientes de segurança aplicados tanto às ações quanto aos materiais durante o dimensionamento. Assim, o perfil atende plenamente aos critérios normativos de segurança estrutural, preservando a integridade da peça sem risco de colapso. Além disso, a adoção do próximo perfil comercial disponível resultaria em uma seção significativamente superdimensionada e, conseqüentemente, elevaria de forma desnecessária o custo final da estrutura.

Perfil final escolhido: 2L 2" com 1/4" de espessura

Considerando a utilização de perfis laminados do tipo L, torna-se possível uma seleção mais eficiente das seções, permitindo o ajuste individual de cada barra aos esforços solicitantes. Tal flexibilidade não se mostrava viável na estrutura dimensionada em aço A572 com perfis do tipo W, uma vez que já se adotava o menor perfil disponível na tabela do fornecedor, o que inviabiliza qualquer otimização adicional.

ESFORÇO SOLICITANTE: 74 kN

Pré-dimensionamento de perfil: L 1 3/4" com 3/16" de espessura (verificar tabelas 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2.)

Dados de entrada:

$$I_y = 7,50 \text{ cm}^4$$

$$r = 1,37 \text{ cm}$$

$$A = 4,00 \text{ cm}^2$$

$$K = 1$$

$$Q = 1$$

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$L = 170 \text{ cm}$$

$$P_d = 74 \text{ kN}$$

Em que:

I_y = Momento de inércia referente ao eixo y;

r_y = Raio de giração mínimo;

A = Seção transversal;

K = Coeficiente de flambagem a flexão;

Q = Fator de redução total associado;

F_y = Tensão de escoamento do aço;

L = Comprimento de flambagem;

P_d = Esforço axial requisitado.

Índice de esbeltez máximo de compressão segundo a norma:

$$\frac{L_{fb}}{r_y} < 200$$

$$\frac{170}{1,37} = 124,08 < 200$$

Força axial de flambagem elástica (Ne):

$$Ne = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$Ne = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 7,5}{(1 \cdot 170)^2 \cdot 10^4} = 51,22 \text{ kN}$$

Índice de esbeltez reduzido λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A \cdot F_y}{Ne}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 4,00 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^6}{51,22 \cdot 10^3}} = 1,40$$

Fator de redução X:

$$x = 0,440$$

O fator de redução X foi determinado conforme a Tabela 03 localizada no tópico 8.2.1, em função da esbeltez adimensional da barra, segundo a ABNT NBR 8800.

Força axial de compressão resistente de cálculo (NcRd):

$$N_{cRd} = \frac{x \cdot Q \cdot A \cdot F_y}{1,1}$$

$$NcRd = \frac{0,440 \cdot 1 \cdot 4,00 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^6}{1,1} = 40,00 \text{ kN}$$

O resultado apresentado refere-se à capacidade de esforço suportado do perfil 1L 3/4'' com espessura de 3/16''. Como serão utilizadas duas cantoneiras de abas iguais soldadas entre si, a capacidade resistente do conjunto passa a ser o dobro da capacidade individual de cada cantoneira.

1L 3/4'' com 3/16'' de espessura = 40,00 kN < 74 kN

2L 3/4'' com 3/16'' de espessura = 80,00 kN > 74 kN

8.3 RESUMO DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO AÇO A36

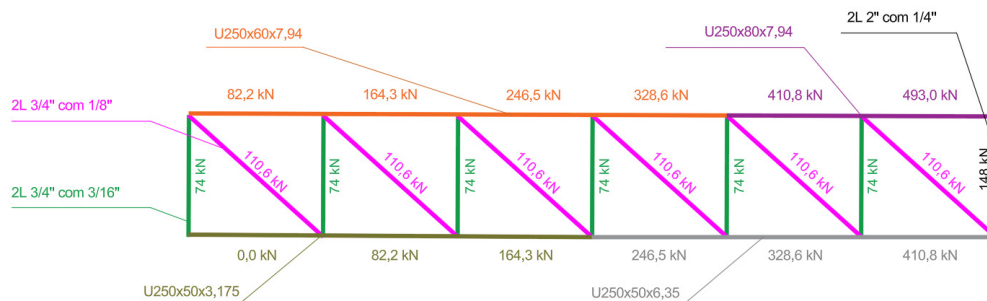
Banzo inferior = U250×50×6,35 e U250×50×3,175;

Diagonais = 2L 3/4'' com 1/8'' de espessura;

Banzo superior = U250×80×7,94 e U250×60×7,94;

Montantes = 2L 2'' com 1/4'' de espessura e 2L 3/4'' com 3/16'' de espessura.

Figura 08 - Resumo do dimensionamento



Fonte: Autor (2025)

9. DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO O AÇO A572

Nesse dimensionamento adota-se o perfil laminado W da Gerdau fabricado em aço ASTM A572 Gr. 50 no qual sua escolha se justifica por uma combinação de desempenho estrutural superior, confiabilidade e viabilidade econômica. Esse material apresenta resistência ao escoamento de 345 MPa, valor significativamente maior que o de aços estruturais convencionais, como o ASTM A36. Essa elevação de resistência permite a utilização de seções com menor área e menor peso, mantendo ou até ampliando a capacidade resistente da barra. Como consequência, reduz-se o consumo de aço e, portanto, o custo global da estrutura.

Os perfis W laminados apresentam ainda grande precisão dimensional, excelente qualidade superficial e propriedades geométricas bem definidas em catálogo, o que facilita o processo de dimensionamento conforme a NBR 8800.

Além disso, por serem perfis amplamente utilizados no mercado brasileiro e produzidos por um fabricante consolidado, asseguram elevada confiabilidade quanto ao desempenho mecânico e à rastreabilidade do material.

Outro ponto relevante é o comportamento desses perfis sob esforços combinados, especialmente compressão e flexo-compressão. As mesas largas e a alma robusta dos perfis W promovem elevada rigidez, favorecendo maiores momentos de inércia e maiores raios de giração que são parâmetros fundamentais para o controle da flambagem. Como consequência, esses perfis tendem a apresentar comprimentos críticos de flambagem maiores, o que amplia a segurança da estrutura sem necessidade de reforços adicionais.

Portanto, a escolha do perfil W em aço ASTM A572 Gr. 50 representa uma decisão técnica consistente, capaz de garantir desempenho estrutural, otimização de material e confiabilidade no processo construtivo.

9.1 DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

9.1.1 BANZO INFERIOR

ESFORÇO SOLICITANTE: 410,8 kN

Pré-dimensionamento de perfil: W150×13

Tabela 04 - Propriedades geométricas perfil série W Gerdau

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _i cm	I _i cm ⁴	ESBELTEZ		C _u cm ²	u m ² /m
				t _w mm	t _r mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			MESA - λ ₁	ALMA - λ ₂		
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,683	0,69
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,91
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4	5,80	212,61	4,43	10,87	385,454	1,25

Fonte: Gerdau (2025)

Dados de entrada:

$$Pd = 410,8 \text{ kN}$$

$$\sigma = 313,63 \text{ MPa}$$

$$A = ?$$

$$A_p = \text{Área do perfil escolhido}$$

Em que:

$$Pd = \text{Esforço axial de tração solicitante}$$

$$\sigma = \text{Tensão de escoamento do aço com coeficiente de segurança aplicado}$$

$$A = \text{Área solicitante mínima}$$

$$\sigma = \frac{Pd}{A} \rightarrow A = \frac{Pd}{\sigma} < A_p$$

$$A = \frac{410,8}{313,63 \cdot 10^3} = 13,09 \text{ cm}^2 < 16,6 \text{ cm}^2$$

Índice de esbeltez máximo de compressão segundo a norma:

$$\frac{Lfb}{r} < 300$$

$$\frac{188,75}{2,22} = 85,02 < 300$$

Perfil final escolhido: W150×13

9.1.2 DIAGONAIS

ESFORÇO SOLICITANTE: 110,6 kN

Pré-dimensionamento de perfil: 2 L 1 1/4'' com espessura de 1/8'' (verificar tabelas 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2.)

Dados de entrada:

$$Pd = 110,6 \text{ kN}$$

$$\sigma = 313,63 \text{ MPa}$$

$$A = ?$$

$$A_p = \text{Área do perfil escolhido}$$

Em que:

$$Pd = \text{Esforço axial solicitante}$$

$$\sigma = \text{Tensão de escoamento do aço com coeficiente de segurança aplicado}$$

$$A = \text{Área solicitante mínima}$$

$$\sigma = \frac{Pd}{A} \rightarrow A = \frac{Pd}{\sigma} < A_p$$

$$A = \frac{110,6}{313,63 \cdot 10^3} = 3,52 \text{ cm}^2$$

$$L \text{ 1/4'' com espessura de 1/8''} = 1,93 \text{ cm}^2 < 3,52 \text{ cm}^2$$

$$2 L \text{ 1/4'' com espessura de 1/8''} = 3,86 \text{ cm}^2 > 3,52 \text{ cm}^2$$

Índice de esbeltez máximo de tração segundo a norma:

$$\frac{Lfb}{r} < 300$$

$$\frac{254,02}{0,97} = 261,87 < 300$$

Perfil final escolhido: 2 L 3/4'' com espessura de 1/8''

9.2 DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO

Acerca da classificação de seção compacta, não se faz necessário realizar os cálculos específicos, pois os perfis empregados foram selecionados a partir da tabela da Gerdau, a qual assegura que esses perfis atendem aos requisitos normativos para serem considerados seções compactas.

9.2.1 BANZO SUPERIOR

ESFORÇO SOLICITANTE: 493 kN

Pré-dimensionamento de perfil: W150×18 (verificar tabela 04 localizada no tópico 9.1.1).

Dados de entrada:

$$I_y = 126 \text{ cm}^4;$$

$$r_y = 2,32 \text{ cm};$$

$$A = 23,4 \text{ cm}^2;$$

$$K = 0,9;$$

$$Q = 1;$$

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

$$L = 188,75 \text{ cm};$$

$$Pd = 493,0 \text{ kN};$$

Em que:

I_y = Momento de inércia referente ao eixo y;

r_y = Raio de giração referente ao eixo y;

A = Seção transversal;

K = Coeficiente de flambagem a flexão;

Q = Fator de redução total associado;

F_y = Tensão de escoamento do aço;

L = Comprimento de flambagem;

P_d = Esforço axial requisitado.

Índice de esbeltez máximo de compressão segundo a norma:

$$\frac{L_{fb}}{r} < 200$$

$$\frac{188,75}{2,32} = 81,36 < 200$$

Força axial de flambagem elástica (N_e):

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 126}{(0,9 \cdot 188,75)^2 \cdot 10^4} = 861,87 \text{ kN}$$

Índice de esbeltez reduzido λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A \cdot F_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 23,4 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 10^{-6}}{861,87 \cdot 10^3}} = 0,96$$

Fator de redução X:

$$x = 0,680$$

O fator de redução X foi determinado conforme a Tabela 03 localizada no tópico 8.2.1, em função da esbeltez adimensional da barra, segundo a ABNT NBR 8800.

Força axial de compressão resistente de cálculo (N_{cRd}):

$$N_{cRd} = \frac{x \cdot Q \cdot A \cdot F_y}{1,1}$$

$$N_{cRd} = \frac{0,680 \cdot 1 \cdot 23,4 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 10^6}{1,1} = 499,05 \text{ kN} > 493,0 \text{ kN}$$

Perfil final escolhido: W150×18.

O perfil W150×18, por suas características resistentes, atende às solicitações de todas as barras da treliça. Contudo, sua utilização será limitada às duas barras submetidas aos maiores esforços axiais de compressão. Para as demais barras, iremos dimensionar outro perfil para resistir aos esforços atuantes. Além disso, a metalúrgica permite a combinação de perfis distintos na fabricação da treliça, o que possibilita a otimização de custos sem comprometer o desempenho estrutural.

ESFORÇO SOLICITANTE: 328,6 kN

Pré-dimensionamento de perfil: W150×13 (verificar tabela 04 localizada no tópico 9.1.1)

Dados de entrada:

$$I_y = 82 \text{ cm}^4$$

$$r_y = 2,22 \text{ cm}$$

$$A = 16,6 \text{ cm}^2$$

$$K = 0,93$$

$$Q = 1$$

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

$$L = 188,75 \text{ cm}$$

$$Pd = 328,6 \text{ kN}$$

Em que:

I_y = Momento de inércia referente ao eixo y;

r_y = Raio de giração referente ao eixo y;

A = Seção transversal;

K = Coeficiente de flambagem a flexão;

Q = Fator de redução total associado;

F_y = Tensão de escoamento do aço;

L = Comprimento de flambagem;

Pd = Esforço axial requisitado.

Índice de esbeltez máximo:

$$\frac{L_{fb}}{r_y} < 200$$

$$\frac{188,75}{2,22} = 85,02 < 200$$

Força axial de flambagem elástica (Ne):

$$Ne = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$Ne = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 82}{(0,93 \cdot 188,75)^2 \cdot 10^4} = 525,29 \text{ kN}$$

Índice de esbeltez reduzido λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A \cdot F_y}{Ne}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 16,6 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 10^6}{503,41 \cdot 10^3}} = 1,04$$

Fator de redução X:

$$x = 0,636$$

O fator de redução X foi determinado conforme a Tabela 04 localizada no tópico 8.2.1, em função da esbeltez adimensional da barra, segundo a ABNT NBR 8800.

Força axial de compressão resistente de cálculo (NcRd):

$$NcRd = \frac{x \cdot Q \cdot A \cdot Fy}{1,1}$$

$$NcRd = \frac{0,636 \cdot 1 \cdot 16,6 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 10^6}{1,1} = 331,12 > 328,6 \text{ kN}$$

Perfil final escolhido: W150×13.

9.2.2 MONTANTES

ESFORÇO SOLICITANTE: 148 kN

Pré-dimensionamento de perfil: 2 L 2'' com espessura 1/4'' (verificar tabelas 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2.).

Dados de entrada:

$$I_y = 29,2 \text{ cm}^4$$

$$r = 1,50 \text{ cm}$$

$$A = 12,12 \text{ cm}^2$$

$$K = 1$$

$$Q = 1$$

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

$$L = 170 \text{ cm}$$

$$Pd = 148 \text{ kN}$$

Em que:

I_y = Momento de inércia referente ao eixo y;

r = Raio de giração mínimo;

A = Seção transversal;

K = Coeficiente de flambagem a flexão;

Q = Fator de redução total associado;

F_y = Tensão de escoamento do aço;

L = Comprimento de flambagem;

P_d = Esforço axial requisitado.

Índice de esbeltez máximo de compressão segundo a norma:

$$\frac{L_{fb}}{r} < 200$$

$$\frac{170}{1,5} = 113,33 < 200$$

Força axial de flambagem elástica (N_e):

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 29,2}{(1 \cdot 170)^2 \cdot 10^4} = 199,44 \text{ kN}$$

Índice de esbeltez reduzido λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A \cdot F_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 12,12 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 10^6}{199,44 \cdot 10^3}} = 1,44$$

Fator de redução X:

$$x = 0,420$$

O fator de redução X foi determinado conforme a Tabela 03 localizada no tópico 8.2.1, em função da esbeltez adimensional da barra, segundo a ABNT NBR 8800.

Força axial de compressão resistente de cálculo (NcRd):

$$NcRd = \frac{x \cdot Q \cdot A \cdot Fy}{1,1}$$

$$NcRd = \frac{0,420 \cdot 1 \cdot 12,20 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 10^6}{1,1} = 160,7 > 148,0 \text{ kN}$$

Perfil final escolhido: 2 L 2'' com 1/4'' de espessura

ESFORÇO SOLICITANTE: 74 kN

Pré-dimensionamento de perfil: 2L 1 3/4'' com espessura 3/16'' (verificar tabelas 01 e 02 localizadas no tópico 9.1.2.).

Dados de entrada:

$$Ix = 14,9 \text{ cm}^4$$

$$ry = 1,37 \text{ cm}$$

$$A = 8,00 \text{ cm}^2$$

$$K = 1$$

$$Q = 1$$

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

$$L = 170 \text{ cm}$$

$$Pd = 74 \text{ kN}$$

Em que:

I_y = Momento de inércia referente ao eixo y;

r = Raio de giração mínimo;

A = Seção transversal;

K = Coeficiente de flambagem a flexão;

Q = Fator de redução total associado;

F_y = Tensão de escoamento do aço;

L = Comprimento de flambagem;

P_d = Esforço axial requisitado.

Índice de esbeltez máximo de compressão segundo a norma:

$$\frac{L_{fb}}{r} < 200$$

$$\frac{170}{1,37} = 124,08 < 200$$

Força axial de flambagem elástica (N_e):

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 14,9}{(1 \cdot 170)^2 \cdot 10^4} = 101,77 \text{ kN}$$

Índice de esbeltez reduzido λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A \cdot F_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 10^6}{101,77 \cdot 10^3}} = 1,64$$

Fator de redução X:

$$x = 0,326$$

O fator de redução X foi determinado conforme a Tabela 03 localizada no tópico 8.2.1, em função da esbeltez adimensional da barra, segundo a ABNT NBR 8800.

Força axial de compressão resistente de cálculo (N_{cRd}):

$$N_{cRd} = \frac{x \cdot Q \cdot A \cdot F_y}{1,1}$$

$$N_{cRd} = \frac{0,326 \cdot 1 \cdot 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 10^6}{1,1} = 81,79 > 74,0 \text{ kN}$$

Perfil final escolhido: 2L 1 3/4'' com espessura 3/16''.

9.3 RESUMO DOS PERFIS ADOTADOS

Resumo final da treliça calculada apenas com o aço de alta resistência A572 Gr.50:

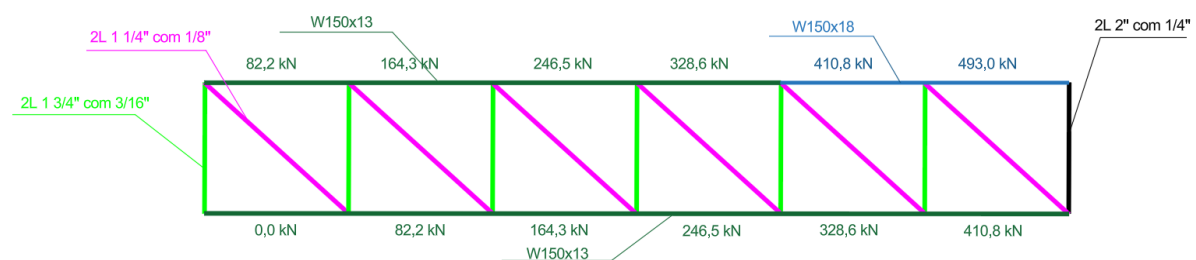
Banzo inferior: W150x13;

Diagonais: 2L 1 1/4'' com espessura de 1/8'';

Banzo superior: W150x18 e W150x13;

Montantes: 2L 2'' com 1/4'' de espessura e 2L 1 3/4'' com 3/16'' de espessura.

Figura 09 - Resumo do dimensionamento



Fonte: autor (2025)

10. ESTIMATIVA DE PREÇO E PESO

O custo de fabricação de uma estrutura metálica fornecida por uma metalúrgica é normalmente estimado a partir do peso total de aço empregado, multiplicado pelo comprimento fabricado e pelo preço unitário do material. Entretanto, esse cálculo não considera apenas o peso do aço: ele é ajustado por um coeficiente adicional, frequentemente chamado de fator de fabricação. Esse fator representa o conjunto de atividades que compõem o processo produtivo como corte, dobra, solda, furação, montagem, tempo de máquina, controle dimensional e eventuais retrabalhos, funcionando como uma forma de converter o esforço de manufatura em custo efetivo. (BEZERRA, 2025).

O valor do fator de fabricação não é fixo e varia conforme a complexidade envolvida na fabricação. Para estruturas produzidas em aço A36, especialmente quando se utilizam perfis formados a frio (como U dobrado, Z ou L dobrado), o fator tende a ser maior. Isso ocorre porque esses perfis exigem uma sequência mais extensa de operações: cortes múltiplos em chapas, processos de dobra em equipamento específico, controle rígido de alinhamento, possibilidade de empenos durante a conformação e maior número de soldas e ajustes. Em outras palavras, o aço A36 quando empregado em perfis dobrados demanda mais tempo de fabricação, mais mão de obra e maior consumo de maquinário, o que eleva o fator de fabricação.

Por outro lado, no caso do aço A572 Gr.50, que é amplamente disponibilizado sob a forma de perfis laminados a quente (como os perfis W), o processo é significativamente mais simples para a metalúrgica. Esses perfis já chegam prontos da usina, com geometria controlada, rigidez elevada e acabamento que reduz retrabalhos. Assim, há menos etapas de conformação, menor necessidade de soldas, menor risco de deformações durante o manuseio e montagem, e redução no tempo de fabricação como um todo. Esse conjunto de fatores diminui a demanda por mão de obra e horas de máquina, o que naturalmente reduz o fator de fabricação aplicado ao cálculo do custo.

Para a estimativa do custo de fabricação das peças metálicas, adotaram-se os fatores de produção praticados no mercado regional. Esses valores foram obtidos por meio de consulta técnica a profissional com ampla experiência na área de estruturas metálicas, que indicou que metalúrgicas locais usualmente aplicam fator de aproximadamente 3,0 para perfis em aço ASTM A572 e de 3,2 para perfis em aço ASTM A36. Além disso, segundo a mesma fonte, os valores unitários típicos de fornecimento são da ordem de R\$7,90/kg para o aço ASTM A572 e R\$9,50/kg para o aço ASTM A36. A adoção desses parâmetros justifica-se por refletirem práticas reais do setor, bem como a maior facilidade de fabricação e montagem associada ao aço ASTM A572, o que resulta em menor fator de produção. Assim, os valores aqui empregados

são representativos das condições comerciais e operacionais observadas na região, garantindo consistência ao estudo econômico realizado.

10.1 ESTIMATIVA DE PREÇO E PESO DA ESTRUTURA DIMENSIONADA UTILIZANDO AÇO A36

BANZO INFERIOR: U250×50×6,35

Por se tratar de um perfil U formado por chapa dobrada, não existe tabela comercial padronizada informando seu peso em kg/m. Portanto, torna-se necessário determinar esse valor por meio de cálculos, conforme apresentado a seguir.

Cálculo da massa por metro:

$$A = h + b + b - 2 \cdot (t) \cdot t$$

$$M = A \cdot \rho$$

$$A = 0,25 + 0,05 + 0,05 - 2 \cdot (0,00635) \cdot 0,00635$$

$$A = 0,002141855 \text{ m}$$

$$M = 0,002141855 \cdot 7850$$

$$M = 16,81 \text{ Kg/m}$$

Em que:

A = Área do perfil

h = dimensão da alma

b = dimensão da mesa

t = espessura do perfil

M = Massa

ρ = Densidade do aço

Com o valor da massa encontrada se torna possível a estimativa de preço e peso.

$$\text{Preço} = 16,81 \text{ Kg/m} \cdot \text{R\$ } 9,50 \cdot 3,2 \cdot 6 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$\text{Preço} = \text{R\$ } 5.787,35$$

$$Peso = 16,81 \text{ Kg/m} \cdot 6 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Peso = 190,37 \text{ Kg}$$

BANZO INFERIOR: U250×50×3,175

Cálculo da massa por metro:

$$A = h + b + b - 2 \cdot (t) \cdot t$$

$$M = A \cdot \rho$$

$$A = 0,25 + 0,05 + 0,05 - 2 \cdot (0,003175) \cdot 0,003175$$

$$A = 0,00109108875 \text{ m}$$

$$M = 0,002141855 \cdot 7850$$

$$M = 8,56 \text{ Kg/m}$$

Em que:

$$A = \text{Área do perfil}$$

$$h = \text{dimensão da alma}$$

$$b = \text{dimensão da mesa}$$

$$t = \text{espessura do perfil}$$

$$M = \text{Massa}$$

$$\rho = \text{Densidade do aço}$$

Com o valor da massa encontrada se torna possível a estimativa de preço e peso.

$$Preço = 8,56 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 9,50 \cdot 3,2 \cdot 6 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Preço = R\$ 2.947,04$$

$$Peso = 8,56 \text{ Kg/m} \cdot 6 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Peso = 96,94 \text{ Kg}$$

DIAGONAIS: 2 L 3/4" com 1/8"

$$Preço = 4,28 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 9,50 \cdot 3,2 \cdot 12 \cdot (2,5402 \text{ m})$$

$$Preço = R\$ 3.966,13$$

$$Peso = 4,28 \text{ Kg/m} \cdot 12 \cdot (2,5402 \text{ m})$$

$$Peso = 130,46 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2

BANZO SUPERIOR: U250×80×7,94

Cálculo da massa por metro:

$$A = h + b + b - 2 \cdot (t) \cdot t$$

$$M = A \cdot \rho$$

$$A = 0,25 + 0,08 + 0,08 - 2 \cdot (0,00794) \cdot 0,00794$$

$$A = 0,0031293128 \text{ m}$$

$$M = 0,0031293128 \cdot 7850$$

$$M = 24,56 \text{ Kg/m}$$

Em que:

$$A = \text{Área do perfil}$$

$$h = \text{dimensão da alma}$$

$$b = \text{dimensão da mesa}$$

$$t = \text{espessura do perfil}$$

$$M = \text{Massa}$$

$$\rho = \text{Densidade do aço}$$

Com o valor da massa encontrada se torna possível a estimativa de preço e peso.

$$Preço = 24,56 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 9.50 \cdot 3,2 \cdot 4 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Preço = R\$ 5.637,01$$

$$Peso = 24,56 \text{ Kg/m} \cdot 4 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Peso = 185,43 \text{ Kg}$$

BANZO SUPERIOR: U250×60×7,94

Cálculo da massa por metro:

$$A = h + b + b - 2 \cdot (t) \cdot t$$

$$M = A \cdot \rho$$

$$A = 0,25 + 0,06 + 0,06 - 2 \cdot (0,00794) \cdot 0,00794$$

$$A = 0,0028117128 \text{ m}$$

$$M = 0,0028117128 \cdot 7850$$

$$M = 22,07 \text{ Kg/m}$$

Em que:

A = Área do perfil

h = dimensão da alma

b = dimensão da mesa

t = espessura do perfil

M = Massa

ρ = Densidade do aço

Com o valor da massa encontrada se torna possível a estimativa de preço e peso.

$$\text{Preço} = 22,07 \text{ Kg/m} \cdot \text{R\$ } 9,50 \cdot 3,2 \cdot 8 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$\text{Preço} = \text{R\$ } 10.131,01$$

$$\text{Peso} = 22,07 \text{ Kg/m} \cdot 8 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$\text{Peso} = 333,26 \text{ Kg}$$

MONTANTES: 2 L 2'' com 1/4''

$$\text{Preço} = 9,48 \text{ Kg/m} \cdot \text{R\$ } 9,50 \cdot 3,2 \cdot 1 \cdot (1,7 \text{ m})$$

$$\text{Preço} = \text{R\$ } 489,93$$

$$\text{Peso} = 9,48 \text{ Kg/m} \cdot 1 \cdot (1,7 \text{ m})$$

$$\text{Peso} = 16,12 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2

MONTANTES: 2 L 3/4'' com 3/16''

$$Preço = 6,3 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 9,50 \cdot 3,2 \cdot 12 \cdot (1,7\text{m})$$

$$Preço = R\$ 3.907,00$$

$$Peso = 6,3 \text{ Kg/m} \cdot 12 \cdot (1,7 \text{ m})$$

$$Peso = 128,52 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2

PREÇO TOTAL DA ESTRUTURA:

$$Total = R\$ 5.787,35 + R\$ 2.947,04 + R\$ 3.966,13 + R\$ 5.637,01 + 10.131,01 + R\$ 489,93 + R\$ 3.907,00$$

$$Total = R\$ 32.865,47$$

PESO TOTAL DA ESTRUTURA:

$$Total = 190,37 \text{ Kg} + 96,94 \text{ Kg} + 130,46 \text{ Kg} + 185,43 \text{ Kg} + 333,26 \text{ Kg} + 16,12 \text{ Kg} + 128,52 \text{ Kg}$$

$$Total = 1.081,1 \text{ Kg}$$

10.2 ESTIMATIVA DE PREÇO E PESO DA ESTRUTURA DIMENSIONADA UTILIZANDO AÇO A572

BANZO INFERIOR: W150×13

$$Preço = 13,0 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 7,90 \cdot 3,0 \cdot 22,65$$

$$Preço = R\$ 6.978,46$$

$$Peso = 13,0 \text{ Kg/m} \cdot 22,65$$

$$Peso = 294,45 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 04 localizada no tópico 9.1.1

DIAGONAIS: 2L 1 1/4" com 1/8"

$$Preço = 3,0 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 7,90 \cdot 3,0 \cdot 12 \cdot (2,5402 \text{ m})$$

$$Preço = R\$ 2.167,30$$

$$Peso = 3,0 \text{ Kg/m} \cdot 12 \cdot (2,5402 \text{ m})$$

$$Peso = 91,45 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2

BANZO SUPERIOR: W150×18

$$Preço = 18,0 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 7,90 \cdot 3,0 \cdot 4 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Preço = R\$ 3.220,83$$

$$Peso = 18,0 \text{ Kg/m} \cdot 4 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Peso = 135,9 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 04 localizada no tópico 9.1.1

BANZO SUPERIOR: W150×13

$$Preço = 13,0 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 7,90 \cdot 3,0 \cdot 8 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Preço = R\$ 4.652,31$$

$$Peso = 13,0 \text{ Kg/m} \cdot 8 \cdot (1,8875 \text{ m})$$

$$Peso = 196,3 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 04 localizada no tópico 9.1.1

MONTANTES: 2L 2'' COM 1/4''

$$Preço = 9,48 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 7,90 \cdot 3,0 \cdot 1 \cdot (1,7 \text{ m})$$

$$Preço = R\$ 381,95$$

$$Peso = 9,48 \text{ Kg/m} \cdot 1 \cdot (1,7 \text{ m})$$

$$Peso = 16,12 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2

MONTANTES: 2L 1 3/4'' COM 3/16''

$$Preço = 6,30 \text{ Kg/m} \cdot R\$ 7,90 \cdot 3,0 \cdot 12 \cdot (1,7 \text{ m})$$

$$Preço = R\$ 3.045,92$$

$$Peso = 6,30 \text{ Kg/m} \cdot 12 \cdot (1,7 \text{ m})$$

$$Peso = 128,52 \text{ Kg}$$

Valores de Kg/m encontrados na tabela 01 e 02 localizadas no tópico 8.1.2

PREÇO TOTAL DA ESTRUTURA:

$$Total = R\$ 6.978,46 + R\$ 2.167,30 + R\$ 3.220,83 + R\$ 4.652,31 + R\$ 381,95 \\ + R\$ 3.045,92$$

$$Total = R\$ 20.446,77$$

PESO TOTAL DA ESTRUTURA:

$$Total = 294,45 \text{ Kg} + 91,45 \text{ Kg} + 135,9 \text{ Kg} + 196,3 \text{ Kg} + 16,12 \text{ Kg} + 128,52 \text{ Kg}$$

$$Total = 862,74 \text{ Kg}$$

10.3 COMPARATIVO ENTRE AS ESTRUTURAS

Foram analisadas duas configurações estruturais:

I. ESTRUTURA EM AÇO A36

(Banzos em chapa dobrada + montantes e diagonais laminados cantoneira duplo L)

Custo total: R\$ 32.865,47;

Peso total: 1.081,1 Kg.

II. ESTRUTURA EM AÇO A572

(Banzos da série W + montante e diagonais laminados cantoneira duplo L)

Custo total: R\$ 20.446,77;

Peso total: 862,74 Kg

COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CUSTO:

ESTRUTURA EM A36 × ESTRUTURA EM A572:

$$\text{Diferença absoluta: } R\$ 32.865,47 - R\$ 20.446,77 = R\$ 12.418,70$$

Diferença percentual: $\frac{R\$ 12.418,70}{R\$ 32.865,47} \approx 37,78\%$

COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO PESO:

EM RELAÇÃO AO PESO ESTRUTURA EM A36 × ESTRUTURA EM A572:

Diferença absoluta: $1.081,1 \text{ Kg} - 862,74 \text{ Kg} = 218,36 \text{ Kg}$

Diferença percentual: $\frac{218,36 \text{ Kg}}{1.081,1 \text{ Kg}} \approx 20,20\%$

A adoção do aço ASTM A572 Gr.50 na presente estrutura justifica-se, primordialmente, pelos ganhos econômicos associados à sua maior resistência mecânica quando comparado ao aço ASTM A36. Essa propriedade permite a utilização de seções com menores áreas e, consequentemente, menor consumo de material, sem prejuízo à segurança estrutural. Como resultado direto dessa otimização, observa-se também a redução do peso próprio da estrutura, fator que contribui para menores esforços atuantes nos elementos estruturais e nas fundações, além de facilitar as etapas de transporte, manuseio e montagem. Ademais, a escolha por perfis laminados, como os banzos em perfil W e os montantes e diagonais em perfis duplo L laminados, contribui significativamente para a redução dos custos de fabricação, uma vez que elimina etapas de conformação, reduz desperdícios e otimiza o tempo de execução em oficina. Soma-se a isso o menor custo por quilograma do A572 observado no mercado regional, aliado à maior facilidade de aquisição desses perfis padronizados. Dessa forma, a solução em A572 apresenta não apenas desempenho estrutural superior, mas também expressiva vantagem econômica e construtiva frente à alternativa em A36.

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como finalidade analisar, sob os aspectos resistente, construtivo e econômico, a aplicação do aço ASTM A36 e do aço de alta resistência ASTM A572 Gr.50 no dimensionamento de uma treliça metálica, com base nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8800. A partir da modelagem estrutural, da determinação dos esforços internos e do dimensionamento dos elementos submetidos predominantemente à compressão e

à tração, foi possível avaliar de forma objetiva a influência do material e do tipo de perfil adotado no desempenho global da estrutura.

Os resultados obtidos demonstraram que a estrutura concebida integralmente em aço ASTM A36 apresentou custo total de R\$ 32.865,47, enquanto a solução predominantemente executada em aço ASTM A572 Gr.50 resultou em um custo global de R\$ 20.446,77, o que representa uma redução de aproximadamente 37,78%. Essa expressiva economia está diretamente associada à maior resistência ao escoamento do aço A572, que possibilitou a adoção de perfis com menores áreas de seção transversal. Como consequência direta dessa otimização, observou-se também uma redução significativa do peso próprio da estrutura, que passou de 1.081,10 kg na solução em aço ASTM A36 para 862,74 kg na solução em aço ASTM A572 Gr.50, correspondendo a uma diferença de aproximadamente 20,20%.

Do ponto de vista estrutural, verificou-se que todos os elementos dimensionados em aço ASTM A572 atenderam aos estados limites últimos de resistência e de estabilidade, com especial destaque para os elementos comprimidos, nos quais a redução da esbeltez, aliada ao aumento da tensão resistente, permitiu a utilização de seções mais eficientes. Ademais, a utilização de perfis laminados, tanto os perfis W quanto os perfis duplo L, mostrou-se vantajosa em relação aos perfis formados a frio, devido à maior regularidade geométrica, à existência de propriedades mecânicas e geométricas tabeladas, à maior confiabilidade nos valores de raio de giração e momento de inércia, além da simplificação dos procedimentos de dimensionamento.

Sob o aspecto construtivo, constatou-se ainda que os perfis laminados proporcionam maior produtividade na fabricação e montagem, em razão da eliminação de etapas adicionais de dobra, da redução de soldas de composição e do melhor controle dimensional, o que se reflete diretamente na diminuição do custo de fabricação. Associado a isso, o menor custo por quilograma do aço ASTM A572 praticado no mercado regional contribuiu de forma decisiva para a redução do custo final da estrutura.

Dessa forma, conclui-se que a utilização do aço ASTM A572 Gr.50 em perfis laminados constitui a alternativa tecnicamente mais eficiente e economicamente mais vantajosa para a treliça estudada, garantindo segurança estrutural, racionalização do consumo de material e redução significativa tanto do peso próprio quanto dos custos globais de execução. Os resultados obtidos corroboram a aplicabilidade dos aços de alta resistência em estruturas metálicas, demonstrando que sua utilização, quando corretamente dimensionada e associada a soluções construtivas adequadas, conduz a projetos estruturalmente mais eficientes e economicamente mais competitivos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800:**

Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas aço concreto. Rio de Janeiro: 2008, ABNT.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço:** dimensionamento prático. 9. ed. Rio De Janeiro: Livros Técnicos E Científicos, 2021.

BEZERRA, Ulisses. Aula 04 – **Dimensionamento à tração**. Notas de aula – Disciplina de Estruturas Metálicas e de Madeira. Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025.

BEZERRA, Ulisses. Aula 05 – **Dimensionamento à compressão**. Notas de aula – Disciplina de Estruturas Metálicas e de Madeira. Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025.

FERREIRA, L. J. **Redução de massa estrutural com uso de aços de alta resistência**. Revista Construmetal, v. 29, n. 4, 2021.

BELLEI, I. H. **Edifícios industriais em aço:** projeto e cálculo. São Paulo: Pini, 2024.

Perfil Estrutural | Gerdau. Disponível em:

<https://gsn.gerdau.com/pt-br/produtos/perfil-estrutural-gerdau>>. Acesso em: 25 ago. 2025

Perfil L - Cia do Ferro. Disponível em: <<https://ciadoferro.com.br/perfil-l/>>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SKYCIV PLATFORM. SkyCiv Platform [software / plataforma on-line]. Disponível em:

<https://platform.skyciv.com/dashboard>. Acesso em: 30 nov. 2025.

HIBBELER, R. C. **Mecânica para Engenharia:** Estática. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HIBBELER, R. C. **Análise Estrutural**. 9. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

GERDAU. **Manual de perfis laminados** – Série W, I, U e L. Porto Alegre: Gerdau Aços Longos, s.d.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A36/A36M** – Standard Specification for Carbon Structural Steel. West Conshohocken, PA, USA, ASTM International.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A572/A572M** – Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel. West Conshohocken, PA, USA, ASTM International.

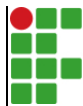
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14762:** Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: 2010, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681:** Ações e segurança nas estruturas - procedimento. Rio de Janeiro: 2003, ABNT.

O CALCULISTA DE AÇO. Tabela – Cantoneira laminada de abas iguais. Disponível em:

<https://calculistadeaco.com.br/tabela-cantoneira-laminada-de-abas-iguais/>. Acesso em: 05 nov. 2025

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. M. **Theory of elastic stability**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1961.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Entrega TCC

Assunto:	Entrega TCC
Assinado por:	Lenildo Soares
Tipo do Documento:	Tese
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Lenildo Soares da Silva Junior, DISCENTE (202112220035) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - JOÃO PESSOA**, em 28/07/2026 16:54:22.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/07/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1928533

Código de Autenticação: db9113b229

