

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Curso de Engenharia Mecânica

Avaliação do uso do *software CYPE*  
*3D* no dimensionamento de  
Estruturas Metálicas

por

João Lopes Cardoso Filho

Goiânia

2024



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**

### **TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

#### **Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese                                        | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação                  | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |                                                         |

Nome Completo do Autor: João Lopes Cardoso Filho

Matrícula: 20192010970190

Título do Trabalho: Avaliação do uso do *software CYPE3D* no dimensionamento de estruturas metálicas

#### **Autorização - Marque uma das opções**

1. ( X ) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ( ) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (Embargo);
3. ( ) Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ( ) O documento está sujeito a registro de patente.  
( ) O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.  
( ) Outra justificativa: \_\_\_\_\_

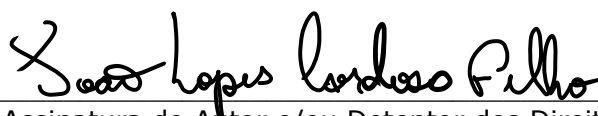
### **DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 01 / 10 / 2024.  
Local \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**



---

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

João Lopes Cardoso Filho

# Avaliação do uso do *software CYPE* *3D* no dimensionamento de Estruturas Metálicas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Corpo Docente do Curso de bacharelado em Engenharia Mecânica - Departamento de Áreas Acadêmicas IV - IFG/Câmpus Goiânia, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

**Área de concentração:** Estruturas Metálicas

**Orientador:** Prof. Dr. Marco Aurélio Brazão Costa Badan

Goiânia

2024

C268a Cardoso Filho, João Lopes.

Avaliação do uso do software CYPE 3D no dimensionamento de estruturas metálicas / João Lopes Cardoso Filho. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2024.

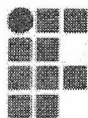
86f.

Orientação: Prof. Dr. Marco Aurélio Brazão Costa Badan.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Estruturas metálicas. 2. Programas de computador. I. Badan, Marco Aurélio Costa (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 624.182



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
CÂMPUS GOIÂNIA

## **ATA Nº 015/2024-1 – Disciplina TCC 2**

### **SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

No dia 02 de outubro de 2024, às 8:00 horas, foi realizada a sessão pública de apresentação e DEFESA do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **“Avaliação do uso do software CYPE 3D no dimensionamento de Estruturas Metálicas”** de autoria do acadêmico:

**JOÃO LOPES CARDOSO FILHO (MATRÍCULA: 20192010970190)**

do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica, reconhecido pela Portaria/SRSES/MEC/Nº 309, de 28/04/2015, D.O.U. de 29/04/2015, Seção 1, p.33, como requisito para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, sendo a banca composta pelos seguintes membros:

Professor(a) Dr(a). MARCO AURÉLIO BRAZÃO COSTA BADAN Orientador

Professor(a) Me(a). FÚDIO MATSUURA

Esp. Jânio de Oliveira Curvo

Após a apresentação, os autores foram arguidos pela banca examinadora, cujo parecer final foi:

Nota: ( 9,5 )

( ☒ ) **Aprovado em TCC 2** ( ☐ ) **Reprovado em TCC 2**

A presente ata foi lavrada após encerrar-se a sessão, sendo assinada pela banca examinadora.

#### **COMENTÁRIOS DA BANCA:**

A aprovação fica condicionada às correções indicadas pela banca de TCC, e devem ser realizadas no prazo de 20 dias.

Assinatura da Banca:

MARCO AURÉLIO BRAZÃO COSTA BADAN

FÚDIO MATSUURA

*Fúdio Matsuura*

Jânio de Oliveira Curvo

Goiânia, 02 de outubro de 2024.

COMENTÁRIOS DA COORDENAÇÃO:

Coordenação de Engenharia Mecânica

Documento assinado eletronicamente por:

- Fúdio Matsuura, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/10/2024 19:25:40.
- Marco Aurelio Brazao Costa Badan, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/10/2024 15:58:26.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 572466

Código de Autenticação: 2ea22acd32



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110  
Sem Telefones cadastrados

# Agradecimentos

A Deus por ter me dado saúde, força e perserverança para transpor as dificuldades. À minha família por me ajudar nesta empreitada e ser compreensiva comigo por ter tido alguns momentos de ausência para estudo e pesquisa. Ao prof Dr Marco Aurélio Brazão Costa Badan pelas orientações, estímulo e paciência que me proporcionou com certeza uma ampliação de visão não somente físico-matemática mas também tecnológica. Aos meus professores que foram bastante receptíveis e amigáveis e que juntamente com meus nobres colegas de sala de aula propiciaram um ambiente pedagógico muito agradável.

# Dedicatória

*À minha família*

# Resumo

A motivação para o presente trabalho provém da ampliação dos conhecimentos ligados à estruturas de aço e de programação, aliando-se o dimensionamento de perfis laminados, a análise de *softwares* que otimizem os resultados. Acrescido desse interesse, tanto o uso de *softwares* para o dimensionamento, quanto a otimização de estrutura, são assuntos que vêm ganhando relevância em projetos de estruturas metálicas, com soluções competitivas e seguras desde que bem avaliadas. Nesse contexto, este trabalho visa realizar uma análise dos elementos que compõem a utilização de softwares para o dimensionamento de elementos estruturais e sua relação com os projetos teóricos mais relevantes da Engenharia, quando aplicado em uma empresa de projetos, fabricação e montagem de estruturas metálicas.

Palavras-chaves: Estruturas Metálicas.

# Abstract

The motivation for this work comes from the expansion of knowledge related to steel structures and programming, combining the sizing of rolled profiles and the analysis of software that optimize results. In addition to this interest, both the use of software for desing and structure optimization are subjects that are gaining relevance in metallic structures, with competitive and safe solutions as long as they are well evaluated. In this context, this work aims to carry out an analysis of the elements that make up the use of software for the design of structural elements and their relationship with the most relevant theoretical projects in Engineering, when applied in a company that designs, manufactures and assembles metallic structures.

Keywords: steel structure.

# Sumário

|          |                                                               |           |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                             | <b>1</b>  |
| 1.1      | Justificativa . . . . .                                       | 3         |
| 1.2      | Objetivos . . . . .                                           | 3         |
| 1.2.1    | Objetivo geral . . . . .                                      | 3         |
| 1.2.2    | Objetivos específicos . . . . .                               | 3         |
| <b>2</b> | <b>Revisão de Literatura</b>                                  | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>Metodologia</b>                                            | <b>8</b>  |
| 3.1      | Considerações de Projeto . . . . .                            | 9         |
| 3.1.1    | Dimensões . . . . .                                           | 9         |
| 3.1.2    | Cargas Atuantes . . . . .                                     | 9         |
| 3.1.3    | Combinação de ações . . . . .                                 | 11        |
| 3.1.4    | Verificação de resistência . . . . .                          | 11        |
| 3.1.5    | Deslocamentos máximos . . . . .                               | 12        |
| 3.1.6    | Vigas resistentes a momento fletor e força cortante . . . . . | 13        |
| 3.1.7    | Colunas axialmente comprimidas de aço . . . . .               | 14        |
| 3.2      | Tipos de Ligações . . . . .                                   | 15        |
| <b>4</b> | <b>O Método Analítico</b>                                     | <b>17</b> |
| 4.1      | Dimensionamento das vigas secundárias (VS) . . . . .          | 18        |
| 4.1.1    | Cargas Permanentes . . . . .                                  | 19        |
| 4.1.2    | Cargas Acidentais-Sobrecarga . . . . .                        | 19        |
| 4.1.3    | Combinações para estados limites últimos (ELU) . . . . .      | 19        |

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
|                                                                   | x         |
| 4.1.4 Verificação do Estado Limite de Serviço - E.L.S . . . . .   | 22        |
| 4.2 Dimensionamento das vigas principais de bordo (VP1) . . . . . | 23        |
| 4.2.1 Verificação do Estado Limite de Serviço - E.L.S . . . . .   | 25        |
| 4.3 Dimensionamento das vigas principais de centro . . . . .      | 26        |
| 4.3.1 Verificação do Estado Limite de Serviço - E.L.S . . . . .   | 28        |
| 4.4 Dimensionamento dos pilares . . . . .                         | 29        |
| 4.5 Perfis Utilizados . . . . .                                   | 33        |
| <b>5 O Método Computacional</b>                                   | <b>35</b> |
| 5.1 Lançamento da Estrutura . . . . .                             | 35        |
| 5.2 Lançamento dos carregamentos . . . . .                        | 36        |
| 5.3 Inserção de parâmetros para cálculo da estrutura . . . . .    | 37        |
| 5.4 Cálculo da Estrutura . . . . .                                | 38        |
| 5.5 Verificação da Estrutura . . . . .                            | 39        |
| <b>6 Resultados e Discussões</b>                                  | <b>40</b> |
| 6.1 Comparação entre elementos . . . . .                          | 41        |
| <b>7 Conclusão</b>                                                | <b>42</b> |
| <b>8 Apêndice</b>                                                 | <b>43</b> |
| <b>Referências</b>                                                | <b>85</b> |

# Capítulo 1

## Introdução

Devido ao seu alto grau de industrialização, as estruturas de aço oferecem inúmeras vantagens, tanto na construção de edificações de grande porte, comerciais ou industriais, como para obras menores, como mezaninos. Usados normalmente como estruturas internas de edificações já existentes, os mezaninos requerem que os elementos constituintes de suas estruturas sejam peças leves, de fácil e rápida montagem, e que permitam uma obra livre de poeira e entulhos (em muitos casos, são executadas em espaços comerciais sem que haja interrupção das atividades). Desse modo, tornou-se bastante comum a utilização de vigas e pilares de aço compondo a estrutura principal e painéis de madeira no piso.

Mezanino, para efeito das disposições do COE (Código de Obras e Edificações), é o pavimento intermediário entre dois andares, que pode ocupar área máxima entre um terço e metade da área do piso da loja, dependendo da legislação vigente de cada Município. O mezanino não é considerado na área total da edificação.

É fácil imaginar a importância da adaptabilidade da estrutura nessas situações, bem como sua necessária pré-fabricação, o que ratifica a utilização do aço como escolha natural.

As cargas atuantes em uma edificação são normalmente definidas com base em normas técnicas. Essas normas fixam as condições para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto das estruturas para qualquer que seja o destino, salvo os casos previstos em normas especiais. Nelas, as cargas são classificadas

em permanentes e acidentais. As cargas permanentes são as representadas pelo peso próprio de todos os elementos da construção permanentemente suportados pela estrutura, como pisos, paredes fixas, estrutura propriamente, forros, escadas, revestimentos, acabamentos, elementos fixos e instalações. Cargas acidentais são todas aquelas que atuam sobre a edificação em função de seu uso, estipuladas para cada fim de utilização, que consideram normalmente o peso das pessoas, objetos e materiais estocados. Em edificações onde é permitida a construção de mezaninos em seus pavimentos, as cargas oriundas destes são consideradas como carga de utilização, ou seja, fazem parte da parcela de cargas acidentais previstas no projeto das estruturas que irão recebê-los. Nesse contexto, a escolha dos materiais que compõem o mezanino é de grande importância, pois eles influenciam não só o dimensionamento dos elementos estruturais do mezanino como definem também o limite das cargas de utilização no plano do mezanino. Estas, somadas ao peso próprio de todos os elementos, não poderão ultrapassar os limites estabelecidos no projeto da edificação. Devem-se utilizar as seguintes normas para dimensionamento desse tipo de estrutura:

- NBR 6120/80 - Cargas para o Cálculo de Estruturas;
- NBR 8800/08 - Projeto e Execução de Estruturas de Aço em Edifícios (Métodos dos Estados-Limite);
- NBR 14432/00 - Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações.

Com o acelerado desenvolvimento de novas tecnologias da informação e da comunicação e sua utilização no processo de projeto, é inegável o impacto de tal inovação no setor da construção industrializada. Os softwares utilizados em cálculo de estruturas, auxiliam tanto na obtenção de desenvolvimento de análises numéricas como em representações gráficas, sustentando uma compreensão do comportamento da estrutura. A análise estrutural basicamente determina os esforços e deslocamentos gerados pelas ações atuantes na estrutura. Para o engenheiro, utilizar os métodos manuais de análise estrutural demanda um tempo excessivo devido à complexidade das situações, tornando o processo inviável para a maioria dos problemas no dia - a - dia, o que motiva o emprego de métodos computacionais.

Nesse contexto, este trabalho visa realizar uma análise dos elementos que compõem a utilização do *software Cype3D* para o dimensionamento de elementos estruturais de um mezanino industrial utilizado como casa de máquinas e sua relação com os projetos teóricos.

## 1.1 Justificativa

A motivação para o presente trabalho provém da ampliação dos conhecimentos ligados à estruturas de aço e de programação, aliando-se o dimensionamento de perfis laminados, a análise de *softwares* que otimizem os resultados. Acrescido desse interesse, tanto o uso de *softwares* para o dimensionamento, quanto a otimização de estrutura, são assuntos que vêm ganhando relevância em projetos de estruturas metálicas, com soluções competitivas e seguras desde que bem avaliadas.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Realizar a avaliação dos *softwares CYPE 3D* no dimensionamento de uma estrutura de mezanino industrial, utilizando perfis laminados, respeitando os critérios de normas que regem o problema, como, ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios e ABNT NBR 6120:1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Explicitar o conteúdo proposto, através de pesquisa bibliográfica que permita entender a linha de pesquisa;
- Desenvolver o procedimento proposto, do estudo de caso a respeito de um mezanino;
- Desenvolver procedimentos no dimensionamento dos elementos estruturais da estrutura para verificação destes elementos conforme as normas;
- Demonstrar os resultados de um estudo de um mezanino.

## Capítulo 2

# Revisão de Literatura

Esta breve revisão consiste em demonstrar a concepção teórica para fundamentar o dimensionamento de uma estrutura metálica de pequeno porte. Com o progresso tecnológico da siderurgia, a utilização de estruturas metálicas na construção de edificações, sejam residenciais, comerciais ou industriais, vem sendo cada vez mais utilizadas no Brasil. Uma das principais razões é a facilidade de construção e organização do canteiro de obras, possibilitando construções mais rápidas e com menor desperdício financeiro e de material. Outra vantagem está na compatibilidade com diversos tipos de materiais, como madeiras, tijolos, lajes, painéis e muitos outros. A estrutura metálica abordada neste trabalho apresenta elementos simples de concepção, como vigas, pilares e terças. Para que a estrutura suporte as necessidades em que é submetida em sua vida útil, são utilizados cálculos para seu dimensionamento de acordo com as determinações da norma NBR 8800:2008.

A definição do sistema estrutural do dimensionamento inicia-se pelo levantamento das cargas, posteriormente o dimensionamento dos elementos estruturais, a exemplo de vigas para a sustentação de cargas. Estas vigas, em suas reações, transferem os esforços para o pórtico principal, no qual é dimensionado na sequência. Este pode ser definido a partir da avaliação do projeto.

A definição do sistema estrutural consiste na concepção do modelo a ser dimensionado (PFEIL - PFEIL, 2022). Os elementos estruturais podem ser concebidos por modelos planos de elementos (tirantes, colunas, vigas) que formam pórticos, ligados

por solda, parafusos, etc. Compostos elementos secundários "sistema de pisos para edificações" (vigas, chapas *steel deck* etc.)

Os elementos que normalmente compõem uma estrutura metálica, que atendem a NBR 8800/2008 e satisfazem a necessidade deste trabalho são elementos de aço do tipo laminado, soldado e forjado. Estes podem ser identificados por sua:

- Geometria definida (perfil, barras, chapa);
- Composição química;
- Propriedades mecânicas.

Segundo a obra de (PFEIL - PFEIL, 2022) existem dois métodos normalmente aplicados para cálculo estrutural, o métodos das tensões admissíveis e o método dos estados limites. A norma NBR 8800:2008 baseia-se no método dos estados limites, que essencialmente é fundamentada pela norma americana *AISC-LFRD* (2005), outrossim as normas canadenses e europeia também se utilizam do método de estado limites, *CAN/CSA 516-01* e *EUROCODE3*, paralelamente existe uma norma americana em vigor baseada no método das tensões admissíveis *ANSI/AISC 360-05*, todas essas com objetivos que dar diretriz sobre projetos de estruturas metálicas. O dimensionamento de estruturas utilizando o método das tensões admissíveis presente em diversas literaturas, como o livro Resistência dos Materiais de autoria de Hibbeler (2004) considera o dimensionamento satisfatório quando a máxima tensão de serviço é inferior a tensão resistente reduzida por um único coeficiente de segurança. Os esforços solicitantes a partir dos quais se calcula as tensões admissíveis do material é obtida através do regime elástico da estrutura e o coeficiente de segurança engloba várias características em um único número, sem analisar ponderadamente as variadas situações existentes (PINHEIRO, 2005). Erros na montagem da estrutura, variação da carga em sua utilização, uso inadequado, cargas originárias do peso próprio dos componentes estruturais, carga oriundas da ocupação, corrosão, perfis fora de simetria, dentre outros, são algumas das situações que ocorrem com frequências diferentes durante a vida útil de uma estrutura, portanto é importante realizar uma análise distinta de cada efeito (PINHEIRO, 2005) e (PFEIL - PFEIL, 2022).

O método de dimensionamento de estado limite, ou simplesmente o estado limite de uma estrutura ocorre quando esta deixa de cumprir os seus dois objetivos, suportar

as cargas de trabalho e proporcionar conforto ao usuário. O primeiro tipo, limite último, está associado a ocorrência de cargas excessivas e portanto a falha da estrutura, como por exemplo a plastificação total de um elemento estrutural ou de uma seção, a ruptura de uma ligação ou seção, a flambagem em regime plástico e a ruptura por fadiga. O segundo tipo também conhecido como estado limite de serviço está associado as cargas que induzem deformações e vibrações excessivas, porém não proporcionam instabilidade estrutural. Desta maneira a garantia de segurança de uma estrutura não está somente em resistir as cargas de trabalho, mas também em proporcionar uma ocupação que gere confiança do seu usuário. Este método considera as incertezas de forma mais racional que o método das tensões admissíveis, contemplando as reservas de resistência após o início do regime plástico do material e indicando diferentes coeficientes de segurança para situações distintas (PFEIL - PFEIL, 2022).

O *Ftool* é um programa para análise estrutural de abordagem simples e eficiente, inicialmente desenvolvido com foco educacional e atualmente é bastante utilizado para projetos profissionais de estruturas. O *software* analisa um modelo estrutural fornecendo diagramas de esforço internos, bem com as deformações apresentadas. Em sua biblioteca existem os principais perfis estruturais utilizados na indústria, seções do tipo T, L, U e I com todas as suas informações geométricas.

Para este trabalho o *Ftool* desenvolverá um papel importante na determinação dos esforços de compressão, cisalhamento e flexão, de acordo com o tipo de ligação utilizada, além de apresentar o deslocamento vertical máximo para as vigas de projeto fornecendo as informações iniciais para a comparação com os valores resistentes.

O *software CYPE 3D* é composto por diversos recursos para concepção estrutural de edifícios. O *software* de cálculo estrutural possui ferramentas específicas em cada etapa do projeto de cálculo estrutural com lançamento pilares metálicos, pilares mistos de concreto e aço, vigas metálicas e mistas com conectores, etc. O *CYPE 3D* já vem com as normas brasileiras atuais como a ABNT NBR 14762:2010 para as estruturas metálicas em perfis dobrados, NBR 8800:2008 em perfis laminados entre outras. No *CYPE 3D* também é disponibilizada a norma brasileira de vento NBR 6123:2023 onde podemos habilitar as opções de efeitos de segunda ordem.

Após o cálculo da estrutura, no *CYPE 3D* são apresentadas diversas ferramentas de análise de resultados apresentando diagramas de cortante, momento, deformação,

taxa de armadura, tensões, etc. Poderá também visualizar a tela de isovalores e a tela de deformada criando automaticamente a animação de deformação da estrutura.

O *CYPE 3D* oferece diferentes modos de utilização dos seus programas: a Versão de avaliação, a Licença temporária, Versão Campus e a Versão profissional. A Versão Campus dos programas de *CYPE 3D* foi especialmente concebida para trabalhar nas redes públicas do ensino superior que funcionam sobre as licenças de *Eduroam* (*education roaming* - iniciativa a nível internacional para criar um espaço único de mobilidade segura nas redes de âmbito académico e de investigação). Nesse trabalho será utilizado o programa *CYPE 3D* versão 2024, disponibilizado para fins educativos, pela empresa EngMed Engenharia.

## Capítulo 3

### Metodologia

Este estudo tem como propósito específico calcular e dimensionar, analiticamente e computacionalmente, um mezanino industrial metálico de acordo com a NBR 8800:2008 e consequentemente utilizando o método dos estados limites, destacando as variáveis relevantes em um projeto de estrutura metálica, os principais detalhes construtivos, cotas dos componentes estruturais, assim como uma análise quantitativa dos materiais envolvidos. O mezanino a ser calculado é representado a figura (3.1) abaixo:

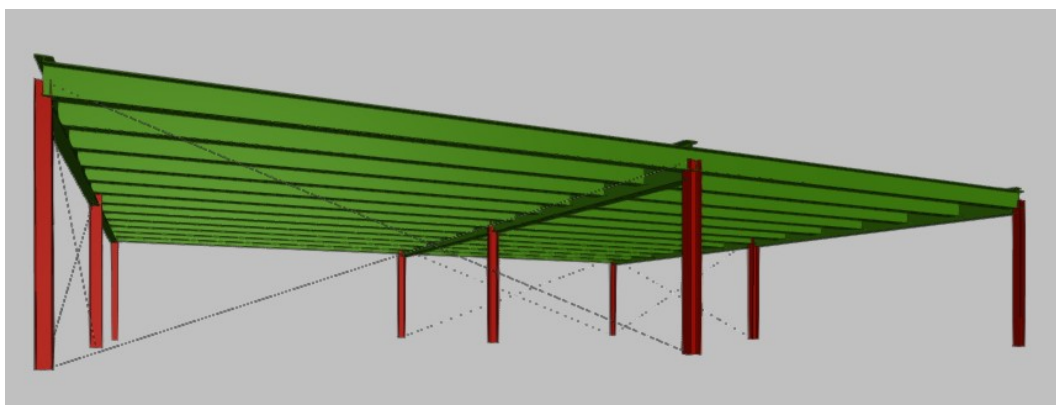


Figura 3.1: Mezanino.

## 3.1 Considerações de Projeto

Em um projeto estrutural todos os fatores devem ser tratados de maneira integrada, portanto consideram-se todos os fatores que possam influenciar na estrutura, como dimensões, cargas atuantes, flexão, compressão, flexo-compressão, entre outros.

### 3.1.1 Dimensões

O dimensionamento de uma estrutura metálica parte da confecção do esboço no qual é exibida a configuração da estrutura e seus elementos, suas grandezas, características dimensionais, cargas e os locais de aplicação considerados. O pavimento será composto por pilares, vigas principais, vigas secundárias em aço estrutural ASTM A36 com perfis laminados Gerdau e placas de madeira tipo painel wall, conforme Figura (3.2).

- Vão Livre - Viga Secundária ( $L_{VS}$ ) 8.500 mm
- Vão Livre - Viga Principal ( $L_{VP}$ ) 7.500 mm
- Espaçamento entre vigas secundárias 1.250 mm

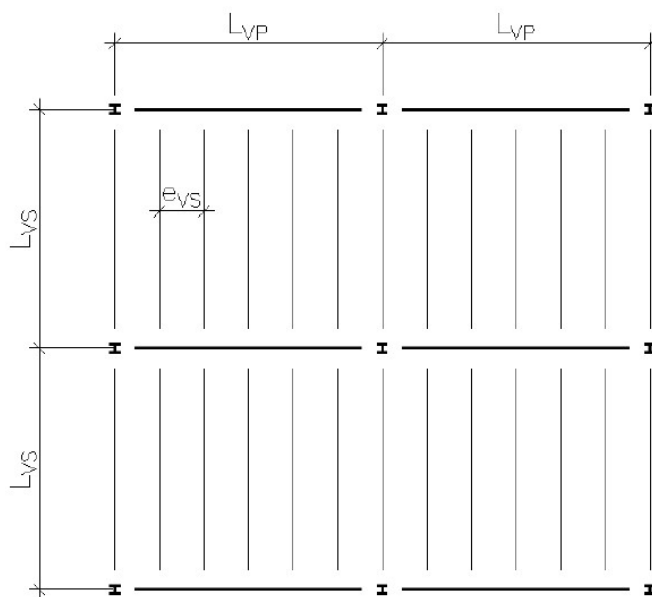


Figura 3.2: Planta Baixa do Mezanino.

### 3.1.2 Cargas Atuantes

As cargas atuantes em uma edificação são normalmente definidas com base em normas técnicas. Essas normas fixam as condições para determinação dos valores das cargas

que devem ser consideradas no projeto das estruturas para qualquer que seja o destino, salvo os casos previstos em normas especiais.

Nelas, as cargas são classificadas em permanentes e acidentais. As cargas permanentes são as representadas pelo peso próprio de todos os elementos da construção permanentemente suportados pela estrutura, como pisos, paredes fixas, estrutura propriamente, forros, escadas, revestimentos, acabamentos, elementos fixos e instalações. Cargas acidentais são todas aquelas que atuam sobre a edificação em função de seu uso, estipuladas para cada fim de utilização, que consideram normalmente o peso das pessoas, objetos e materiais estocados.

Em edificações onde é permitida a construção de mezaninos em seus pavimentos, as cargas oriundas destes são consideradas como carga de utilização, ou seja, fazem parte da parcela de cargas acidentais previstas no projeto das estruturas que irão recebê-los.

Nesse contexto, a escolha dos materiais que compõem o mezanino é de grande importância, pois eles influenciam não só o dimensionamento dos elementos estruturais do mezanino como definem também o limite das cargas de utilização no plano do mezanino. Estas, somadas ao peso próprio de todos os elementos, não poderão ultrapassar os limites estabelecidos no projeto da edificação.

Serão utilizadas as seguintes normas para o dimensionamento da da estrutura NBR 6120:2019 - Cargas para o Cálculo de Estruturas e NBR 8800:2008 - Projeto e Execução de Estruturas de Aço em Edifícios (Métodos dos Estados-Limite)

Sendo assim serão considerados os seguintes carregamentos no pavimento:

- Peso próprio (Estimado) -  $0,40 \text{ KN/m}$ ;
- Pannel Wall 55mm -  $0,38 \text{ KN/m}^2$ ;
- Revestimento (Tabela 4-ABNT NBR 6120:2019) -  $1,0 \text{ KN/m}^2$ ;
- Ação Variável - Casa de Máquinas/Sala de *no-breaks*\*\* -  $7,5 \text{ KN/m}^2$ .

\*\* A ação variável foi definida a partir das informações indicadas na Tabela 10 da ABNT NBR 6120:2019.

### 3.1.3 Combinação de ações

A partir de uma estrutura pré-dimensionada, é possível realizar um procedimento de análise. A norma NBR 8800:2008 apresenta equações para realizar a combinação das ações existentes na estrutura. Para as combinações últimas normais (Eq. 3.1), especiais (Eq. 3.2) e excepcionais (Eq.3.3) temos:

$$F_d = \sum \gamma_{gi} G_{ik} + \gamma_{q1} Q_{lk} + \sum \gamma_{qj} \Psi_{0j} Q_{jk} \quad (3.1)$$

$$F_d = \sum \gamma_{gi} G_{ik} + \gamma_{q1} Q_{lk} + \sum \gamma_{qj} \Psi_2 Q_{jk} \quad (3.2)$$

$$F_d = \sum \gamma_{gi} G_{ik} + E + \sum \gamma_{qj} \Psi_2 Q_{jk} \quad (3.3)$$

Onde  $G_{ik}$  é o valor característico das ações permanentes,  $Q_{lk}$  é o valor característico da ação variável considerada como principal para a combinação,  $Q_{jk}$  o valor característico das demais ações variáveis que atuam na combinação,  $\Psi_{0j}$  é o coeficiente de combinação,  $\gamma_{gi}$  é o coeficiente de ponderação das ações permanentes e  $\gamma_{qi}$  é o coeficiente de ponderação das ações variáveis.

Para as combinações últimas de construção é aplicada a equação (Eq. 3.2), onde  $Q_{lk}$  será o valor da ação variável admitida como principal para situação transitória considerada. As combinações de serviço quase permanente (Eq.3.4), frequente (Eq. 3.5) e raras (Eq. 3.6) são expressas da seguinte forma:

$$F_{ser} = \sum G_{ik} + \Psi_2 Q_{lk} + \sum \Psi_{2j} Q_{jk} \quad (3.4)$$

$$F_{ser} = \sum G_{ik} + \Psi_1 Q_{lk} + \sum \Psi_{2j} Q_{jk} \quad (3.5)$$

$$F_{ser} = \sum G_{ik} + Q_{lk} + \sum \Psi_{1j} Q_{jk} \quad (3.6)$$

### 3.1.4 Verificação de resistência

Para dimensionar um elemento da estrutura metálica, seja qual for, é necessário assegurar que sua resistência de cálculo  $R_d$  seja maior que a resistência característica  $R_u$ . A NBR 8800:2008 aplica um fator de ponderação  $\gamma_m$  na resistência característica do material para obter a resistência de cálculo.

$$R_d = \frac{R_u}{\gamma_m} \quad (3.7)$$

O fator de ponderação é o produto de três parcelas. A primeira  $\gamma_{m1}$  refere-se à variabilidade da resistência dos materiais envolvidos. A segunda  $\gamma_{m2}$  considera a diferença entre a resistência do material no corpo de prova e na estrutura. Por fim, a terceira  $\gamma_{m3}$  considera os desvios gerados na construção juntamente com as aproximações de projeto. Dependendo do estado limite analisado, o fator de ponderação pode assumir valores diferentes. Aplicando o coeficiente no ELU, para aço estrutural, o valor de  $\gamma_m$ , segundo NBR 8800:2008, é obtido através do produto dos coeficientes  $\gamma_{a1}$  e  $\gamma_{a2}$ , estes representando  $\gamma_{m1}$  e  $\gamma_{m2}$ . O primeiro referente aos estados-limites últimos relacionados a escoamento, flambagem e instabilidade e o segundo à ruptura.

Os valores são obtidos através da tabela 1 e 2 da NBR 8800:2008, neste trabalho serão adotados os seguintes coeficientes de ponderação das ações e dos fatores de combinações:

- $\gamma_{g1} = 1,25$  - Peso próprio das estruturas metálicas;
- $\gamma_{g2} = 1,35$  - Peso próprio das estruturas moldadas *in loco*;
- $\gamma_{g3} = 1,40$  - Peso próprio dos revestimentos;
- $\gamma_q = 1,50$  - Ação variável de uso e ocupação;
- $\Psi_1 = 0,60$  - Locais com equipamentos que permanecem fixos.

Assim, as combinações de ações adotadas para verificações referentes ao ELU e ELS serão:

| COMBINAÇÃO | P. PRÓPRIO | P. WALL | REVESTIMENTO | A. VARIÁVEL |
|------------|------------|---------|--------------|-------------|
| ELU        | 1,25       | 1,35    | 1,40         | 1,50        |
| ELS        | 1,00       | 1,00    | 1,00         | 0,60        |

### 3.1.5 Deslocamentos máximos

A NBR 8800:2008 apresenta valores máximos de deslocamento para as partes de uma estrutura metálica. Esse valor fornecido será utilizado para a verificação do estado-limite de serviço de deslocamentos excessivos da estrutura. Os deslocamentos calcu-

lados serão comparados com as informações de vigas de cobertura a qual apresenta o deslocamentos vertical máximo  $\delta$  em função do comprimento ou altura do elemento.

$$\delta = \frac{L}{350}.$$

### 3.1.6 Vigas resistentes a momento fletor e força cortante

No dimensionamento de barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante, além da verificação de todos os estados limites de serviço aplicáveis, devem também ser verificadas se as condições do momento fletor solicitante de cálculo  $M_{Sd}$  são menores do que o momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$ , e se a força cortante solicitante de cálculo  $V_{Sd}$  é menor que a força cortante resistente de cálculo  $V_{Rd}$ . A figura (3.3), traz consigo um fluxograma para dimensionamento à flexão de perfis do tipo W e H, em que fica discriminável o parâmetro de esbeltez como fator inicial para o dimensionamento. Os esforços de cisalhamento suportados pelas vigas se apresentam de forma mais simples do que os de flexão, outrossim ocorrem apenas na alma do perfil. Sua principal variável é a utilização de enrijecedores transversais que otimizam a resistência dos componentes estruturais.

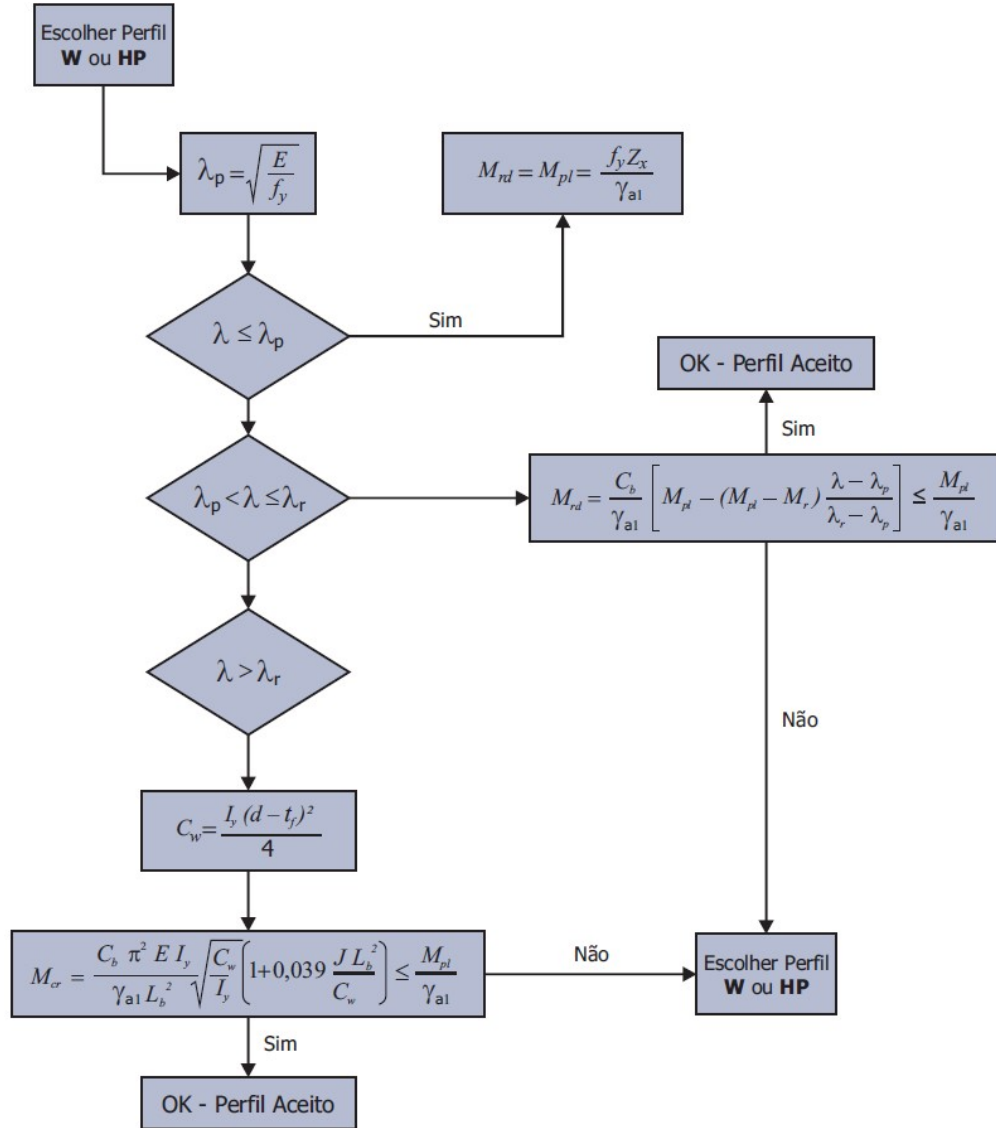


Figura 3.3: Fonte: D´Alembert e Lippi (2010).

### 3.1.7 Colunas axialmente comprimidas de aço

Os pilares serão dimensionados seguindo as recomendações da NBR 8800:2008 para barras prismáticas submetidas à força axial de compressão. A condição imposta pela norma é que a força axial de compressão solicitante de cálculo  $N_{c,Sd}$  seja menor que a força axial de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$ . O efeito da torção mediante a compressão do perfil foi desconsiderada para este trabalho referenciando em (PFEIL e PFEIL, 2022). Este afirma que o fenômeno de torção é comum em estruturas que adotam chapas finas dobradas, não sendo o caso desse projeto. A figura (3.4) abaixo transpõe a sequência do dimensionamento a compressão simplificado, considerando

os valores do fator de redução total igual a 1, para situação que a razão entre a largura e espessura do perfil sejam superiores a  $\frac{b}{t}$  e  $\frac{h}{t_w}$ , respectivamente. Como os pilares apoiam as vigas nas duas direções, X e Y, é indispensável analisar estruturalmente nos dois sentidos e escolher o menor como referência de projeto.

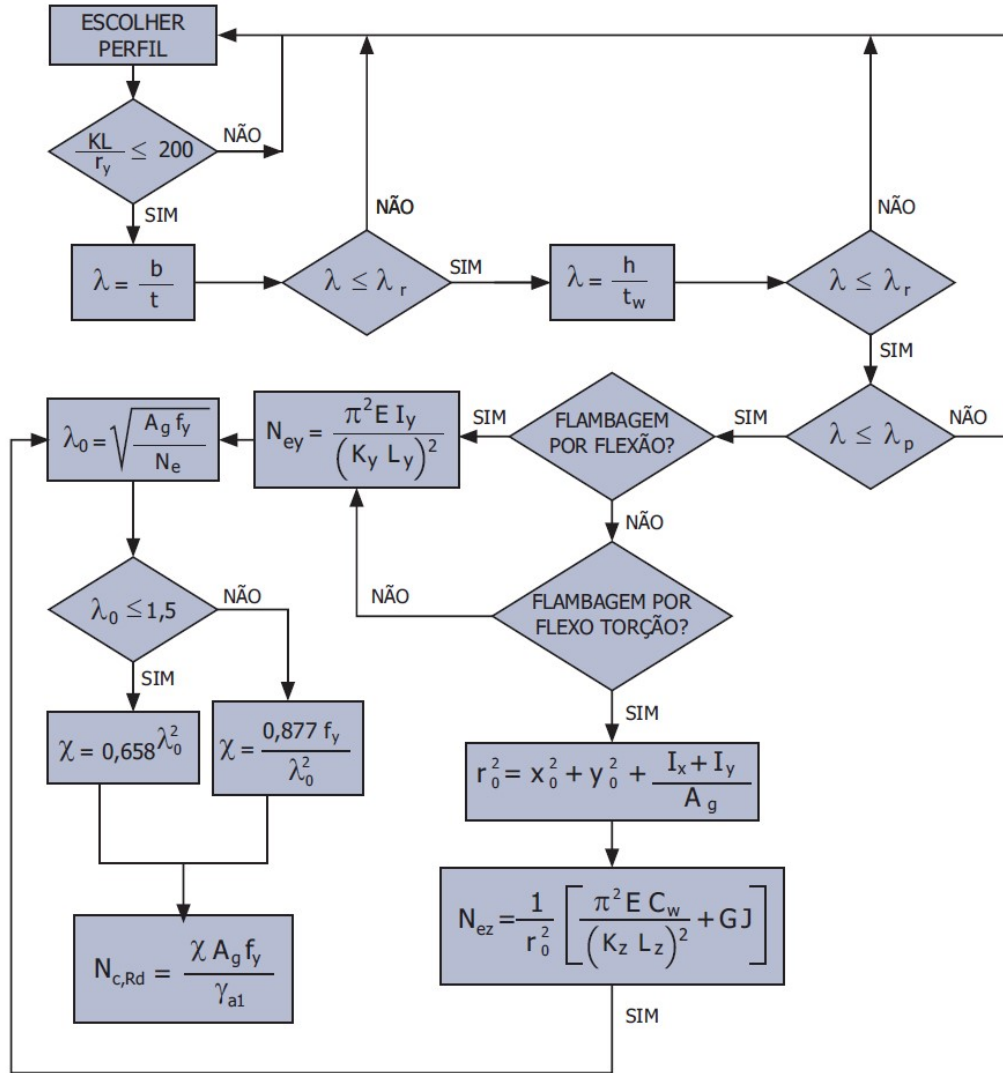


Figura 3.4: Fonte: D´Alembert e Lippi (2010).

## 3.2 Tipos de Ligações

Apesar de não dimensionar as ligações entre os elementos neste trabalho, traremos um breve comentária sobre o tema.

Segundo NBR 8800:2008, as ligações metálicas são constituídas por elementos de ligação, como, por exemplo, enrijecedores, chapas de ligação, cantoneiras e consolos.

Também pode ser constituída por meio de ligação como: soldas, parafusos, barras redondas rosqueadas e pinos.

Atualmente, existem três maneiras de se realizar essas uniões: através de soldas ou de parafusos e ainda, pela conjugação das duas. As mais empregadas para esse tipo de estrutura de pequeno porte são as ligações soldadas. Qualquer um dos métodos apresentados pode ser executado através de conexões flexíveis ou rígidas.

Para este trabalho foi adotado ligações soldadas entre as peças assim como em (SOUZA, 2022) temos que os eletrodos que são utilizados nas soldas por arco voltaico são varas de aço-carbono ou aço de baixa liga. Os eletrodos com revestimento são designados, segundo a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), por expressões E70XY (XEREZ NETO, 2020). Os principais tipos de eletrodos utilizados são E60XY com resistência  $f_w = 415 \text{ MPa}$  e E70XY com resistência de  $f_w = 485 \text{ MPa}$ .

# Capítulo 4

## O Método Analítico

O presente capítulo tem por objetivo apresentar o resultado do dimensionamento das partes metálicas que compõem um mezanino industrial. O primeiro passo a ser feito foi definir quais são as características da estrutura, pois estes são os dados de entrada para o projeto e seu porte. Se algum ponto nesta etapa não fica claro, o projeto inteiro será comprometido. Em seguida, classificamos a estrutura de acordo com a norma vigente. Este também é um passo fundamental, visto que aqui são definidas suas classes e grupos (que causam impactos diretos nos fatores de segurança da estrutura).

Definida as características e sua classificação, inicia-se o dimensionamento, que é baseado na metodologia de resistência dos materiais apresentada em Hibbeler. Constrói-se o modelo unifilar da estrutura que contém todas as solicitações presentes na estrutura: peso próprio, entre outros os quais são majoradas pelo coeficiente de majoração contidos na norma NBR 8800:2008, trazendo condições específicas para elementos estruturais submetidos a ações estáticas e para elementos sujeitos à fadiga. Na estrutura dimensionada não serão consideradas ações dinâmicas.

O índice de esbeltez  $\lambda$ , segundo (BELLEI-PINHO-PINHO, 2008), é a relação entre o comprimento efetivo de flambagem e o raio de giração mínimo da seção transversal. Ele irá ponderar o quão suscetível a barra é aos efeitos da flambagem. (PFEIL - PFEIL, 2022) classificam as seções das vigas em três classes, seções compactas, semicompactas e esbeltas. As seções compactas são as que atingem o momento de plastificação. Seções semicompactas são as que a flambagem local ocorre após a plastificação parcial. As

seções esbeltas são as que a flambagem local impede que o momento de plastificação seja atingido.

A partir da teoria apresentada anteriormente, será dimensionado um modelo real, conforme descrito, no capítulo anterior, de um pavilhão industrial com estrutura em aço aplicando todos os conceitos vistos anteriormente e que estão subtendidos na NBR 8800:2008. Iniciaremos o dimensionamento pelas vigas secundárias que serão consideradas bi-apoiadas nas vigas primárias e estas nos pilares, figura (4.1).

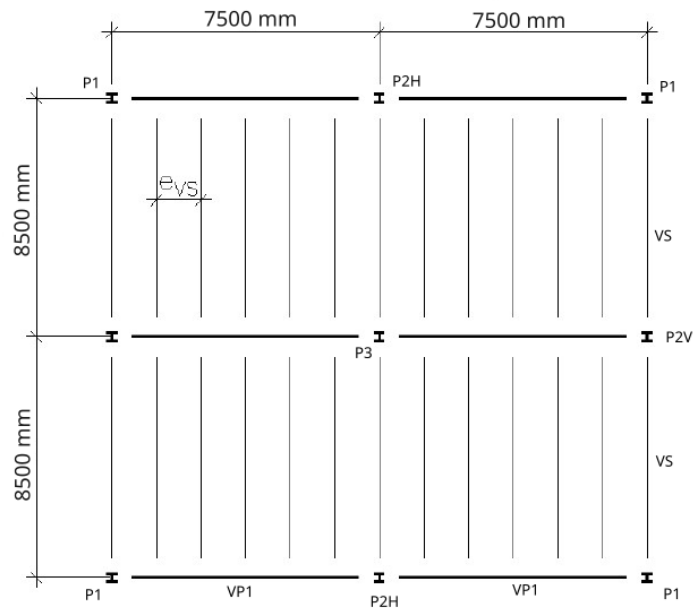


Figura 4.1: Planta Baixa.

## 4.1 Dimensionamento das vigas secundárias (VS)

Para o cálculo dos carregamentos das vigas, foram utilizados os seguintes coeficientes de ponderação das ações:

- $\gamma_{g1} = 1,25$  - Peso próprio das estruturas metálicas;
- $\gamma_{g2} = 1,35$  - Peso próprio das estruturas moldadas *in loco*;
- $\gamma_{g3} = 1,40$  - Peso próprio dos revestimentos;
- $\gamma_q = 1,50$  - Ação variável de uso e ocupação;

Conforme citado em capítulos anteriores serão considerados os seguintes carregamentos:

### 4.1.1 Cargas Permanentes

- Peso próprio (Estimado) -  $0,40 \text{ KN/m}$ ;
- Painele Wall 55mm -  $0,38 \text{ KN/m}^2$ ;
- Revestimento (Tabela 4-ABNT NBR 6120:2019) -  $1,0 \text{ KN/m}^2$ ;

### 4.1.2 Cargas Acidentais-Sobrecarga

Conforme a NBR 6120:2019 o mínimo a ser considerado é para uma casa de máquinas é  $7,5 \text{ KN/m}^2$ .

### 4.1.3 Combinações para estados limites últimos (ELU)

Temos pela equação 3.1 que

$$F_d = \sum \gamma_{gi} G_{ik} + \gamma_{q1} Q_{lk} + \sum \gamma_{qj} \Psi_{0j} Q_{jk}.$$

Assim substituindo os coeficientes de ponderamento e as cargas acima citadas na devida área de influência de cada viga, temos:

$$F_d = 1,25 \times 0,4 + (1,35 \times 0,38 + 1,4 \times 1 + 1,5 \times 7,5) \times 1,25^*$$

$$F_d = 16,95 \text{ KN/m}.$$

\*A cota de 1,25 é relativa à área de influencia da carga sobre a estrutura.

### Momento fletor

Para a determinação do momento fletor, os elementos estruturais serão consideradas como vigas bi-apoiadas, assim o momento máximo é dado por:

$$M_{Sd} = \frac{F_d \times l^2}{8} = \frac{16,95 \times 8,5^2}{8} = 153,08 \text{ KNm}.$$

### Esforço cortante

$$V_{Sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{16,95 \times 8,5}{2} = 72,04 \text{ KN}.$$

Estes valores máximos são provenientes dos diagramas de momento fletor e de esforços cortante, conforme figura (4.2):



Figura 4.2: Diagramas de momento fletor e de esforços cortante.

### Pré-dimensionamento da seção transversal das vigas

Supondo seção compacta e utilizando a expressão que define o momento resistente de cálculo, temos:

$$M_{Rd} = \frac{Z_x \times f_y}{\gamma_m} \quad (4.1)$$

onde:

- $Z_x$  é o módulo resistente plástico;
- $f_y$  é o limite de escoamento do aço;
- $\gamma_m = 1,1$  conforme tabela 1.7 NBR 8800:2008.

Daí pela equação (4.1) temos que,

$$(Z_x)_{min} = \frac{M_{Sd} \times \gamma_m}{f_y} = \frac{153,08 \times 10^3 \times 1,1}{250 \times 10^6} = 673,55 \text{ cm}^3$$

### Escolha do perfil

A escolha do perfil será feita com base no Catálogo de perfis laminados da Gerdau Açoaminas (Catálogo no Apêndice), comparando a resistência plástica mínima exigida com a fornecida pelo fabricante. Portanto, o perfil escolhido será o **W410x38**, cuja as características da seção transversal são:

|                            |                                   |                                    |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| $d = 339 \text{ mm}$       | $b_f = 140 \text{ mm}$            | $t_w = 6,4 \text{ mm}$             |
| $t_f = 8,8 \text{ mm}$     | $h = 381 \text{ mm}$              | $A_g = 50,3 \text{ cm}^2$          |
| $I_x = 12777 \text{ cm}^4$ | $Z_x = 736,8 \text{ cm}^3$        | $r_x = 15,94 \text{ cm}$           |
| $W_x = 640,5 \text{ cm}^3$ | $\lambda_f = 7,95 \text{ (mesa)}$ | $\lambda_w = 55,84 \text{ (alma)}$ |

### Determinação da força cortante resistente de cálculo

Para as vigas secundárias temos que  $V_{Sd} = 72,04 \text{ KN}$  e para  $\lambda \leq \lambda_p$ , a resistência é dada pela plastificação total da seção devido ao esforço de cisalhamento:

$$V_{Rd} = \frac{A_w(0,6f_y)}{\gamma_{a1}} \quad (4.2)$$

em que:

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad \text{e} \quad A_w = d \cdot t_w$$

consideraremos  $k_v = 5,0$  para vigas sem enrijecedores intermediários. Portanto,

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{381}{6,4} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5 \cdot 20000}{25}} = 69,57 = \lambda_p \Rightarrow \lambda \leq \lambda_p$$

logo

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot A_w}{\gamma_{a1}} \Rightarrow V_{Rd} = 348,2 \text{ KN}.$$

### Verificação de flambagem local - FLM e FLA

Segundo (Pfeil - Pfeil, 2022), a flambagem local pode se manifestar na mesa comprimida pelo momento fletor ou na alma, conduzindo situações de estados limites de flambagem local da mesa (FLM) e flambagem local da alma.

Para a mesa temos que:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 7,95 \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{0,38}{20000}} = 10,7 \Rightarrow \lambda_f \leq \lambda_p,$$

e para a alma,

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,3 \Rightarrow \lambda_w \leq \lambda_p.$$

Portanto trata-se de uma seção compacta.

### Determinação do momento fletor resistente de dimensionamento

Para seções compactas temos que:

$$M_{Rd} = \frac{Z_x \times f_y}{\gamma_m}, \quad (4.3)$$

sendo assim para a viga em questão temos

$$M_{Rd} = 167,45 \text{ KN.m.}$$

Portanto, como o momento resistente pelo perfil é superior ( $M_{Rd} \geq M_{Sd}$ ) ao momento solicitante, o perfil atende os requisitos quanto ao momento fletor.

#### 4.1.4 Verificação do Estado Limite de Serviço - E.L.S

Segundo a NBR 8800:2008, item 4.7.7.3.2, devido a carga permanente atuar em toda vida da estrutura, podemos retirar os coeficientes de majoração das cargas permanentes e minorar as ações variáveis, para a verificação do estado limite de serviço. Assim o carregamento de cada viga secundária é dado pela equação (3.6):

$$F_{ser} = \sum G_{ik} + Q_{lk} + \sum \Psi_{1j} Q_{jk}$$

Assim substituindo as cargas acima citadas na devida área de influência de cada viga, temos:

$$F_{ser} = 0,4 + 0,38 \times 1,25 + 1 \times 1,25 + 0,6 \times 7,5 \times 1,25$$

$$F_{ser} = 7,75 \text{ KN/m.}$$

O deslocamento no meio do vão pode ser calculado pela expressão definida abaixo:

$$\delta = \frac{5.F_{ser}.L^4}{384.E.I} \quad (4.4)$$

$$\delta = 2,06 \text{ cm.}$$

De acordo com a NBR 8800:2008, tabela c.1, o deslocamento limite para uma viga de piso é  $L/350$ , então:

$$\delta_{min} = \frac{850}{350} = 2,43 \text{ cm.}$$

Como o deslocamento atuante é menor que o limite, o perfil atende o requisito quanto ao deslocamento limite preconizado pela norma. Por conseguinte, o perfil esco-

lhido **W410x38** pode ser utilizado sem problemas, pois atende à todos os pré-requisitos de dimensionamento.

## 4.2 Dimensionamento das vigas principais de bordo (VP1)

Agora dimensionaremos as vigas principais que se localizam no bordo do mezanino, ou seja as vigas (VP1) na figura (4.1). Essas possuem comprimento  $L = 7500\text{ mm}$  e são engastadas nos pilares. Os carregamentos destas vigas podem ser obtidos pelas forças de reações de apoio das vigas secundárias (VS) como mostra a figura (4.3)

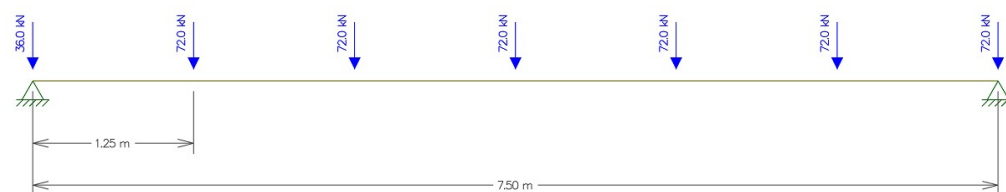


Figura 4.3: Viga principal de bordo.

As reações de apoio das vigas são determinadas pelo equilíbrio das forças, com a ajuda do *software Ftool*, obtemos os diagramas de momento fletor e esforço cortante atuante, figuras (4.4) e (4.5).

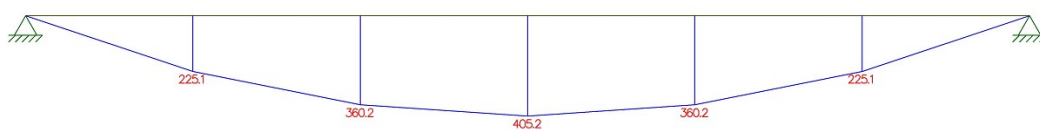


Figura 4.4: Diagrama de momento fletor.

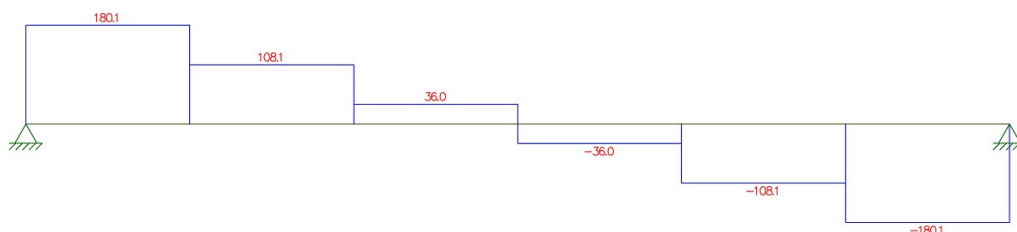


Figura 4.5: Diagrama de esforço cortante.

Portanto, o momento fletor utilizado para o cálculo da viga será 405,2 KN.m, e para o cálculo do cisalhamento será utilizado o esforço cortante de 180,1 KN.

### Pré- dimensionamento da seção transversal das vigas

Conforme feito para as vigas secundárias, temos que pela equação (4.1),

$$(Z_x)_{min} = \frac{M_{Sd} \times \gamma_m}{f_y} = \frac{40520 \times 1,1}{25} = 1782,88 \text{ cm}^4.$$

### Escolha do perfil

Da mesma forma a escolha do perfil será feita com base na tabela de perfis laminados da Gerdau Açominas (Catálogo no Apêndice), comparando a resistência plástica mínima exigida com a fornecida pelo fabricante. Portanto, o perfil escolhido será o **W530x74**, cuja as características da seção transversal são:

|                             |                                   |                                    |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| $d = 529 \text{ mm}$        | $b_f = 166 \text{ mm}$            | $t_w = 9,7 \text{ mm}$             |
| $t_f = 13,6 \text{ mm}$     | $h = 502 \text{ mm}$              | $A_g = 95,1 \text{ cm}^2$          |
| $I_x = 40969 \text{ cm}^4$  | $Z_x = 1804,9 \text{ cm}^3$       | $r_x = 20,76 \text{ cm}$           |
| $W_x = 1548,9 \text{ cm}^3$ | $\lambda_f = 6,10 \text{ (mesa)}$ | $\lambda_w = 49,26 \text{ (alma)}$ |

### Determinação da força cortante resistente de cálculo

Pelo *software Ftool* temos que  $V_{Sd} = 180,1 \text{ KN}$  e para  $\lambda \leq \lambda_p$ , a resistência é dada pela plastificação a cisalhamento:

$$V_{Rd} = \frac{A_w(0,6f_y)}{\gamma_{a1}} \quad (4.5)$$

em que:

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad \text{e} \quad A_w = d \cdot t_w$$

consideraremos  $k_v = 5,0$  para vigas sem enrijecedores intermediários. Portanto,

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{502}{9,7} = 51,75 \leq 1,10 \sqrt{\frac{5.20000}{25}} = 69,57 = \lambda_p \Rightarrow \lambda \leq \lambda_p$$

logo

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot A_w}{\gamma_{a1}} \Rightarrow V_{Rd} = 699,72 \text{ KN}.$$

## Verificação de flambagem local - FLM e FLA

Para a mesa (FLM) temos que:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2.t_f} = 6,10 \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{0,38}{20000}} = 10,7 \Rightarrow \lambda_f \leq \lambda_p,$$

e para a alma (FLA),

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = 49,26 \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,3 \Rightarrow \lambda_w \leq \lambda_p.$$

Portanto trata-se de uma seção compacta.

## Determinação do momento fletor resistente de dimensionamento

Para seções compactas temos que:

$$M_{Rd} = \frac{Z_x \times f_y}{\gamma_m} \Rightarrow M_{Rd} = 410,2 \text{ KN.m.}$$

Portanto, como o momento resistente pelo perfil é superior ( $M_{Rd} \geq M_{Sd}$ ) ao momento solicitante, o perfil atende os requisitos quanto ao momento fletor.

### 4.2.1 Verificação do Estado Limite de Serviço - E.L.S

O novo carregamento para a verificação do deslocamento limite das vigas VP1, é obtido pelas reações de apoio das vigas secundárias com os carregamentos reduzidos utilizados na verificação do E.L.S. A nova configuração do carregamento é mostrado na figura

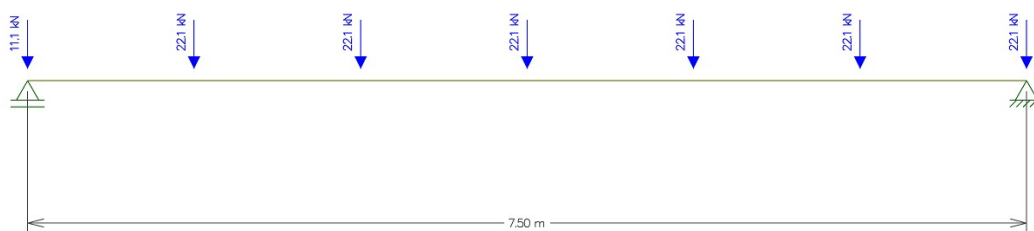


Figura 4.6: Carregamento para verificação do E.L.S.

Assim, com o auxílio do *software Ftool*, obtemos um deslocamento no meio do vão de 8,48 mm. De acordo com a NBR 8800:2008, tabela c.1, o deslocamento limite

para uma viga de piso é  $L/350$ , então:

$$\delta_{min} = \frac{750}{350} = 21,42 \text{ mm}.$$

Como o deslocamento atuante é menor que o limite, o perfil atende o requisito quanto ao deslocamento limite preconizado pela norma. Por conseguinte, o perfil escolhido **W530x74** pode ser utilizado sem problemas, pois atende à todos os pré-requisitos de dimensionamento.

### 4.3 Dimensionamento das vigas principais de centro

O dimensionamento as vigas principais que se localizam no centro do mezanino, figura (4.1). Seguirá o mesmo método usado na seção anterior, por esse motivo a maior parte dos cálculos será omitida. Os carregamentos destas vigas podem ser obtidos pelas forças de reações das vigas secundárias (VS) como mostra a figura (4.7)

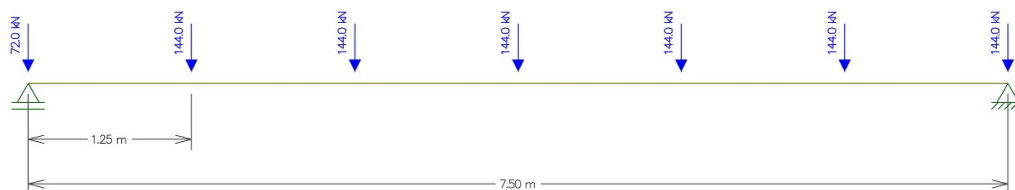


Figura 4.7: Viga principal de centro.

As reações de apoio das vigas são determinadas pelo equilíbrio das forças, com a ajuda do *software Ftool*, obtemos os diagramas de momento fletor e esforço cortante atuante, figuras (4.4) e (4.5).

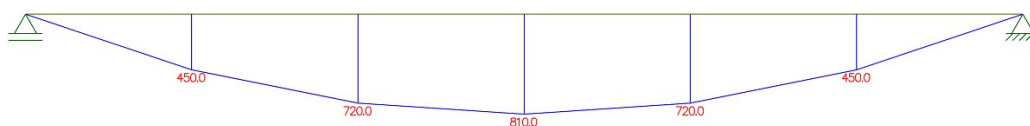


Figura 4.8: Diagrama de momento fletor.

Portanto, o momento fletor utilizado para o cálculo da viga será 810 kN.m, e para o cálculo do cisalhamento será utilizado o esforço cortante de 360 kN.

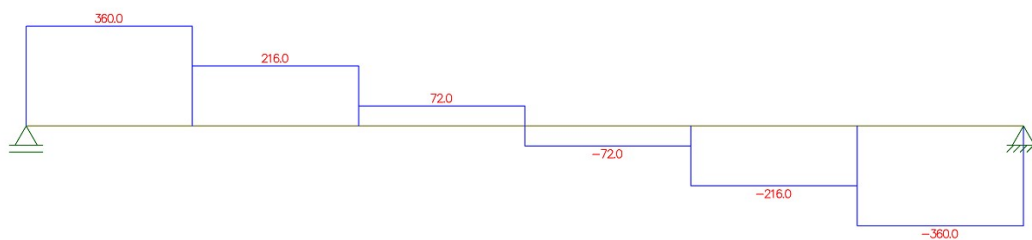


Figura 4.9: Diagrama de esforço cortante.

### Pré- dimensionamento da seção transversal das vigas

Conforme feito na seção anterior, temos que pela equação (4.1),

$$(Z_x)_{min} = \frac{M_{Sd} \times \gamma_m}{f_y} = \frac{81000 \times 1,1}{25} = 3564 \text{ cm}^4.$$

### Escolha do perfil

Da mesma forma a escolha do perfil será feita comparando a resistência plástica mínima exigida com a fornecida pelo fabricante. Portanto, o perfil escolhido será o **W530x138**, cuja as características da seção transversal são:

|                             |                                  |                                    |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| $d = 549 \text{ mm}$        | $b_f = 214 \text{ mm}$           | $t_w = 14,7 \text{ mm}$            |
| $t_f = 23,8 \text{ mm}$     | $h = 501 \text{ mm}$             | $A_g = 177,8 \text{ cm}^2$         |
| $I_x = 87079 \text{ cm}^4$  | $Z_x = 3653,3 \text{ cm}^3$      | $r_x = 22,13 \text{ cm}$           |
| $W_x = 3172,3 \text{ cm}^3$ | $\lambda_f = 4,5 \text{ (mesa)}$ | $\lambda_w = 31,93 \text{ (alma)}$ |

### Determinação da força cortante resistente de cálculo

Pelo *software Ftool* temos que  $V_{Sd} = 360 \text{ kN}$ , assim:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{50,1}{1,47} = 34,08 \leq 1,10 \sqrt{\frac{5 \cdot 20000}{25}} = 69,57 = \lambda_p \Rightarrow \lambda \leq \lambda_p$$

logo

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot A_w}{\gamma_{a1}} \Rightarrow V_{Rd} = 1100,5 \text{ kN}.$$

### Verificação de flambagem local - FLM e FLA

Para a mesa (FLM) temos que:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2.t_f} = 4,5 \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{0,38}{20000}} = 10,7 \Rightarrow \lambda_f \leq \lambda_p,$$

e para a alma (FLA),

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = 31,93 \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,3 \Rightarrow \lambda_w \leq \lambda_p.$$

Portanto trata-se de uma seção compacta.

### Determinação do momento fletor resistente de dimensionamento

Para seções compactas temos que:

$$M_{Rd} = \frac{Z_x \times f_y}{\gamma_m} \Rightarrow M_{Rd} = 830,29 \text{ KN.m.}$$

Portanto, como o momento resistente pelo perfil é superior ( $M_{Rd} \geq M_{Sd}$ ) ao momento solicitante, o perfil atende os requisitos quanto ao momento fletor.

#### 4.3.1 Verificação do Estado Limite de Serviço - E.L.S

A nova configuração do carregamento é mostrado na figura

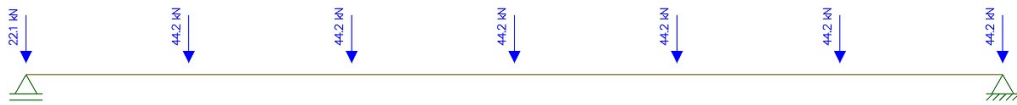


Figura 4.10: Carregamento para verificação do E.L.S.

Assim, com o auxílio do *software Ftool*, obtemos um deslocamento no meio do vão de 10,33 mm. De acordo com a NBR 8800:2008.

$$\delta_{min} = \frac{750}{350} = 21,42 \text{ mm.}$$

Como o deslocamento atuante é menor que o limite, o perfil atende o requisito quanto ao deslocamento limite preconizado pela norma. Por conseguinte, o perfil

escolhido **W530x138** pode ser utilizado sem problemas, pois atende à todos os pré-requisitos de dimensionamento.

## 4.4 Dimensionamento dos pilares

Neste trabalho consideraremos os pilares de comprimento  $L = 3000\text{ mm}$  engastados em chapa base. Para que façamos o dimensionamento dos pilares é necessário que analisemos a figura (4.11). Nesta percebemos que os pilares podem ser divididos em quatro grupos pilares de canto (P1), pilares no bordo horizontal e vertical (P2H) e (P2V), respectivamente e pilar central (P3), esta classificação é adotada pela quantidade de carga de compressão recebida por cada um deles. O *software Ftool* será novamente utilizado para análise das cargas axiais.

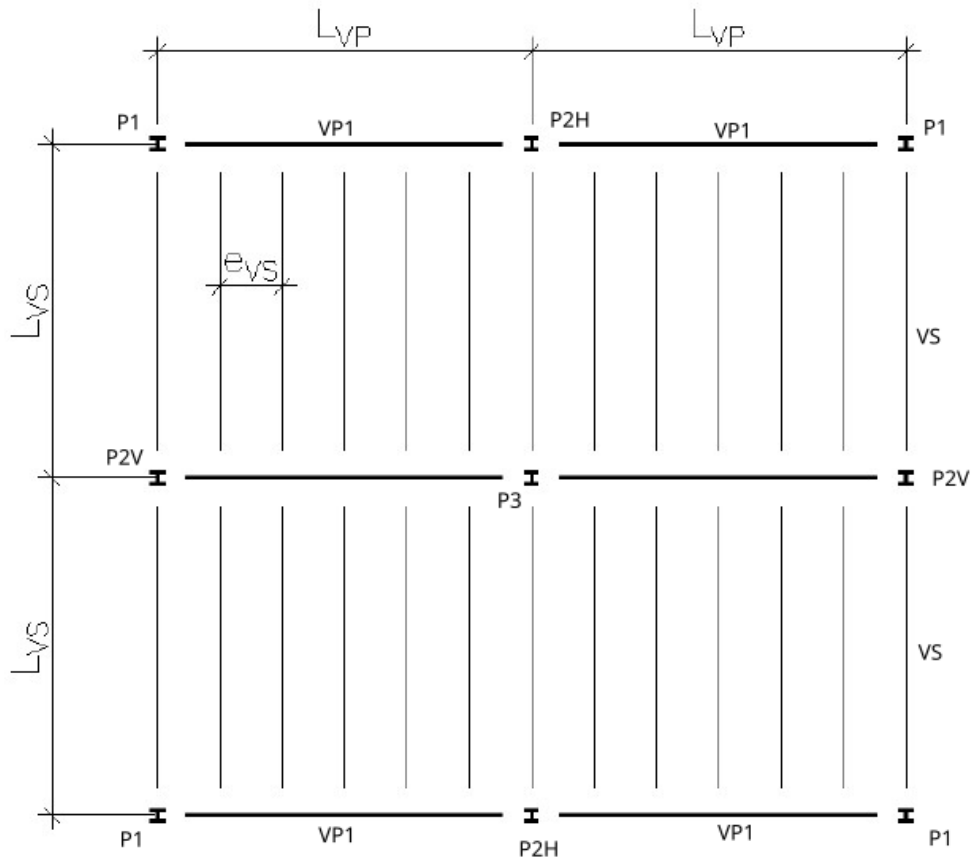


Figura 4.11: Localização dos Pilares.

Para os pilares do bordo do Mezanino P1 e P2H temos as seguintes cargas sobre as vigas primárias de bordo (VP1), conforme figura (4.12)

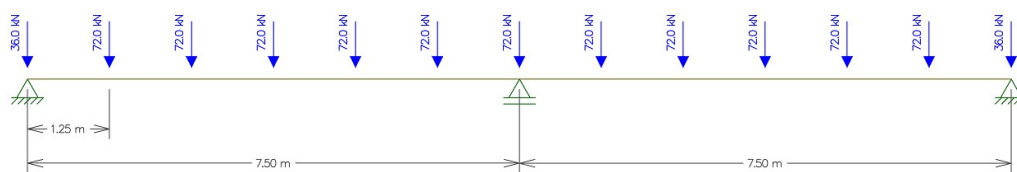


Figura 4.12: Carga nas vigas primárias de bordo.

Estas geram as seguintes cargas compressivas nos pilares  $P1 = 163,6 \text{ kN}$  e  $P2H = 537,3 \text{ kN}$ , figura (4.13).

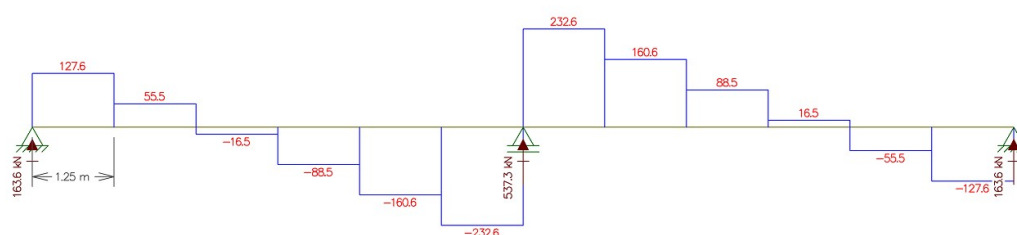


Figura 4.13: Carga compressiva nos pilares.

Da mesma forma, para os pilares centrais do Mezanino P2V e P3 temos as seguintes cargas sobre as vigas primárias de centro, conforme figura (4.14)

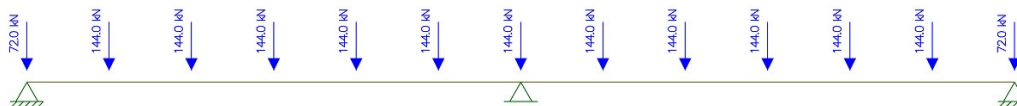


Figura 4.14: Carga nas vigas primárias de bordo.

Estas geram as seguintes cargas compressivas nos pilares  $P2V = 327 \text{ kN}$  e  $P3 = 1074 \text{ kN}$ , figura (4.15)

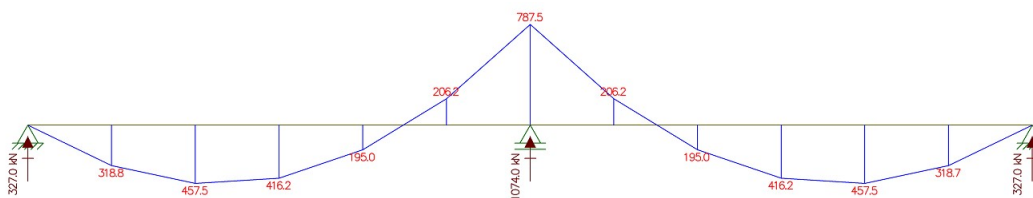


Figura 4.15: Carga compressiva nos pilares.

Iniciaremos o dimensionamento pelo pilar central P3 que recebe uma carga compressiva de  $N_{sd} = 1074 \text{ kN}$  e os demais seguirão o mesmo método respeitando a carga compressiva adequada a cada pilar.

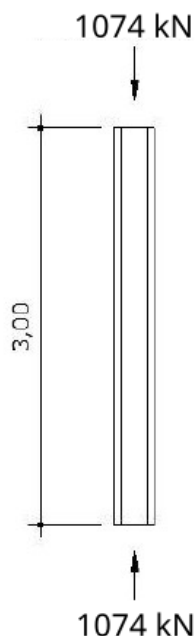


Figura 4.16: Carga Pilar Central P3.

Normalmente, nos casos de peças comprimidas escolhe-se uma seção e verifica-se a sua estabilidade. Neste caso será escolhido o perfil **W 200x46,1 (H)**, cuja as características são mostradas abaixo:

|                           |                            |                           |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| $d = 203 \text{ mm}$      | $b_f = 203 \text{ mm}$     | $t_w = 7,2 \text{ mm}$    |
| $t_f = 11 \text{ mm}$     | $h = 181 \text{ mm}$       | $A_g = 58,6 \text{ cm}^2$ |
| $I_x = 4543 \text{ cm}^4$ | $W_x = 447,6 \text{ cm}^3$ | $r_x = 8,81 \text{ cm}$   |
| $I_y = 1535 \text{ cm}^4$ | $W_y = 151,2 \text{ cm}^3$ | $r_y = 5,2 \text{ cm}$    |

### Cálculo da força resistente de cálculo

Primeiramente faremos a verificação da flambagem local da alma - FLA - para elementos AA, ou seja, possuem duas bordas longitudinais vinculadas:

$$\left( \frac{d'}{t_w} \right)_{Perfil} = \frac{161}{7,2} = 22,361$$

e

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_{limite} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42,1,$$

como  $\left(\frac{h}{t_w}\right)_{Perfil} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right)_{limite}$  não haverá problema de flambagem local da alma, portanto  $Q_a = 1,0$ .

Agora faremos a verificação da flambagem local da mesa - FLM - para elementos AL, ou seja, possui uma borda longitudinal vinculadas:

$$\frac{b_f}{2t_w} = 9,23$$

e

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{limite} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 15,8,$$

como  $\frac{b_f}{2t_w} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{limite}$  não haverá problema de flambagem local da mesa e portanto  $Q_s = 1,0$ . Assim, a alma e a mesa possuem relação largura/espessura dentro dos limites, ou seja,  $Q = Q_a \times Q_s = 1,0$ .

### Condições dos vínculos

Para estabelecer a condição de vínculo do pilar adotaremos uma postura mais conservadora assumindo  $k_x = k_y = 0,8$ , ou seja, a base engastada e o topo apoiado, como mostra a figura (4.17).

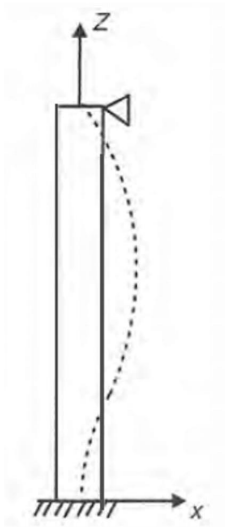


Figura 4.17: Vinculação do pilar P3.

### Cálculo da carga crítica de Euler

Contribuindo com a segurança, será utilizado o menor momento de inércia do perfil, que no caso é de  $I_y = 1535 \text{ cm}^4$ .

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(k \cdot L)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 1535}{(0,8 \cdot 300)^2} = 5260,36 \text{ kN}.$$

### Cálculo do esforço resistente

O esforço axial resistente de cálculo em hastes com efeito de flambagem local é dado por:

$$N_{Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (4.6)$$

Para o cálculo do fator redutor  $\chi$  devemos encontrar o índice de esbeltez reduzido  $\lambda_0$  modificado pelo fator  $Q$ :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_{cr}}}.$$

Logo  $\lambda_0 = 0,5277$  e  $\chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,89$ . Daí a resistência a compressão do pilar obtida pela equação (4.6) é:

$$N_{Rd} = 1185,28 \text{ kN}.$$

Portanto, como a carga axial resistente pelo perfil é superior ( $N_{Rd} \geq N_{Sd}$ ). Por conseguinte, o perfil escolhido **W200x46,1(H)** pode ser utilizado sem problemas, pois atende à todos os pré-requisitos de dimensionamento.

Como o cálculo para o dimensionamento dos demais perfis para pilares é análogo omitiremos as contas mas apresentamos um quadro resumo na próxima seção.

## 4.5 Perfis Utilizados

Nesta seção apresentamos um quadro resumo com todos os perfis laminados dimensionados nesse trabalho, para elaboração do mezanino.

| Elemento                 | Perfil Laminado |
|--------------------------|-----------------|
| Viga secundária          | W410x38         |
| Viga principal de bordo  | W530x74         |
| Viga principal de centro | W530x138        |
| Pilar de bordo P1        | W150x13         |
| Pilar de bordo P2H       | W150x29,8(H)    |
| Pilar de centro P2V      | W150x22,5(H)    |
| Pilar de centro P3       | W200x46,1(H)    |

## Capítulo 5

# O Método Computacional

Neste capítulo nos propomos a realizar o dimensionamento dos elementos estruturais componentes do mezanino industrial, no *softwares CYPE3D* respeitando os mesmos valores adotados para os carregamentos anteriores. Sendo assim serão considerados as seguintes cargas atuantes no pavimento:

- Peso próprio - *Automático*;
- Painei Wall 55mm -  $0,38\text{ KN/m}^2$ ;
- Revestimento (Tabela 4-ABNT NBR 6120:2019) -  $1,0\text{ KN/m}^2$ ;
- Ação Variável - Casa de Máquinas/Sala de *no-breaks* -  $7,5\text{ KN/m}^2$ .

### 5.1 Lançamento da Estrutura

O *software CYPE 3D* é um programa de modelagem CAD (*Computer Aided Desing*) com interfaces 2D e 3D que permitem o usuário migrar para uma das opções, sendo assim primeiramente fazemos o lançamento das barras que compõem as vigas e os pilares respeitando as dimensões anteriormente definidas, figura (5.1)

Posteriormente foram definidas as condições de vínculo para os nós, sendo rotulado para as vigas e engastado para os pilares, além disso foram também lançados barras de contraventamento para o travamento da estrutura, figura (5.2).

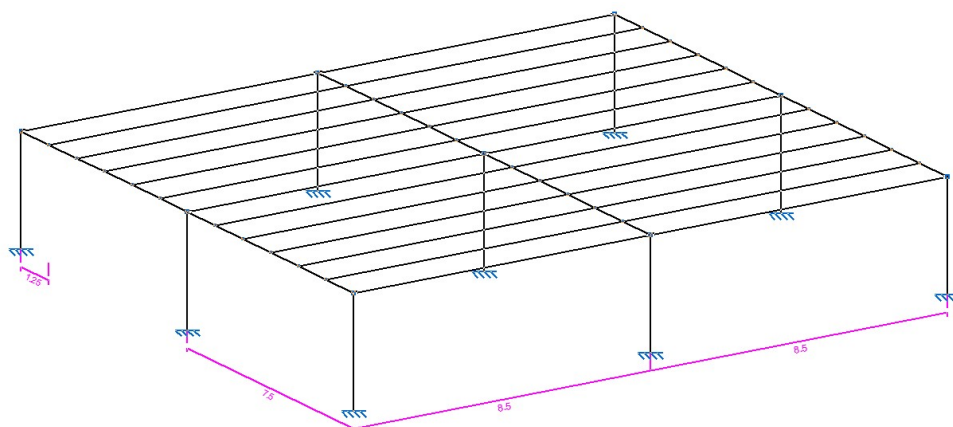


Figura 5.1: Dimensões Mezanino.

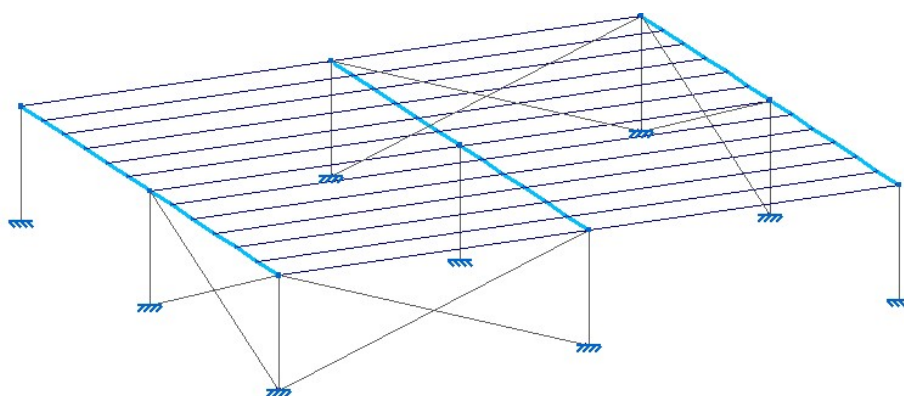


Figura 5.2: Lançamento da estrutura.

## 5.2 Lançamento dos carregamentos

Para o lançamento das cargas atuantes, permanentes e sobrecarga, utilizou-se o comando de "introduzir panos" para delimitar a região e o sentido de distribuição das mesmas.

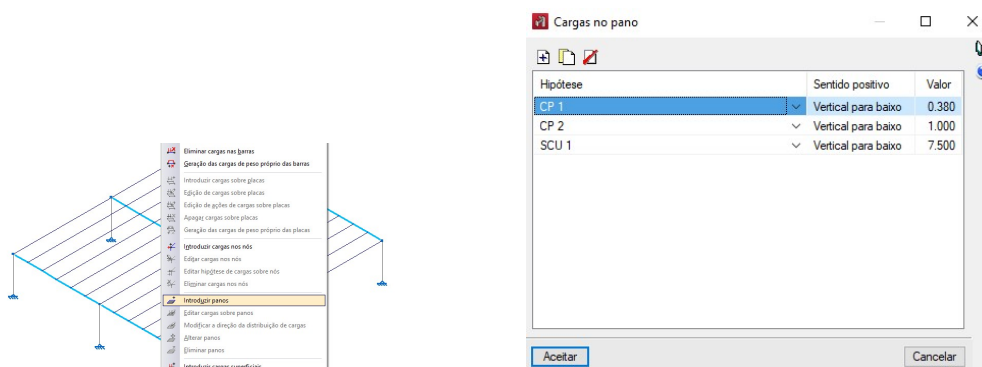


Figura 5.3: Lançamento das cargas.

Feito o carregamento da estrutura é possível visualizar a distribuição das cargas conforme figura (5.4)

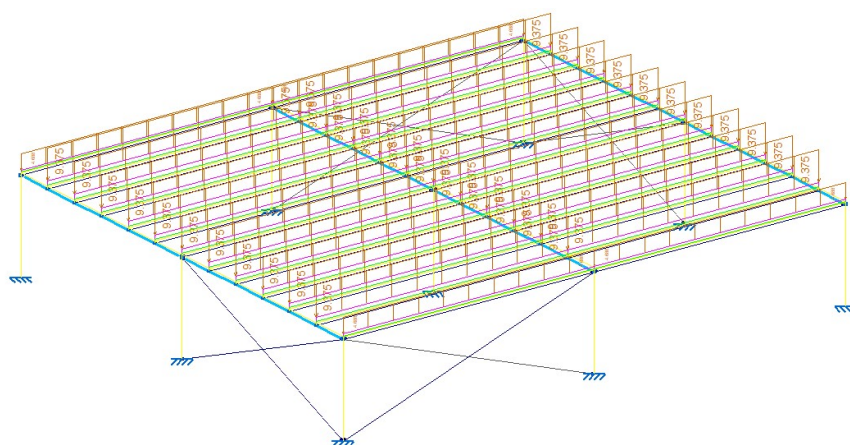


Figura 5.4: Visualização do carregamento.

### 5.3 Inserção de parâmetros para cálculo da estrutura

Uma vez modelada e carregada a estrutura nos resta fornecer ao software parâmetros para o dimensionamento. Primeiramente é fornecido quais as condições de flambagem e flambagem lateral para as vigas. Aqui foi adotado o parâmetro  $\beta = 1$  para ambas as vigas (principais e secundárias) por estarem bi-apoiadas e não possuírem enrijecedores, figura (5.5).



Figura 5.5: Parâmetros de flambagem para as vigas.

Para o comprimento máximo de flecha, foi adotado o parâmetro normativo pela NBR 8800:2008 de vigas para pisos, figura (5.6):

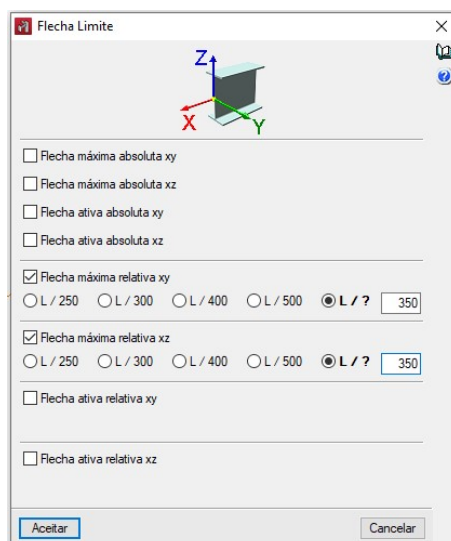


Figura 5.6: Comprimento da flecha máxima.

## 5.4 Cálculo da Estrutura

Depois de inserir todas as informações necessárias ao *software CYPE3D*, este está hábil para calcular a estrutura. Para isso o *software* disponibiliza ao usuário três formas diferentes:

- **Não dimensionar perfis** - onde o cálculo é realizado mas o dimensionamento fica por conta do usuário dentro da lista de perfis que atendem as solicitações;
- **Dimensionamento rápido de perfis** - onde o cálculo e o dimensionamento de perfis são realizados;
- **Dimensionamento ótimo de perfis** - onde o cálculo e o dimensionamento são realizados mas agora obedecendo um processo de otimização dos perfis, intrínseco ao *software*.

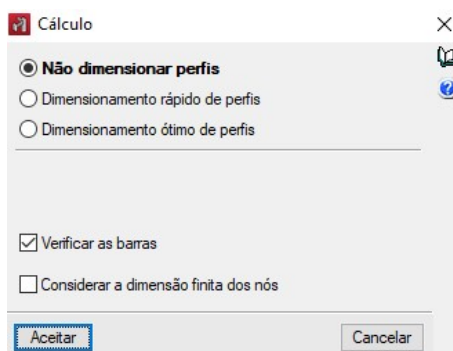


Figura 5.7: Cálculo da estrutura.

## 5.5 Verificação da Estrutura

Após o cálculo da estrutura é possível fazer a verificação dos elementos e também dos esforços sofridos pela estrutura, figura (5.8) :

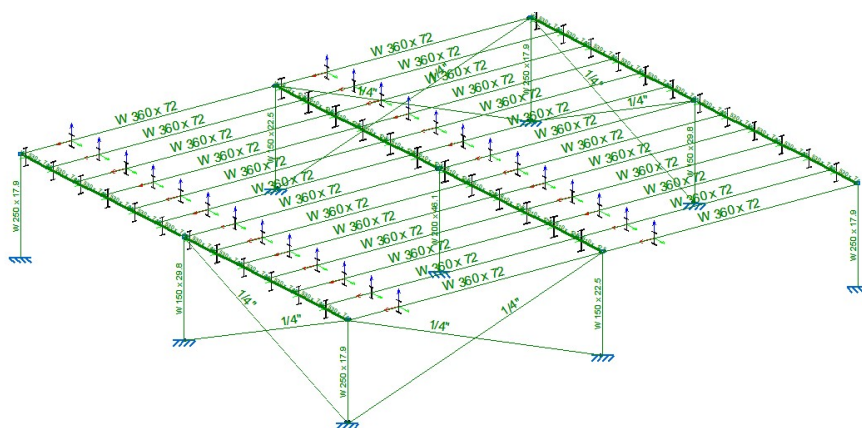


Figura 5.8: Verificação da estrutura.

No próximo capítulo serão apresentados e discutidos os resultados do cálculo analítico e computacional realizados nesse trabalho.

# Capítulo 6

## Resultados e Discussões

Neste capítulo apresentaremos as divergências e as semelhanças em dimensionar a estrutura através do método analítica e o dimensionamento dos perfis no *software CYPE3D*. é importante lembrar que o método analítico de dimensionamento da estrutura seguiu fielmente as instruções da norma NBR 8800:2008 e o livro de (PFEIL-PFEIL,2022), enquanto que o dimensionamento no *CYPE3D* foi realizado de duas formas distintas já que o softwares apresentava duas maneiras para cálculo e dimensionamento da estrutura, dimensionamento rápido e dimensionamento ótimo, como citado no capítulo anterior. Apresentamos um quadro resumo com todos os perfis laminados dimensionados pelos três modos para elaboração do mezanino.

| Elemento                 | Método Analítico | Dim. rápido  | Dim. ótimo   |
|--------------------------|------------------|--------------|--------------|
| Viga secundária          | W410x38          | W360x72      | W360x72      |
| Viga principal de bordo  | W530x74          | W530x82      | W530x74      |
| Viga principal de centro | W530x138         | W610x140     | W610x125     |
| Pilar de bordo P1        | W150x13          | W150x17,9    | W250x17,9    |
| Pilar de bordo P2H       | W150x29,8(H)     | W150,29,8(H) | W150x29,8(H) |
| Pilar de centro P2V      | W150x22,5(H)     | W150x22,5(H) | W150x22,5(H) |
| Pilar de centro P3       | W200x46,1(H)     | W200x46,1(H) | W200x46,1(H) |
| Peso Total [kg]          | 13.319,53        | 21.152,06    | 20.637,49    |

Tabela 5.1: Comparativo de métodos.

Observando a Tabela 5.1 temos que o dimensionamento pelo *CYPE3D*, apesar

de ter uma melhora no ótimo em relação ao rápido, o resultado foi superdimensionado em relação ao método analítico, ficando com um peso 55% maior gerando assim uma estrutura mais robusta e onerosa financeiramente ao cliente final. Analisando o memorial de cálculo gerado pelo *software* (Ver Anexo1) percebemos que o *CYPE3D* adota coeficientes de ponderação de 1,5 para cargas permanentes e sobrecarga (ao invés de 1,25 para peso próprio) e 0,8 para coeficientes de combinação  $\psi$  (ao invés de 0,6) diferenciando da NBR:8800:2008 e gerando uma maior carga na estrutura.

## 6.1 Comparação entre elementos

Nesta seção aprofundaremos na diferença da escolha dos perfis pelo método analítico e pelo *CYPE3D* (dimensionamento rápido e ótimo) para isso foi escolhido um elemento estrutural que teve três diferentes resultados. O elemento em questão é a viga principal de centro que foi dimensionada com o perfil W530x138 pelo método analítico, perfil W610x140 pelo processo rápido e W610x125 pelo ótimo.

As verificações dos estados limites foram realizados através do *software* e pelo método analítico seguindo a NBR 8800:2008 e são apresentados na tabela

|                       | Método Analítico               | <i>CYPE3D</i> rápido           | <i>CYPE3D</i> ótimo            |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Perfil escolhido      | W530x138                       | W610x140                       | W610x125                       |
| M. fletor solicitante | $M_{Sd} = 810 \text{ kN.m}$    | $M_{Sd} = 830,1 \text{ kN.m}$  | $M_{Sd} = 804,06 \text{ kN.m}$ |
| M. fletor resistente  | $M_{Rd} = 830,29 \text{ kN.m}$ | $M_{Rd} = 948,43 \text{ kN.m}$ | $M_{Rd} = 840,3 \text{ kN.m}$  |
| Cortante solicitante  | $V_{Sd} = 360 \text{ kN}$      | $V_{Sd} = 490,47 \text{ kN}$   | $V_{Sd} = 489,57 \text{ kN}$   |
| Cortante resistente   | $V_{Rd} = 1100,5 \text{ kN}$   | $V_{Rd} = 1102,19 \text{ kN}$  | $V_{Rd} = 993,11 \text{ kN}$   |
| Flecha Máxima         | $\delta = 10,33 \text{ mm}$    | $\delta = 7,42 \text{ mm}$     | $\delta = 8,37 \text{ mm}$     |

Um relatório completo para análise das vigas, contendo todas as informações e cálculos é apresentado no Apêndice.

# Capítulo 7

## Conclusão

No desenvolvimento desse trabalho, foram alcançados os objetivos propostos que compreendem em comparar os sistemas construtivos. Os resultados apresentados pelo uso do softwares *CYPE3D* quanto pelo método analítico são considerados próximos. É importante salientar que as diferenças que ocorreram é resultado dos valores nas tabelas dos perfis em catálogos, os valores são truncados, a exemplo do momento de inércia  $[cm^4]$  o que acarreta prejuízo na exatidão se fosse expresso em  $[mm^4]$ .

Outra divergência verificada foi em relação aos fatores de majoração  $\gamma$ , no *CYPE3D*, utiliza-se  $\gamma = 1,5$  para todos os casos. Entretanto, no cálculo analítico, a tendência é utilizar o fator de  $\gamma$  adequado para cada situação, conforme recomendado pela norma NBR 8800:2008. Concluimos então que o uso de softwares para o dimensionamento, quanto a otimização de estrutura, são soluções competitivas e seguras desde que bem avaliadas.

## Capítulo 8

## Apêndice

São apresentados a tabela de prefis Gerdau e os memoriais de cálculo para o dimensionamento do mezanino industrial tratado neste trabalho, apresentado pelo *software CYPE 3D* através do processo de dimensionamento rápido.



# PERFIS GERDAU - CONSTRUÇÃO METÁLICA

## TABELA DE BITOLAS



CANTONEIRA DE ABAS IGUAIS GERDAU



| CANTONEIRA EM POLEGADAS |         |              |       |       |       |         |        |       |         |      |  |
|-------------------------|---------|--------------|-------|-------|-------|---------|--------|-------|---------|------|--|
| b                       |         | Peso Nominal | t     |       | Área  | lx=ly   | Wx=Wy  | rx=ry | rz mín. | x    |  |
| pol                     | mm      | kg/m         | pol   | mm    | cm²   | cm⁴     | cm³    | cm    | cm      | cm   |  |
| 1/2"                    | 12,700  | 0,55         | 1/8"  | 3,18  | 0,70  | 0,10    | 0,11   | 0,37  | 0,25    | 0,43 |  |
| 5/8"                    | 15,880  | 0,71         | 1/8"  | 3,18  | 0,90  | 0,20    | 0,19   | 0,47  | 0,32    | 0,51 |  |
| 3/4"                    | 19,050  | 0,87         | 1/8"  | 3,18  | 1,11  | 0,36    | 0,27   | 0,57  | 0,38    | 0,59 |  |
| 7/8"                    | 22,200  | 1,04         | 1/8"  | 3,18  | 1,32  | 0,58    | 0,38   | 0,66  | 0,46    | 0,66 |  |
| 1"                      | 25,400  | 1,19         | 1/8"  | 3,18  | 1,48  | 0,83    | 0,49   | 0,79  | 0,48    | 0,76 |  |
|                         |         | 1,73         | 3/16" | 4,76  | 2,19  | 1,25    | 0,66   | 0,76  | 0,48    | 0,81 |  |
|                         |         | 2,22         | 1/4"  | 6,35  | 2,84  | 1,66    | 0,98   | 0,76  | 0,48    | 0,86 |  |
| 1.1/4"                  | 31,750  | 1,50         | 1/8"  | 3,18  | 1,93  | 1,67    | 0,82   | 0,97  | 0,64    | 0,89 |  |
|                         |         | 2,20         | 3/16" | 4,76  | 2,77  | 2,50    | 1,15   | 0,97  | 0,61    | 0,97 |  |
|                         |         | 2,86         | 1/4"  | 6,35  | 3,62  | 3,33    | 1,47   | 0,94  | 0,61    | 1,02 |  |
| 1.1/2"                  | 38,100  | 1,83         | 1/8"  | 3,18  | 2,32  | 3,33    | 1,15   | 1,17  | 0,76    | 1,07 |  |
|                         |         | 2,68         | 3/16" | 4,76  | 3,42  | 4,58    | 1,64   | 1,17  | 0,74    | 1,12 |  |
|                         |         | 3,48         | 1/4"  | 6,35  | 4,45  | 5,83    | 2,13   | 1,15  | 0,74    | 1,19 |  |
| 1.3/4"                  | 44,450  | 2,14         | 1/8"  | 3,18  | 2,71  | 5,41    | 1,64   | 1,40  | 0,89    | 1,22 |  |
|                         |         | 3,15         | 3/16" | 4,76  | 4,00  | 7,50    | 2,30   | 1,37  | 0,89    | 1,30 |  |
|                         |         | 4,12         | 1/4"  | 6,35  | 5,22  | 9,57    | 3,13   | 1,35  | 0,86    | 1,35 |  |
| 2"                      | 50,800  | 2,46         | 1/8"  | 3,18  | 3,10  | 7,91    | 2,13   | 1,60  | 1,02    | 1,40 |  |
|                         |         | 3,63         | 3/16" | 4,76  | 4,58  | 11,70   | 3,13   | 1,58  | 1,02    | 1,45 |  |
|                         |         | 4,74         | 1/4"  | 6,35  | 6,06  | 14,60   | 4,10   | 1,55  | 0,99    | 1,50 |  |
|                         |         | 5,83         | 5/16" | 7,94  | 7,42  | 17,50   | 4,91   | 1,53  | 0,99    | 1,55 |  |
|                         |         | 6,99         | 3/8"  | 9,52  | 8,76  | 20,00   | 5,73   | 1,50  | 0,99    | 1,63 |  |
| 2.1/2"                  | 63,500  | 4,57         | 3/16" | 4,76  | 5,80  | 23,00   | 4,91   | 1,98  | 1,24    | 1,75 |  |
|                         |         | 6,10         | 1/4"  | 6,35  | 7,67  | 29,00   | 6,40   | 1,96  | 1,24    | 1,83 |  |
|                         |         | 7,44         | 5/16" | 7,94  | 9,48  | 35,00   | 7,87   | 1,93  | 1,24    | 1,88 |  |
|                         |         | 8,78         | 3/8"  | 9,52  | 11,16 | 41,00   | 9,35   | 1,91  | 1,22    | 1,93 |  |
| 3"                      | 76,200  | 5,52         | 3/16" | 4,76  | 7,03  | 40,00   | 7,21   | 2,39  | 1,50    | 2,08 |  |
|                         |         | 7,29         | 1/4"  | 6,35  | 9,29  | 50,00   | 9,50   | 2,36  | 1,50    | 2,13 |  |
|                         |         | 9,07         | 5/16" | 7,94  | 11,48 | 62,00   | 11,60  | 2,34  | 1,50    | 2,21 |  |
|                         |         | 10,71        | 3/8"  | 9,52  | 13,61 | 75,00   | 13,60  | 2,31  | 1,47    | 2,26 |  |
|                         |         | 14,00        | 1/2"  | 12,70 | 17,74 | 91,00   | 18,00  | 2,29  | 1,47    | 2,36 |  |
| 3.1/2"                  | 88,900  | 8,56         | 1/4"  | 6,35  | 10,90 | 83,70   | 13,00  | 2,77  | 1,76    | 2,46 |  |
|                         |         | 10,59        | 5/16" | 7,94  | 13,50 | 102,00  | 16,00  | 2,75  | 1,75    | 2,52 |  |
|                         |         | 12,58        | 3/8"  | 9,52  | 16,00 | 121,00  | 19,20  | 2,75  | 1,75    | 2,58 |  |
|                         |         | 9,81         | 1/4"  | 6,35  | 12,51 | 125,00  | 16,40  | 3,17  | 2,00    | 2,77 |  |
| 4"                      | 101,600 | 12,19        | 5/16" | 7,94  | 15,48 | 154,00  | 21,30  | 3,15  | 2,00    | 2,84 |  |
|                         |         | 14,57        | 3/8"  | 9,52  | 18,45 | 183,00  | 24,60  | 3,12  | 2,00    | 2,90 |  |
|                         |         | 16,80        | 7/16" | 11,11 | 21,35 | 208,00  | 29,50  | 3,12  | 1,98    | 2,95 |  |
|                         |         | 19,03        | 1/2"  | 12,70 | 24,19 | 233,00  | 32,80  | 3,10  | 1,98    | 3,00 |  |
|                         |         | 12,34        |       | 6,35  | 15,73 | 251,63  | 27,09  | 4,00  | 2,53    | 3,41 |  |
| 5"                      | 127,000 | 15,31        | 5/16" | 7,94  | 19,50 | 308,00  | 33,40  | 3,97  | 2,53    | 3,47 |  |
|                         |         | 18,30        | 3/8"  | 9,52  | 23,29 | 362,00  | 39,50  | 3,94  | 2,51    | 3,53 |  |
|                         |         | 24,10        | 1/2"  | 12,70 | 30,84 | 470,00  | 52,50  | 3,91  | 2,49    | 3,63 |  |
|                         |         | 29,80        | 5/8"  | 15,88 | 37,80 | 566,00  | 64,00  | 3,86  | 2,46    | 3,76 |  |
|                         |         | 23,52        | 7/16" | 11,11 | 26,96 | 416,68  | 45,71  | 3,93  | 2,50    | 3,58 |  |
| 6"                      | 152,400 | 22,20        | 3/8"  | 9,52  | 28,10 | 641,00  | 57,40  | 4,78  | 3,02    | 4,17 |  |
|                         |         | 29,20        | 1/2"  | 12,70 | 37,09 | 828,00  | 75,40  | 4,72  | 3,00    | 4,27 |  |
|                         |         | 36,00        | 5/8"  | 15,88 | 45,86 | 1007,00 | 93,50  | 4,67  | 2,97    | 4,39 |  |
|                         |         | 42,70        | 3/4"  | 19,05 | 54,44 | 1173,00 | 109,90 | 4,65  | 2,97    | 4,52 |  |
| 8"                      | 203,200 | 48,70        | 5/8"  | 15,88 | 62,90 | 2472,40 | 168,90 | 6,31  | 4,01    | 5,66 |  |
|                         |         | 57,90        | 3/4"  | 19,05 | 73,81 | 2901,10 | 199,90 | 6,27  | 3,99    | 5,79 |  |

| CANTONEIRA MILIMÉTRICA |              |      |        |        |       |       |         |      |
|------------------------|--------------|------|--------|--------|-------|-------|---------|------|
| b                      | Peso Nominal | t    | Área   | lx=ly  | Wx=Wy | rx=ry | rz mín. | x    |
| mm                     | kg/m         | mm   | cm²    | cm⁴    | cm³   | cm    | cm      | cm   |
| 40,00                  | 1,87         | 3,00 | 23,10  | 3,58   | 1,24  | 1,24  | 0,79    | 1,1  |
|                        | 2,42         | 4,00 | 30,80  | 4,47   | 1,55  | 1,22  | 0,79    | 1,15 |
|                        | 3,00         | 5,00 | 37,50  | 5,56   | 1,97  | 1,22  | 0,79    | 1,18 |
| 45,00                  | 2,12         | 3,00 | 26,10  | 5,16   | 1,58  | 1,41  | 0,89    | 1,23 |
|                        | 2,77         | 4,00 | 34,40  | 6,67   | 2,07  | 1,39  | 0,89    | 1,28 |
|                        | 3,38         | 5,00 | 43,00  | 7,84   | 2,43  | 1,35  | 0,87    | 1,40 |
| 50,00                  | 2,36         | 3,00 | 29,10  | 7,15   | 1,96  | 1,57  | 0,99    | 1,35 |
|                        | 3,09         | 4,00 | 38,40  | 9,26   | 2,57  | 1,55  | 0,99    | 1,40 |
|                        | 3,77         | 5,00 | 48,00  | 11,00  | 3,05  | 1,54  | 0,97    | 1,42 |
|                        | 4,47         | 6,00 | 56,90  | 12,80  | 3,72  | 1,51  | 0,97    | 1,56 |
| 60,00                  | 3,64         | 4,00 | 46,40  | 16,31  | 3,75  | 1,88  | 1,19    | 1,65 |
|                        | 4,57         | 5,00 | 58,20  | 19,40  | 4,45  | 1,82  | 1,17    | 1,64 |
|                        | 5,42         | 6,00 | 69,10  | 22,80  | 5,29  | 1,82  | 1,17    | 1,82 |
| 65,00                  | 3,96         | 4,00 | 50,40  | 20,90  | 4,42  | 2,03  | 1,29    | 1,77 |
|                        | 4,98         | 5,00 | 63,40  | 24,70  | 5,20  | 2,01  | 1,28    | 1,77 |
|                        | 5,91         | 6,00 | 74,40  | 30,00  | 6,44  | 2,01  | 1,28    | 1,84 |
| 75,00                  | 5,71         | 5,00 | 72,70  | 38,70  | 7,06  | 2,31  | 1,48    | 2,02 |
|                        | 6,87         | 6,00 | 87,20  | 45,70  | 8,40  | 2,30  | 1,48    | 2,05 |
|                        | 7,92         | 7,00 | 101,00 | 52,60  | 9,73  | 2,28  | 1,46    | 2,09 |
| 80,00                  | 6,08         | 5,00 | 77,50  | 48,60  | 8,35  | 2,50  | 1,59    | 2,18 |
|                        | 7,25         | 6,00 | 92,40  | 57,30  | 9,91  | 2,49  | 1,58    | 2,22 |
|                        | 8,49         | 7,00 | 108,00 | 64,20  | 11,10 | 2,44  | 1,57    | 2,21 |
|                        | 9,66         | 8,00 | 123,00 | 72,30  | 12,60 | 2,42  | 1,55    | 2,26 |
| 90,00                  | 8,30         | 6,00 | 106,00 | 80,30  | 12,20 | 2,76  | 1,78    | 2,41 |
|                        | 9,50         | 7,00 | 121,00 | 94,80  | 14,60 | 2,80  | 1,78    | 2,51 |
|                        | 10,90        | 8,00 | 139,00 | 104,00 | 16,10 | 2,74  | 1,76    | 2,50 |
| 100,00                 | 9,14         | 6,00 | 116,40 | 114,40 | 15,70 | 3,13  | 1,99    | 2,72 |
|                        | 10,70        | 7,00 | 137,00 | 128,00 | 17,50 | 3,06  | 1,97    | 2,69 |
|                        | 12,20        | 8,00 | 155,00 | 145,00 | 19,90 | 3,06  | 1,96    | 2,74 |
|                        | 13,50        | 9,00 | 172,00 | 164,30 | 22,90 | 3,09  | 1,97    | 2,83 |

PERFIL I GERDAU

| BITOLA | PESO    | ALMA   |                | MESA           |                |       | EIXO X  |        |      | EIXO Y |       |      |                |
|--------|---------|--------|----------------|----------------|----------------|-------|---------|--------|------|--------|-------|------|----------------|
|        | Nominal | d      | t <sub>w</sub> | b <sub>f</sub> | t <sub>f</sub> | Área  | I       | W      | r    | I      | W     | r    | r <sub>f</sub> |
| pol    | kg/m    | mm     | mm             | mm             | mm             | cm²   | cm⁴     | cm³    | cm   | cm⁴    | cm³   | cm   | cm             |
| 3"     | 8,48    | 76,20  | 4,32           | 59,18          | 6,60           | 10,80 | 105,10  | 27,60  | 3,12 | 18,90  | 6,40  | 1,33 | 1,45           |
|        | 9,88    | 76,20  | 6,38           | 61,24          | 6,60           | 12,32 | 115,00  | 30,18  | 3,06 | 45,60  | 11,48 | 1,92 | 1,98           |
|        | 11,46   | 101,60 | 4,90           | 67,60          | 7,44           | 14,50 | 252,00  | 49,70  | 4,17 | 31,70  | 9,40  | 1,48 | 1,68           |
| 4"     | 12,65   | 101,60 | 6,43           | 69,20          | 7,44           | 16,11 | 266,00  | 52,40  | 4,06 | 34,30  | 9,90  | 1,46 | 1,83           |
|        | 14,88   | 127,00 | 5,44           | 76,30          | 8,28           | 18,80 | 511,00  | 80,40  | 5,21 | 50,20  | 13,2  | 1,63 | 1,88           |
|        | 18,24   | 127,00 | 8,81           | 79,70          | 8,28           | 23,24 | 570,00  | 89,80  | 4,95 | 58,60  | 14,7  | 1,59 | 1,92           |
| 6"     | 18,60   | 152,40 | 5,89           | 84,63          | 9,12           | 23,60 | 919,00  | 120,60 | 6,24 | 75,70  | 17,90 | 1,79 | 2,08           |
|        | 22,00   | 152,40 | 8,71           | 87,50          | 9,12           | 27,97 | 1003,00 | 131,70 | 5,99 | 84,90  | 19,40 | 1,74 | 2,26           |

PERFIL U GERDAU

| BITOLA | PESO    | ALMA   |                | ABA            |                |       | EIXO X  |        |       | EIXO Y |       |      |      |
|--------|---------|--------|----------------|----------------|----------------|-------|---------|--------|-------|--------|-------|------|------|
|        | Nominal | d      | t <sub>w</sub> | b <sub>f</sub> | t <sub>f</sub> | Área  | I       | W      | r     | I      | W     | r    | x    |
| pol    | kg/m    | mm     | mm             | mm             | mm             | cm²   | cm⁴     | cm³    | cm    | cm⁴    | cm³   | cm   | cm   |
| 3"     | 6,10    | 76,20  | 4,32           | 35,81          | 6,93           | 7,78  | 68,90   | 18,10  | 2,98  | 8,20   | 3,32  | 1,03 | 1,11 |
|        | 7,44    |        | 6,55           | 35,05          | 6,93           | 9,48  | 77,20   | 20,30  | 2,85  | 10,30  | 3,82  | 1,04 | 1,11 |
| 4"     | 8,04    | 101,60 | 4,67           | 40,23          | 7,52           | 10,10 | 159,50  | 31,40  | 3,97  | 13,10  | 4,61  | 1,14 | 1,18 |
|        | 9,30    |        | 6,27           | 41,83          | 7,52           | 11,90 | 174,40  | 34,30  | 3,84  | 15,50  | 5,10  | 1,14 | 1,15 |
| 6"     | 12,20   | 152,40 | 5,08           | 48,77          | 8,71           | 15,50 | 546,00  | 71,70  | 5,94  | 28,80  | 8,16  | 1,36 | 1,30 |
|        | 15,62   |        | 7,98           | 51,66          | 8,71           | 19,90 | 632,00  | 82,90  | 5,63  | 36,00  | 9,24  | 1,34 | 1,27 |
| 8"     | 17,10   | 203,20 | 5,59           | 57,40          | 9,50           | 21,68 | 1344,30 | 132,70 | 7,87  | 54,10  | 12,94 | 1,42 | 1,47 |
|        | 20,5    |        | 7,70           | 59,51          | 9,50           | 25,93 | 1490,00 | 147,50 | 7,59  | 62,40  | 14,09 | 1,42 | 1,42 |
| 10"    | 22,77   | 254,00 | 6,10           | 66,04          | 11,10          | 29,00 | 2800,00 | 221,00 | 9,84  | 95,00  | 19,00 | 1,81 | 1,61 |
|        | 30,80   |        | 7,20           | 74,00          | 12,70          | 39,30 | 5370,00 | 352,00 | 11,70 | 161,00 | 28,30 | 2,03 | 1,77 |
| 12"    | 29,76   | 305,00 | 9,63           | 69,57          | 11,10          | 37,90 | 3290,00 | 258,00 | 9,31  | 117,00 | 21,60 | 1,76 | 1,54 |
|        | 37,00   |        | 9,80           | 77,00          | 12,70          | 47,40 | 6010,00 | 394,00 | 11,30 | 186,00 | 30,90 | 1,98 | 1,71 |

PERFIL T GERDAU

| BITOLA      | MESA               | ESPESSURA                       | PESO    | ÁREA | EIXO X |      |      | EIXO Y |      |      |      |
|-------------|--------------------|---------------------------------|---------|------|--------|------|------|--------|------|------|------|
|             | d = b <sub>f</sub> | t <sub>f</sub> = t <sub>w</sub> | Nominal |      | I      | W    | r    | I      | W    | r    | x    |
| pol         | mm                 | mm                              | kg/m    | cm²  | cm⁴    | cm³  | cm   | cm⁴    | cm³  | cm   | cm   |
| 5/8x1/8"    | 15,88              | 3,18                            | 0,71    | 0,90 | 0,20   | 0,19 | 0,47 | 0,11   | 0,14 | 0,35 | 0,51 |
| 3/4x1/8"    | 19,05              | 3,18                            | 0,86    | 1,13 | 0,36   | 0,27 | 0,57 | 0,19   | 0,20 | 0,41 | 0,59 |
| 7/8x1/8"    | 22,22              | 3,18                            | 0,99    | 1,34 | 0,59   | 0,38 | 0,67 | 0,33   | 0,27 | 0,48 | 0,67 |
| 1x1/8"      | 25,40              | 3,18                            | 1,18    | 1,54 | 0,90   | 0,50 | 0,77 | 0,44   | 0,35 | 0,54 | 0,75 |
| 1.1/4x1/8"  | 31,75              | 3,18                            | 1,50    | 1,92 | 1,84   | 0,81 | 0,98 | 0,86   | 0,54 | 0,67 | 0,91 |
| 1.1/2x1/8"  | 38,10              | 3,18                            | 1,82    | 2,32 | 3,24   | 1,18 | 1,18 | 1,47   | 0,77 | 0,8  | 1,07 |
| 1.1/4x3/16" | 31,75              | 4,76                            | 2,16    | 2,79 | 2,56   | 1,16 | 0,96 | 1,29   | 0,82 | 0,68 | 0,97 |
| 1.1/2x3/16" | 38,10              | 4,76                            | 2,85    | 3,40 | 4,56   | 1,70 | 1,16 | 2,22   | 1,17 | 0,81 | 1,13 |
| 2x3/16"     | 50,80              | 4,76                            | 3,62    | 4,61 | 11,33  | 3,12 | 1,57 | 5,24   | 2,06 | 1,07 | 1,45 |
| 2x1/4"      | 50,80              | 6,35                            | 4,74    | 6,05 | 14,47  | 4,04 | 1,55 | 7,03   | 2,77 | 1,08 | 1,50 |



TABELA DE BITOLAS PERFIS ESTRUTURAIS W E HP



|                     |                         |         |                      |                      |                      | ESPESSURA |          | EIXO X - X              |                                   |                                   |                      |                                   |                                   | EIXO Y - Y                        |                      |                                   |                      |                                   |                                                           | ESBELTEZ                                   |                                   |                        |                      |  |  |  |  |
|---------------------|-------------------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------|----------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|--|--|--|--|
| BITOLA<br>mm x kg/m | Massa<br>Linear<br>kg/m | d<br>mm | b <sub>y</sub><br>mm | t <sub>w</sub><br>mm | t <sub>r</sub><br>mm | h<br>mm   | d'<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | r <sub>x</sub><br>cm | Z <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | r <sub>y</sub><br>cm | Z <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | r <sub>t</sub><br>cm | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> | Mesa - λ <sub>t</sub><br>b <sub>y</sub> /2.t <sub>r</sub> | Alma - λ <sub>w</sub><br>d'/t <sub>w</sub> | C <sub>w</sub><br>cm <sup>6</sup> | u<br>m <sup>2</sup> /m | BITOLA<br>in x lb/ft |  |  |  |  |
| 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 6 x 8,5            |  |  |  |  |
| 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 6 x 12             |  |  |  |  |
| 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 6 x 15             |  |  |  |  |
| 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 6 x 16             |  |  |  |  |
| 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 6 x 20             |  |  |  |  |
| 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 6 x 25             |  |  |  |  |
| 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 8 x 10             |  |  |  |  |
| 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 8 x 13             |  |  |  |  |
| 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 8 x 15             |  |  |  |  |
| 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 8 x 18             |  |  |  |  |
| 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 8 x 21             |  |  |  |  |
| 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 8 x 24             |  |  |  |  |
| 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 8 x 28             |  |  |  |  |
| 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 8 x 31             |  |  |  |  |
| 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                   | W 8 x 35             |  |  |  |  |
| 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                   | HP 8 x 36            |  |  |  |  |
| 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 8 x 40             |  |  |  |  |
| W 200 x 71,0 (H)    | 71,0                    | 216     | 206                  | 10,2                 | 17,4                 | 181       | 161      | 91,0                    | 7680                              | 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 8 x 48             |  |  |  |  |
| 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 8 x 58             |  |  |  |  |
| 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                   | W 8 x 67             |  |  |  |  |
| W 250 x 17,9        | 17,9                    | 251     | 101                  | 4,8                  | 5,3                  | 240       | 220      | 23,1                    | 2291                              | 182,6                             | 9,96                 | 211,0                             | 91                                | 18,1                              | 1,99                 | 28,8                              | 2,48                 | 2,54                              | 9,53                                                      | 45,92                                      | 13,735                            | 0,88                   | W 10 x 12            |  |  |  |  |
| W 250 x 22,3        | 22,3                    | 254     | 102                  | 5,8                  | 6,9                  | 240       | 220      | 28,9                    | 2939                              | 231,4                             | 10,09                | 267,7                             | 123                               | 24,1                              | 2,06                 | 38,4                              | 2,54                 | 4,77                              | 7,39                                                      | 37,97                                      | 18,629                            | 0,89                   | W 10 x 15            |  |  |  |  |
| W 250 x 25,3        | 25,3                    | 257     | 102                  | 6,1                  | 8,4                  | 240       | 220      | 32,6                    | 3473                              | 270,2                             | 10,31                | 311,1                             | 149                               | 29,3                              | 2,14                 | 46,4                              | 2,58                 | 7,06                              | 6,07                                                      | 36,10                                      | 22,955                            | 0,89                   | W 10 x 17            |  |  |  |  |
| W 250 x 28,4        | 28,4                    | 260     | 102                  | 6,4                  | 10,0                 | 240       | 220      | 36,6                    | 4046                              | 311,2                             | 10,51                | 357,3                             | 178                               | 34,8                              | 2,20                 | 54,9                              | 2,62                 | 10,34                             | 5,10                                                      | 34,38                                      | 27,636                            | 0,90                   | W 10 x 19            |  |  |  |  |
| W 250 x 32,7        | 32,7                    | 258     | 146                  | 6,1                  | 9,1                  | 240       | 220      | 42,1                    | 4937                              | 382,7                             | 10,83                | 428,5                             | 473                               | 64,8                              | 3,35                 | 99,7                              | 3,86                 | 10,44                             | 8,02                                                      | 36,03                                      | 73,104                            | 1,07                   | W 10 x 22            |  |  |  |  |
| W 250 x 38,5        | 38,5                    | 262     | 147                  | 6,6                  | 11,2                 | 240       | 220      | 49,6                    | 6057                              | 462,4                             | 11,05                | 517,8                             | 594                               | 80,8                              | 3,46                 | 124,1                             | 3,93                 | 17,63                             | 6,56                                                      | 33,27                                      | 93,242                            | 1,08                   | W 10 x 26            |  |  |  |  |
| W 250 x 44,8        | 44,8                    | 266     | 148                  | 7,6                  | 13,0                 | 240       | 220      | 57,6                    | 7158                              | 538,2                             | 11,15                | 606,3                             | 704                               | 95,1                              | 3,50                 | 146,4                             | 3,96                 | 27,14                             | 5,69                                                      | 28,95                                      | 112,398                           | 1,09                   | W 10 x 30            |  |  |  |  |
| HP 250 x 62,0 (H)   | 62,0                    | 246     | 256                  | 10,5                 | 10,7                 | 225       | 201      | 79,6                    | 8728                              | 709,6                             | 10,47                | 790,5                             | 2995                              | 234,0                             | 6,13                 | 357,8                             | 6,89                 | 33,46                             | 11,96                                                     | 19,10                                      | 414,130                           | 1,47                   | HP 10 x 42           |  |  |  |  |
| W 250 x 73,0 (H)    | 73,0                    | 253     | 254                  | 8,6                  | 14,2                 | 225       | 201      | 92,7                    | 11257                             | 889,9                             | 11,02                | 983,3                             | 3880                              | 305,5                             | 6,47                 | 463,1                             | 7,01                 | 56,94                             | 8,94                                                      | 23,33                                      | 552,900                           | 1,48                   | W 10 x 49            |  |  |  |  |
| W 250 x 80,0 (H)    | 80,0                    | 256     | 255                  | 9,4                  | 15,6                 | 225       | 201      | 101,9                   | 12550                             | 980,5                             | 11,10                | 1088,7                            | 4313                              | 338,3                             | 6,51                 | 513,1                             | 7,04                 | 75,02                             | 8,17                                                      | 21,36                                      | 622,878                           | 1,49                   | W 10 x 54            |  |  |  |  |
| HP 250 x 85,0 (H)   | 85,0                    | 254     | 260                  | 14,4                 | 14,4                 | 225       | 201      | 108,5                   | 12280                             | 966,9                             | 10,64                | 1093,2                            | 4225                              | 325,0                             | 6,24                 | 499,6                             | 7,00                 | 82,07                             | 9,03                                                      | 13,97                                      | 605,403                           | 1,50                   | HP 10 x 57           |  |  |  |  |
| W 250 x 89,0 (H)    | 89,0                    | 260     | 256                  | 10,7                 | 17,3                 | 225       | 201      | 113,9                   | 14237                             | 1095,1                            | 11,18                | 1224,4                            | 4841                              | 378,2                             | 6,52                 | 574,3                             | 7,06                 | 102,81                            | 7,40                                                      | 18,82                                      | 712,351                           | 1,50                   | W 10 x 60            |  |  |  |  |
| W 250 x 101,0 (H)   | 101,0                   | 264     | 257                  | 11,9                 | 19,6                 | 225       | 201      | 128,7                   | 16352                             | 1238,8                            | 11,27                | 1395,0                            | 5549                              | 431,8                             | 6,57                 | 656,3                             | 7,10                 | 147,70                            | 6,56                                                      | 16,87                                      | 828,031                           | 1,51                   | W 10 x 68            |  |  |  |  |
| W 250 x 115,0 (H)   | 115,0                   | 269     | 259                  | 13,5                 | 22,1                 | 225       | 201      | 146,1                   | 18920                             | 1406,7                            | 11,38                | 1597,4                            | 6405                              | 494,6                             | 6,62                 | 752,7                             | 7,16                 | 212,00                            | 5,86                                                      | 14,87                                      | 975,265                           | 1,53                   | W 10 x 77            |  |  |  |  |
| W 250 x 131,0 (H)*  | 131,0                   | 275     | 261                  | 15,4                 | 25,1                 | 225       | 193      | 167,8                   | 22243                             | 1617,7                            | 11,51                | 1855,6                            | 7448                              | 570,7                             | 6,66                 | 870,7                             | 7,21                 | 321,06                            | 5,20                                                      | 12,52                                      | 1.161.225                         | 1,54                   | W 10 x 88            |  |  |  |  |
| W 250 x 149,0 (H)*  | 149,0                   | 282     | 263                  | 17,3                 | 28,4                 | 225       | 193      | 190,5                   | 26027                             | 1845,9                            | 11,69                | 2137,5                            | 8624                              | 655,8                             | 6,73                 | 1001,7                            | 7,27                 | 462,06                            | 4,63                                                      | 11,17                                      | 1.384.436                         | 1,55                   | W 10 x 100           |  |  |  |  |
| W 250 x 167,0 (H)*  | 167,0                   | 289     | 265                  | 19,2                 | 31,8                 | 225       | 193      | 214,0                   | 30110                             | 2083,7                            | 11,86                | 2435,3                            | 9880                              | 745,7                             | 6,79                 | 1140,2                            | 7,33                 | 644,95                            | 4,17                                                      | 10,07                                      | 1.631.156                         | 1,57                   | W 10 x 112           |  |  |  |  |
| W 310 x 21,0        | 21,0                    | 303     | 101                  | 5,1                  | 5,7                  | 292       | 272      | 27,2                    | 3776                              | 249,2                             | 11,77                | 291,9                             | 98                                | 19,5                              | 1,90                 | 31,4                              | 2,42                 | 3,27                              | 8,86                                                      | 53,25                                      | 21,628                            | 0,98                   | W 12 x 14            |  |  |  |  |
| W 310 x 23,8        | 23,8                    | 305     | 101                  | 5,6                  | 6,7                  | 292       | 272      | 30,7                    | 4346                              | 285,0                             | 11,89                | 333,2                             | 116                               | 22,9                              | 1,94                 | 36,9                              | 2,45                 | 4,65                              | 7,54                                                      | 48,50                                      | 25,594                            | 0,99                   | W 12 x 16            |  |  |  |  |
| W 310 x 28,3        | 28,3                    | 309     | 102                  | 6,0                  | 8,9                  | 291       | 271      | 36,5                    | 5500                              | 356,0                             | 12,28                | 412,0                             | 158                               | 31,0                              | 2,08                 | 49,4                              | 2,55                 | 8,14                              | 5,73                                                      | 45,20                                      | 35,441                            | 1,00                   | W 12 x 19            |  |  |  |  |
| W 310 x 32,7        | 32,7                    | 313     | 102                  | 6,6                  | 10,8                 | 291       | 271      | 42,1                    | 6570                              | 419,8                             | 12,49                | 485,3                             | 192                               | 37,6                              | 2,13                 | 59,8                              | 2,58                 | 12,91                             | 4,72                                                      | 41,12                                      | 43,612                            | 1,00                   | W 12 x 22            |  |  |  |  |
| W 310 x 38,7        | 38,7                    | 310     | 165                  | 5,8                  | 9,7                  | 291       | 271      | 49,7                    | 8581                              | 553,6                             | 13,14                | 615,4                             | 727                               | 88,1                              | 3,82                 | 134,9                             | 4,38                 | 13,20                             | 8,51                                                      | 46,66                                      | 163,728                           | 1,25                   | W 12 x 26            |  |  |  |  |
| W 310 x 44,5        | 44,5                    | 313     | 166                  | 6,6                  | 11,2                 | 291       | 271      | 57,2                    | 9997                              | 638,8                             | 13,22                | 712,8                             | 855                               | 103,0                             | 3,87                 | 158,0                             | 4,41                 | 19,90                             | 7,41                                                      | 41,00                                      | 194,433                           | 1,26                   | W 12 x 30            |  |  |  |  |
| W 310 x 52,0        | 52,0                    | 317     | 167                  | 7,6                  | 13,2                 | 291       | 271      | 67,0                    | 11909                             | 751,4                             | 13,33                | 842,5                             | 1026                              | 122,9                             | 3,91                 | 188,8                             | 4,45                 | 31,81                             | 6,33                                                      | 35,61                                      | 236,422                           | 1,27                   | W 12 x 35            |  |  |  |  |
| W 310 x 60,0*       | 60,0                    | 303     | 203                  | 7,5                  | 13,1                 | 277       | 245      | 76,1                    | 12908                             | 852,0                             | 13,02                | 944,3                             | 1829                              | 180,2                             | 4,90                 | 275,4                             | 5,48                 | 40,46                             | 7,75                                                      | 32,64                                      | 383,77                            |                        |                      |  |  |  |  |

|                    |       |     |     |      |      |     |     |       |       |        |       |        |       |        |      |        |      |        |       |       |           |      |            |
|--------------------|-------|-----|-----|------|------|-----|-----|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|-------|-------|-----------|------|------------|
| HP 310 x 110,0 (H) | 110,0 | 308 | 310 | 15,4 | 15,5 | 277 | 245 | 141,0 | 23703 | 1539,1 | 12,97 | 1730,6 | 7707  | 497,3  | 7,39 | 763,7  | 8,33 | 125,66 | 10,00 | 15,91 | 1.646,104 | 1,80 | HP 12 x 74 |
| W 310 x 117,0 (H)  | 117,0 | 314 | 307 | 11,9 | 18,7 | 277 | 245 | 149,9 | 27563 | 1755,6 | 13,56 | 1952,6 | 9024  | 587,9  | 7,76 | 893,1  | 8,44 | 161,61 | 8,21  | 20,55 | 1.965,950 | 1,80 | W 12 x 79  |
| HP 310 x 125,0 (H) | 125,0 | 312 | 312 | 17,4 | 17,4 | 277 | 245 | 159,0 | 27076 | 1735,6 | 13,05 | 1963,3 | 8823  | 565,6  | 7,45 | 870,6  | 8,38 | 177,98 | 8,97  | 14,09 | 1.911,029 | 1,81 | HP 12 x 84 |
| W 310 x 129,0 (H)* | 129,0 | 318 | 308 | 13,1 | 20,6 | 277 | 245 | 165,4 | 30819 | 1938,3 | 13,65 | 2167,6 | 10039 | 651,9  | 7,79 | 991,2  | 8,48 | 214,66 | 7,48  | 18,69 | 2.218,146 | 1,81 | W 12 x 87  |
| HP 310 x 132 (H)*  | 132,0 | 314 | 313 | 18,3 | 18,3 | 277 | 245 | 167,5 | 28731 | 1830,0 | 13,10 | 2075,5 | 9371  | 598,8  | 7,48 | 922,4  | 8,41 | 206,79 | 8,55  | 13,41 | 2.044,445 | 1,82 | HP 12 x 89 |
| W 310 x 143,0 (H)* | 143,0 | 323 | 309 | 14,0 | 22,9 | 277 | 245 | 182,5 | 34812 | 2155,6 | 13,81 | 2422,2 | 11270 | 729,4  | 7,86 | 1109,2 | 8,52 | 288,76 | 6,75  | 17,51 | 2.535,314 | 1,83 | W 12 x 96  |
| W 310 x 158,0 (H)* | 158,0 | 327 | 310 | 15,5 | 25,1 | 277 | 245 | 200,7 | 38681 | 2365,8 | 13,88 | 2675,7 | 12474 | 804,8  | 7,88 | 1225,2 | 8,55 | 379,96 | 6,18  | 15,79 | 2.839,709 | 1,84 | W 12 x 106 |
| W 310 x 179,0 (H)* | 179,0 | 333 | 313 | 18,0 | 28,1 | 277 | 245 | 227,9 | 44580 | 2677,5 | 13,99 | 3056,2 | 14378 | 918,7  | 7,94 | 1401,7 | 8,62 | 541,03 | 5,57  | 13,60 | 3.337,666 | 1,85 | W 12 x 120 |
| W 310 x 202,0 (H)* | 202,0 | 341 | 315 | 20,1 | 31,8 | 277 | 245 | 258,3 | 52030 | 3051,6 | 14,19 | 3513,7 | 16589 | 1053,2 | 8,01 | 1608,7 | 8,69 | 777,99 | 4,95  | 12,21 | 3.959,374 | 1,87 | W 12 x 136 |
| W 360 x 32,9       | 32,9  | 349 | 127 | 5,8  | 8,5  | 332 | 308 | 42,1  | 8358  | 479,0  | 14,09 | 547,6  | 291   | 45,9   | 2,63 | 72,0   | 3,20 | 9,15   | 7,47  | 53,10 | 84,111    | 1,17 | W 14 x 22  |
| W 360 x 39,0       | 39,0  | 353 | 128 | 6,5  | 10,7 | 332 | 308 | 50,2  | 10331 | 585,3  | 14,35 | 667,7  | 375   | 58,6   | 2,73 | 91,9   | 3,27 | 15,83  | 5,98  | 47,32 | 109,551   | 1,18 | W 14 x 26  |
| W 360 x 44,6       | 44,6  | 352 | 171 | 6,9  | 9,8  | 332 | 308 | 57,7  | 12258 | 696,5  | 14,58 | 784,3  | 818   | 95,7   | 3,77 | 148,0  | 4,43 | 16,70  | 8,72  | 44,70 | 239,091   | 1,35 | W 14 x 30  |
| W 360 x 51,0       | 51,0  | 355 | 171 | 7,2  | 11,6 | 332 | 308 | 64,8  | 14222 | 801,2  | 14,81 | 899,5  | 968   | 113,3  | 3,87 | 174,7  | 4,49 | 24,65  | 7,37  | 42,75 | 284,994   | 1,36 | W 14 x 34  |
| W 360 x 58         | 58,0  | 358 | 172 | 7,9  | 13,1 | 332 | 308 | 72,5  | 16143 | 901,8  | 14,92 | 1014,8 | 1113  | 129,4  | 3,92 | 199,8  | 4,53 | 34,45  | 6,56  | 38,96 | 330,394   | 1,37 | W 14 x 38  |
| W 360 x 64,0       | 64,0  | 347 | 203 | 7,7  | 13,5 | 320 | 288 | 81,7  | 17890 | 1031,1 | 14,80 | 1145,5 | 1885  | 185,7  | 4,80 | 284,5  | 5,44 | 44,57  | 7,52  | 37,40 | 523,362   | 1,46 | W 14 x 43  |
| W 360 x 72,0       | 72,0  | 350 | 204 | 8,6  | 15,1 | 320 | 288 | 91,3  | 20169 | 1152,5 | 14,86 | 1285,9 | 2140  | 209,8  | 4,84 | 321,8  | 5,47 | 61,18  | 6,75  | 33,47 | 599,082   | 1,47 | W 14 x 48  |
| W 360 x 79,0       | 79,0  | 354 | 205 | 9,4  | 16,8 | 320 | 288 | 101,2 | 22713 | 1283,2 | 14,98 | 1437,0 | 2416  | 235,7  | 4,89 | 361,9  | 5,51 | 82,41  | 6,10  | 30,68 | 685,701   | 1,48 | W 14 x 53  |
| W 360 x 91,0 (H)   | 91,0  | 353 | 254 | 9,5  | 16,4 | 320 | 288 | 115,9 | 26755 | 1515,9 | 15,19 | 1680,1 | 4483  | 353,0  | 6,22 | 538,1  | 6,90 | 92,61  | 7,74  | 30,34 | 1.268,709 | 1,68 | W 14 x 61  |
| W 360 x 101,0 (H)  | 101,0 | 357 | 255 | 10,5 | 18,3 | 320 | 286 | 129,5 | 30279 | 1696,3 | 15,29 | 1888,9 | 5063  | 397,1  | 6,25 | 606,1  | 6,93 | 128,47 | 6,97  | 27,28 | 1.450,410 | 1,68 | W 14 x 68  |
| W 360 x 110,0 (H)  | 110,0 | 360 | 256 | 11,4 | 19,9 | 320 | 288 | 140,6 | 33155 | 1841,9 | 15,36 | 2059,3 | 5570  | 435,2  | 6,29 | 664,5  | 6,96 | 161,93 | 6,93  | 25,28 | 1.609,070 | 1,69 | W 14 x 74  |
| W 360 x 122,0 (H)  | 122,0 | 363 | 257 | 13,0 | 21,7 | 320 | 288 | 155,3 | 36599 | 2016,5 | 15,35 | 2269,8 | 6147  | 478,4  | 6,29 | 732,4  | 6,98 | 212,70 | 5,92  | 22,12 | 1.787,806 | 1,70 | W 14 x 82  |
| W 410 x 38,8       | 38,8  | 399 | 140 | 6,4  | 8,8  | 381 | 357 | 50,3  | 12777 | 640,5  | 15,94 | 736,8  | 404   | 57,7   | 2,83 | 90,9   | 3,49 | 11,69  | 7,95  | 55,84 | 163,190   | 1,32 | W 16 x 26  |
| W 410 x 46,1       | 46,1  | 403 | 140 | 7,0  | 11,2 | 381 | 357 | 59,2  | 15690 | 778,7  | 16,27 | 891,1  | 514   | 73,4   | 2,95 | 115,2  | 3,55 | 20,06  | 6,25  | 50,94 | 196,571   | 1,33 | W 16 x 31  |
| W 410 x 53,0       | 53,0  | 403 | 177 | 7,5  | 10,9 | 381 | 357 | 68,4  | 18734 | 929,7  | 16,55 | 1052,2 | 1009  | 114,0  | 3,84 | 176,9  | 4,56 | 23,38  | 8,12  | 47,63 | 387,194   | 1,48 | W 16 x 36  |
| W 410 x 60,0       | 60,0  | 407 | 178 | 7,7  | 12,8 | 381 | 357 | 76,2  | 21707 | 1066,7 | 16,88 | 1201,5 | 1205  | 135,4  | 3,98 | 209,2  | 4,65 | 33,78  | 6,95  | 46,42 | 467,404   | 1,49 | W 16 x 40  |
| W 410 x 67,0       | 67,0  | 410 | 179 | 8,8  | 14,4 | 381 | 357 | 86,3  | 24678 | 1203,8 | 16,91 | 1362,7 | 1379  | 154,1  | 4,00 | 239,0  | 4,67 | 48,11  | 6,22  | 40,59 | 538,546   | 1,50 | W 16 x 45  |
| W 410 x 75,0       | 75,0  | 413 | 180 | 9,7  | 16,0 | 381 | 357 | 95,8  | 27616 | 1337,3 | 16,98 | 1518,6 | 1559  | 173,2  | 4,03 | 269,1  | 4,70 | 65,21  | 5,63  | 36,80 | 612,784   | 1,51 | W 16 x 50  |
| W 410 x 85,0       | 85,0  | 417 | 181 | 10,9 | 18,2 | 381 | 357 | 108,6 | 31658 | 1518,4 | 17,07 | 1731,7 | 1804  | 199,3  | 4,08 | 310,4  | 4,74 | 94,48  | 4,97  | 32,72 | 715,165   | 1,52 | W 16 x 57  |
| W 460 x 52,0       | 52,0  | 450 | 152 | 7,6  | 10,8 | 428 | 404 | 66,6  | 21370 | 949,8  | 17,91 | 1095,9 | 634   | 83,5   | 3,09 | 131,7  | 3,79 | 21,79  | 7,04  | 53,21 | 304,837   | 1,47 | W 18 x 35  |
| W 460 x 60,0       | 60,0  | 455 | 153 | 8,0  | 13,3 | 428 | 404 | 76,2  | 25652 | 1127,6 | 18,35 | 1292,1 | 796   | 104,1  | 3,23 | 163,4  | 3,89 | 34,60  | 5,75  | 50,55 | 387,230   | 1,49 | W 18 x 40  |
| W 460 x 68,0       | 68,0  | 459 | 154 | 9,1  | 15,4 | 428 | 404 | 87,6  | 29851 | 1300,7 | 18,46 | 1495,4 | 941   | 122,2  | 3,28 | 192,4  | 3,93 | 52,29  | 5,00  | 44,42 | 461,163   | 1,50 | W 18 x 46  |
| W 460 x 74,0       | 74,0  | 457 | 190 | 9,0  | 14,5 | 428 | 404 | 94,9  | 33415 | 1462,4 | 18,77 | 1657,4 | 1661  | 174,8  | 4,18 | 271,3  | 4,93 | 52,97  | 6,55  | 44,89 | 811,417   | 1,64 | W 18 x 50  |
| W 460 x 82,0       | 82,0  | 460 | 191 | 9,9  | 16,0 | 428 | 404 | 104,7 | 37157 | 1615,5 | 18,84 | 1836,4 | 1862  | 195,0  | 4,22 | 303,3  | 4,96 | 70,62  | 5,97  | 40,81 | 915,745   | 1,64 | W 18 x 55  |
| W 460 x 89,0       | 89,0  | 463 | 192 | 10,5 | 17,7 | 428 | 404 | 114,1 | 41105 | 1775,6 | 18,98 | 2019,4 | 2093  | 218,0  | 4,28 | 339,0  | 5,01 | 92,49  | 5,42  | 38,44 | 1.035,073 | 1,65 | W 18 x 60  |
| W 460 x 97,0       | 97,0  | 466 | 193 | 11,4 | 19,0 | 428 | 404 | 123,4 | 44658 | 1916,7 | 19,03 | 2187,4 | 2283  | 236,6  | 4,30 | 368,8  | 5,03 | 115,05 | 5,08  | 35,44 | 1.137,180 | 1,66 | W 18 x 65  |
| W 460 x 106,0      | 106,0 | 469 | 194 | 12,6 | 20,6 | 428 | 404 | 135,1 | 48978 | 2088,6 | 19,04 | 2394,6 | 2515  | 259,3  | 4,32 | 405,7  | 5,05 | 148,19 | 4,71  | 32,05 | 1.260,063 | 1,67 | W 18 x 71  |
| W 530 x 66,0       | 66,0  | 525 | 165 | 8,9  | 11,4 | 502 | 478 | 83,6  | 34971 | 1332,2 | 20,46 | 1558,0 | 857   | 103,9  | 3,20 | 166,0  | 4,02 | 31,52  | 7,24  | 53,73 | 562,854   | 1,67 | W 21 x 44  |
| W 530 x 72,0       | 72,0  | 524 | 207 | 9,0  | 10,9 | 502 | 478 | 91,6  | 39969 | 1525,5 | 20,89 | 1755,9 | 1615  | 156,0  | 4,20 | 244,6  | 5,16 | 33,41  | 9,50  | 53,13 | 1.080,548 | 1,84 | W 21 x 48  |
| W 530 x 74,0       | 74,0  | 529 | 166 | 9,7  | 13,6 | 502 | 478 | 95,1  | 40969 | 1548,9 | 20,76 | 1804,9 | 1041  | 125,5  | 3,31 | 200,1  | 4,10 | 47,39  | 6,10  | 49,26 | 688,558   | 1,68 | W 21 x 50  |
| W 530 x 82,0       | 82,0  | 528 | 209 | 9,5  | 13,3 | 501 | 477 | 104,5 | 47569 | 1801,8 | 21,34 | 2058,5 | 2028  | 194,1  | 4,41 | 302,7  | 5,31 | 51,23  | 7,86  | 50,25 | 1.340,255 | 1,85 | W 21 x 55  |
| W 530 x 85,0       | 85,0  | 535 | 166 | 10,3 | 16,5 | 502 | 478 | 107,7 | 48453 | 1811,3 | 21,21 | 2099,8 | 1263  | 152,2  | 4,42 | 241,6  | 4,17 | 72,93  | 5,03  | 46,41 | 845,463   | 1,69 | W 21 x 57  |
| W 530 x 92,0       | 92,0  | 533 | 209 | 10,2 | 15,6 | 502 | 478 | 117,6 | 55157 | 2069,7 | 21,65 | 2359,8 | 2379  | 227,8  | 4,50 | 354,7  | 5,36 | 75,50  | 6,70  | 46,84 | 1.588,565 | 1,86 | W 21 x 62  |
| W 530 x 101,0      | 101,0 | 537 | 210 | 10,9 | 17,4 | 502 | 470 | 130,0 | 62198 | 2316,5 | 21,87 | 2640,4 | 2693  | 256,5  | 4,55 | 400,6  | 5,40 | 106,04 | 6,03  | 43,14 | 1.812,734 | 1,86 | W 21 x 68  |
| W 530 x 109,0      | 109,0 | 539 | 211 | 11,6 | 18,8 | 501 | 469 | 139,7 | 67226 | 2494,5 | 21,94 | 2847,0 | 2952  | 279,8  | 4,60 | 437,4  | 5,44 | 131,38 | 5,61  | 40,47 | 1.991,291 | 1,87 | W 21 x 73  |
| W 530 x 123,0*     | 123,0 | 544 | 212 | 13,1 | 21,2 | 502 | 470 | 157,8 | 76577 | 2815,3 | 22,03 | 3228,1 | 3378  | 318,7  | 4,63 | 500,2  | 5,47 | 186,69 | 5,00  | 35,85 | 2.300,400 | 1,88 | W 21 x 83  |
| W 530 x 138,0*     | 138,0 | 549 | 214 | 14,7 | 23,8 | 501 | 469 | 177,8 | 87079 | 3172,3 | 22,13 | 3653,3 | 3904  | 364,8  | 4,69 | 574,5  | 5,53 | 262,76 | 4,50  | 31,93 | 2.680,751 | 1,90 | W 21 x 93  |
| W 610 x 82,0       | 82,0  | 599 | 178 | 10,0 | 12,8 | 573 | 541 | 105,1 | 56628 | 1890,8 | 23,21 | 2219,9 | 1210  | 135,9  | 3,39 | 219,0  | 4,29 | 51,82  | 6,95  | 54,14 | 1.033,595 | 1,86 | W 24 x 55  |
| W 610 x 92,0       | 92,0  | 603 | 179 | 10,9 | 15,0 | 573 | 541 | 118,4 | 65277 | 2185,1 | 23,48 | 2535,8 | 1442  | 161,1  | 3,49 | 259,3  | 4,37 | 74,73  | 5,97  | 49,63 | 1.239,349 | 1,87 | W 24 x 62  |
| W 610 x 101,0      | 101,0 | 603 | 228 | 10,5 | 14,9 | 573 | 541 | 130,3 | 77003 | 2554,0 | 24,31 | 2922,7 | 2951  | 258,8  | 4,76 | 405,0  | 5,76 | 81,68  | 7,65  | 51,54 | 2.544,966 | 2,07 | W 24 x 68  |
| W 610 x 113,0      | 113,0 | 608 | 228 | 11,2 | 17,3 | 573 | 541 | 145,3 | 88196 | 2901,2 | 24,64 | 3312,9 | 3426  | 300,5  | 4,86 | 469,7  | 5,82 | 116,50 | 6,59  | 48,34 | 2.981,078 | 2,08 | W 24 x 76  |
| W 610 x 125,0      | 125,0 | 612 | 229 | 11,9 | 19,6 | 573 | 541 | 160,1 | 99184 | 3241,3 | 24,89 | 3697,3 | 3933  | 343,5  | 4,96 | 536,3  | 5,89 | 159,50 | 5,84  | 45,45 | 3.441,766 | 2,09 | W 24 x     |



PROPRIEDADES MECÂNICAS PERFIS W E HP

|                              | ASTM A 572 Grau 50 | ASTM A 572 Grau 60* | ASTM A 992* | AÇO COR 500* | ASTM A 131 AH32* | ASTM A 131 AH36* |
|------------------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|------------------|------------------|
| Limite de Escoamento (MPa)   | 345 mín.           | 415 mín.            | 345 a 450   | 370 mín.     | 315 mín.         | 355 mín.         |
| Limite de Resistência (MPa)  | 450 mín.           | 520 mín.            | 450 mín.    | 500 mín.     | 440 a 590        | 490 a 620        |
| Alongamento após ruptura (%) | 18 mín.            | 16 mín.             | 18 mín.     | 18 mín.      | 19 mín.          | 19 mín.          |

\*Sob encomenda.

NOTAS

- 1) Variação da massa linear: + 3% ~ - 2,5% para bitolas com massa linear menor que 148 kg/m e +/- 2,5% para as demais bitolas.  
2) Materiais certificados para uso naval, produzidos sob encomenda.  
3) Perfis destinados ao mercado europeu com selo CE Marking (S275 e S355, em atendimento à norma EN 10025-2) e ao mercado argentino com selo IRAM INTI (F36 e F26, em atendimento à norma IRAM IAS U500-503). Produzidos sob encomenda.

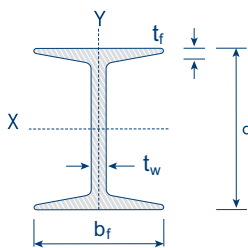


PROPRIEDADES MECÂNICAS PERFIS I, U, T E CANTONEIRAS

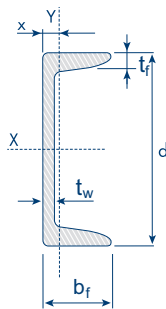
|                             | ASTM A36  | ASTM A572 Grau 50 | ASTM A572 Grau 60 | ASTM A588* |
|-----------------------------|-----------|-------------------|-------------------|------------|
| Limite de Escoamento (MPa)  | 250 mín.  | 350 mín.          | 415 mín.          | 350 mín.   |
| Limite de Resistência (MPa) | 400 a 550 | 450 mín.          | 520 mín.          | 485 mín.   |
| Alongamento 200 mm (%)      | 20 mín.   | 18 mín.           | 16 mín.           | 18 mín.    |
| Alongamento 50 mm (%)       | 21 mín.   | 21 mín.           | 18 mín.           | 21 mín.    |
| Equivalência NBR 7007       | MR 250    | AR 350            | AR 415            | AR 350 COR |

\*Sob encomenda.

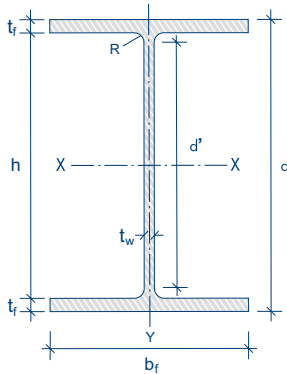
GEOMETRIA



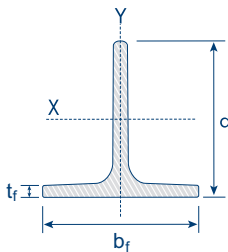
PERFIL I



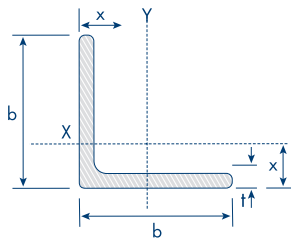
PERFIL U



PERFIL W e HP



PERFIL T



CANTONEIRAS ABAS IGUAIS

[www.gerdau.com.br](http://www.gerdau.com.br)  
[www.profissionaldoaco.com.br](http://www.profissionaldoaco.com.br)



/gerdau



/gerdau



@gerdau



/gerdau



/GerdauSA



Ao utilizar matéria-prima reciclada na confecção deste folder, contribuimos com o desenvolvimento sustentável da sociedade. "Reciclamos sem fim" é uma iniciativa que nos mobiliza e está presente em nosso dia a dia.

## ÍNDICE

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1. DADOS DE OBRA.....            | 2 |
| 1.1. Normas consideradas.....    | 2 |
| 1.2. Estados limites.....        | 2 |
| 1.2.1. Situações de projeto..... | 2 |
| 1.2.2. Combinações.....          | 3 |
| 2. ESTRUTURA.....                | 5 |
| 2.1. Geometria.....              | 5 |
| 2.1.1. Barras.....               | 5 |
| 2.2. Resultados.....             | 6 |
| 2.2.1. Barras.....               | 6 |



## 1. DADOS DE OBRA

### 1.1. Normas consideradas

Aços laminados e soldados: ABNT NBR 8800:2008

Categoria de uso: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens

### 1.2. Estados limites

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| E.L.U. Aço laminado | NBR 8800: 2008        |
| Deslocamentos       | Ações características |

#### 1.2.1. Situações de projeto

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios:

- Com coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sem coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Onde:

$G_k$  Ação permanente

$P_k$  Ação de pré-esforço

$Q_k$  Ação variável

$\gamma_G$  Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes

$\gamma_P$  Coeficiente parcial de segurança da ação de pré-esforço

$\gamma_{Q,1}$  Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal

$\gamma_{Q,i}$  Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento

$\Psi_{p,1}$  Coeficiente de combinação da ação variável principal

$\Psi_{a,i}$  Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento

Para cada situação de projeto e estado limite, os coeficientes a utilizar serão:

E.L.U. Aço laminado: ABNT NBR 8800:2008

| Normal         |                                                 |              |                                       |                             |
|----------------|-------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|                | Coeficientes parciais de segurança ( $\gamma$ ) |              | Coeficientes de combinação ( $\psi$ ) |                             |
|                | Favorável                                       | Desfavorável | Principal ( $\psi_p$ )                | Acompanhamento ( $\psi_a$ ) |
| Permanente (G) | 1.000                                           | 1.500        | -                                     | -                           |
| Sobrecarga (Q) | 0.000                                           | 1.500        | 1.000                                 | 0.800                       |



## Deslocamentos

| Ações variáveis sem sismo |                                                 |              |
|---------------------------|-------------------------------------------------|--------------|
|                           | Coeficientes parciais de segurança ( $\gamma$ ) |              |
|                           | Favorável                                       | Desfavorável |
| Permanente (G)            | 1.000                                           | 1.000        |
| Sobrecarga (Q)            | 0.000                                           | 1.000        |

## 1.2.2. Combinações

## ▪ Nomes das ações

PP      Peso próprio

CP 1    CP 1

CP 2    CP 2

CP 3    CP 3

SCU 1   SCU 1

SCU 2   SCU 2

## ▪ E.L.U. Aço laminado



| Comb. | PP    | CP 1  | CP 2  | CP 3  | SCU 1 | SCU 2 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 2     | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 3     | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 4     | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 5     | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.000 |       |       |
| 6     | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.000 |       |       |
| 7     | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.000 |       |       |
| 8     | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.000 |       |       |
| 9     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       |       |
| 10    | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       |       |
| 11    | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.500 |       |       |
| 12    | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.500 |       |       |
| 13    | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |       |       |
| 14    | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |       |       |
| 15    | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |       |       |
| 16    | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |       |       |
| 17    | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       |
| 18    | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       |
| 19    | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       |
| 20    | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       |
| 21    | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.500 |       |
| 22    | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.500 |       |
| 23    | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.500 |       |
| 24    | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.500 |       |
| 25    | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |       |
| 26    | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |       |
| 27    | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |       |
| 28    | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |       |
| 29    | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |       |
| 30    | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |       |
| 31    | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |       |
| 32    | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |       |
| 33    | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       | 1.500 |
| 34    | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       | 1.500 |
| 35    | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.000 |       | 1.500 |
| 36    | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.000 |       | 1.500 |
| 37    | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.000 |       | 1.500 |
| 38    | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.000 |       | 1.500 |
| 39    | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.000 |       | 1.500 |
| 40    | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.000 |       | 1.500 |
| 41    | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       | 1.500 |
| 42    | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       | 1.500 |
| 43    | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.500 |       | 1.500 |
| 44    | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.500 |       | 1.500 |
| 45    | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |       | 1.500 |
| 46    | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |       | 1.500 |
| 47    | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |       | 1.500 |



| Comb. | PP    | CP 1  | CP 2  | CP 3  | SCU 1 | SCU 2 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 48    | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |       | 1.500 |
| 49    | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| 50    | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| 51    | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| 52    | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| 53    | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| 54    | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| 55    | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| 56    | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| 57    | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 58    | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 59    | 1.000 | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 60    | 1.500 | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 61    | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 62    | 1.500 | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 63    | 1.000 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 64    | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |

## ▪ Deslocamentos

| Comb. | PP    | CP 1  | CP 2  | CP 3  | SCU 1 | SCU 2 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |       |
| 2     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       |
| 3     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |       | 1.000 |
| 4     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

## 2. ESTRUTURA

### 2.1. Geometria

#### 2.1.1. Barras

##### 2.1.1.1. Materiais utilizados

| Materiais utilizados                                                                                                                                                                       |             |            |       |            |                         |                           |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|-------|------------|-------------------------|---------------------------|--------------|
| Material                                                                                                                                                                                   |             | E<br>(MPa) | ν     | G<br>(MPa) | f <sub>y</sub><br>(MPa) | α <sub>t</sub><br>(m/m°C) | γ<br>(kN/m³) |
| Tipo                                                                                                                                                                                       | Designação  |            |       |            |                         |                           |              |
| Aço laminado                                                                                                                                                                               | A-36 250Mpa | 200000.00  | 0.300 | 77000.00   | 250.00                  | 0.000012                  | 77.01        |
| Notação:<br>E: Módulo de elasticidade<br>n: Módulo de poisson<br>G: Módulo de corte<br>f <sub>y</sub> : Limite elástico<br>α <sub>t</sub> : Coeficiente de dilatação<br>g: Peso específico |             |            |       |            |                         |                           |              |

##### 2.1.1.2. Tabela resumo



# Relatórios

Mezanino\_Industrial

Data: 21/09/24

| Tabela resumo |             |               |              |             |           |              |             |            |               |             |            |               |
|---------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-----------|--------------|-------------|------------|---------------|-------------|------------|---------------|
| Material      |             | Série         | Perfil       | Comprimento |           |              | Volume      |            |               | Peso        |            |               |
| Tipo          | Designação  |               |              | Perfil (m)  | Série (m) | Material (m) | Perfil (m³) | Série (m³) | Material (m³) | Perfil (kg) | Série (kg) | Material (kg) |
| Aço laminado  | A-36 250Mpa | I             | W 250 x 17.9 | 12.000      | 278.000   |              | 0.028       | 2.599      |               | 217.60      | 20402.93   |               |
|               |             |               | W 530 x 82   | 30.000      |           |              | 0.314       |            |               | 2460.97     |            |               |
|               |             |               | W 610 x 125  | 15.000      |           |              | 0.240       |            |               | 1885.18     |            |               |
|               |             |               | W 360 x 72   | 221.000     |           |              | 2.018       |            |               | 15839.18    |            |               |
|               |             | H             | W 200 x 46.1 | 15.000      | 15.000    |              | 0.088       | 0.088      |               | 690.01      | 690.01     |               |
|               |             |               | 1/4"         | 68.367      |           |              | 0.002       |            |               | 17.00       |            |               |
|               |             | Barra redonda | 1/4"         | 68.367      | 68.367    |              | 0.002       | 0.002      |               | 17.00       | 17.00      |               |
|               |             |               |              |             |           |              |             |            |               |             |            |               |
|               |             |               |              |             |           |              |             |            |               |             |            |               |
|               |             |               |              |             |           | 361.367      |             |            | 2.689         |             |            | 21109.95      |

## 2.1.1.3. Quantitativos de superfícies

| Aço laminado: Quantitativos das superfícies a pintar |              |                            |                 |                 |
|------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Série                                                | Perfil       | Superfície unitária (m²/m) | Comprimento (m) | Superfície (m²) |
| I                                                    | W 250 x 17.9 | 0.896                      | 12.000          | 10.757          |
|                                                      | W 530 x 82   | 1.873                      | 30.000          | 56.190          |
|                                                      | W 610 x 125  | 2.116                      | 15.000          | 31.743          |
|                                                      | W 360 x 72   | 1.499                      | 221.000         | 331.235         |
| H                                                    | W 200 x 46.1 | 1.204                      | 15.000          | 18.054          |
| Barra redonda                                        | 1/4"         | 0.020                      | 68.367          | 1.364           |
| Total                                                |              |                            |                 | 449.342         |

## 2.2. Resultados

### 2.2.1. Barras

#### 2.2.1.1. Verificações E.L.U. (Completo)

Nota: Mostra-se o relatório completo de verificações realizadas para as 10 barras com maior coeficiente de aproveitamento.

#### Barra N1/N2

| Perfil: W 250 x 17.9<br>Material: Aço (A-36 250Mpa) |                                                                                                                                                          |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                     | Nós                                                                                                                                                      |           | Comprimento (m) | Características mecânicas |                                     |                                     |                                     |
|                                                     | Inicial                                                                                                                                                  | Final     |                 | Área (cm²)                | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm4) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm4) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm4) |
|                                                     | N1                                                                                                                                                       | N2        | 3.000           | 23.10                     | 2291.00                             | 91.00                               | 2.54                                |
|                                                     | Notas:<br><sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado<br><sup>(2)</sup> Momento de inércia à torção uniforme                                      |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|                                                     |                                                                                                                                                          | Flambagem |                 | Flambagem lateral         |                                     |                                     |                                     |
|                                                     |                                                                                                                                                          | Plano ZX  | Plano ZY        | Aba sup.                  | Aba inf.                            |                                     |                                     |
|                                                     | β                                                                                                                                                        | 0.80      | 0.80            | 0.00                      | 0.00                                |                                     |                                     |
|                                                     | L <sub>K</sub>                                                                                                                                           | 2.400     | 2.400           | 0.000                     | 0.000                               |                                     |                                     |
|                                                     | C <sub>b</sub>                                                                                                                                           | -         |                 | 1.000                     |                                     |                                     |                                     |
|                                                     | Notação:<br>b: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |

**Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)**

O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200.

$$\lambda \leq 200$$

$$I : \underline{120.9} \quad \checkmark$$

Onde:

I: Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

$$I_x : \underline{24.1}$$

$$I_y : \underline{120.9}$$

Sendo:

$K_x \cdot L_x$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{2.400} \text{ m}$$

$K_y \cdot L_y$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{2.400} \text{ m}$$

$r_x, r_y$ : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{9.96} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.98} \text{ cm}$$

**Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)**

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.750} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$N_{c,Sd}$ : Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{178.63} \text{ kN}$$

A força axial de compressão resistente de cálculo,  $N_{c,Rd}$ , deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{238.03} \text{ kN}$$

Onde:

c: Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$c : \underline{0.483}$$

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.938}$$

$A_g$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{23.10} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução c: (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$$c : \underline{0.483}$$

Onde:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$I_0 : \underline{1.318}$$

Sendo:



Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

$A_g$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$N_e$ : Força axial de flambagem elástica.

$$Q : \underline{0.938}$$

$$A_g : \underline{23.10} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$N_e : \underline{311.85} \text{ kN}$$

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E)

A força axial de flambagem elástica,  $N_e$ , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c):

$$N_e : \underline{311.85} \text{ kN}$$

- (a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{7851.13} \text{ kN}$$

Onde:

$K_x \cdot L_x$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{2.400} \text{ m}$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{2291.00} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

- (b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{311.85} \text{ kN}$$

Onde:

$K_y \cdot L_y$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{2.400} \text{ m}$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{91.00} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

- (c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right]$$

$$N_{ez} : \underline{\infty}$$

Onde:

$K_z \cdot L_z$ : Comprimento de flambagem por torção.

$$K_z \cdot L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{13735.00} \text{ cm}^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

$$G : \underline{77000} \text{ MPa}$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{2.54} \text{ cm}^4$$

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$r_0 : \underline{10.15} \text{ cm}$$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2}$$

Onde:

$r_x, r_y$ : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{9.96} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.98} \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$x_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Flambagem local de barras axialmente comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)



As barras submetidas a força axial de compressão, nas quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura ( $b/t$ ) maiores que os valores limite dados na Tabela F.1, têm o fator de redução total  $Q$  dado por:

$$Q = Q_s \cdot Q_a$$

$$Q : \underline{0.938}$$

Onde:

$Q_s$ : Fator de redução que tem em conta a flambagem local dos elementos AL. Quando existem dois ou mais elementos AL com fatores de redução  $Q_s$  diferentes, adota-se o menor destes fatores.

$$Q_s : \underline{1.000}$$

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$9.53 \leq 15.84$$

$$Q_s = 1.000$$

$$Q_s : \underline{1.000}$$

Sendo:

$(b/t)$ : Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{9.53}$$

Onde:

$b$ : Largura.

$$b : \underline{50.50} \text{ mm}$$

$t$ : Espessura.

$$t : \underline{5.30} \text{ mm}$$

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$Q_a$ : Fator de redução que leva em conta a flambagem local dos elementos AA.

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

$$Q_a : \underline{0.938}$$

Sendo:

$A_g$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{23.10} \text{ cm}^2$$

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : \underline{21.67} \text{ cm}^2$$

$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) \cdot t$$

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) > 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$50.08 > 42.14$$

$$b_{ef} = 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left[ 1 - \frac{c_a}{b/t} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right] \leq b$$

$$b_{ef} : \underline{210.62} \text{ mm}$$

Sendo:

$(b/t)$ : Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{50.08}$$

Onde:

$b$ : Largura.

$$b : \underline{240.40} \text{ mm}$$

$t$ : Espessura.

$$t : \underline{4.80} \text{ mm}$$

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$C_a$ : Coeficiente para elementos que não sejam mesas ou almas de seções tubulares retangulares.

$$C_a : \underline{0.34}$$

**Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.5·PP+CP1+CP2+CP3+1.5·SCU1.

$M_{Sd}^+$ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$50.08 \leq 161.22$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$I : \underline{50.08}$$

Sendo:

$h$ : Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{240.40} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{4.80} \text{ mm}$$

$$\lambda_r = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$I_r : \underline{161.22}$$

Sendo:

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : \underline{47.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- (a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{62.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_x$ : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{182.55} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

- (c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$9.53 \leq 10.75$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{47.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$I : \underline{9.53}$$

Sendo:



# Relatórios

Mezanino\_Industrial

Data: 21/09/24

$b_f$ : Largura da mesa comprimida.

$b_f$  : 101.00 mm

$t_f$ : Espessura da mesa comprimida.

$t_f$  : 5.30 mm

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$I_p$  : 10.75

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$f_y$  : 250.00 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$M_{pl}$  : 52.75 kN

Onde:

$Z_x$ : Módulo de resistência plástico.

$Z_x$  : 211.00 cm<sup>3</sup>

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$f_y$  : 250.00 MPa

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$\gamma_{a1}$  : 1.10

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$50.08 \leq 106.35$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$M_{Rd}$  : 47.95 kN·m

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$I$  : 50.08

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

h : 240.40 mm

$t_w$ : Espessura da alma.

$t_w$  : 4.80 mm

$$\lambda_p = 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$I_p$  : 106.35

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$f_y$  : 250.00 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$M_{pl}$  : 52.75 kN

Onde:

$Z_x$ : Módulo de resistência plástico.

$Z_x$  : 211.00 cm<sup>3</sup>

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$f_y$  : 250.00 MPa

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$\gamma_{a1}$  : 1.10



## Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.229} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$M_{Sd}^+$ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd}^+ : \underline{1.41} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : \underline{6.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- (a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{6.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_y$ : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_y : \underline{18.02} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (b) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$9.53 \leq 10.75$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{6.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$l : \underline{9.53}$$

Sendo:

$b_f$ : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{101.00} \text{ mm}$$

$t_f$ : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{5.30} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$l_p : \underline{10.75}$$

Sendo:

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{7.20} \text{ kN}$$

Onde:

$Z_y$ : Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{28.80} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

**Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$V_{Sd}$ : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{Sd} : \underline{0.70} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$9.53 \leq 34.08$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{145.99} \text{ kN}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$l : \underline{9.53}$$

Sendo:

$b_f$ : Largura das mesas.

$$b_f : \underline{101.00} \text{ mm}$$

$t_f$ : Espessura das mesas.

$$t_f : \underline{5.30} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$l_p : \underline{34.08}$$

Sendo:

$k_v$ : Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{1.20}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : \underline{160.59} \text{ kN}$$

Sendo:

$A_w$ : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f$$

$$A_w : \underline{10.71} \text{ cm}^2$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

**Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+CP1+CP2+CP3+1.5·SCU1.

$V_{Sd}$ : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{Sd} < \underline{0.01} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$50.08 \leq 69.57$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{164.29} \text{ kN}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$I : \underline{50.08}$$

Sendo:

$h$ : Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{240.40} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{4.80} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$I_p : \underline{69.57}$$

Sendo:

$k_v$ : Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{5.00}$$

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : \underline{180.72} \text{ kN}$$

Sendo:

$A_w$ : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{12.05} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{251.00} \text{ mm}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

**Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)**

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$h : \underline{0.950} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$N_{c,Sd}$ : Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{177.83} \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{x,Sd} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{y,Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{y,Sd} : \underline{1.41} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Sd} / N_{Rd} \geq 0.2$$

$$0.747 \geq 0.200$$

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1$$

$$h : \underline{0.950}$$

Onde:

$N_{c,Rd}$ : Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3).

$$N_{c,Rd} : \underline{238.03} \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2).

$$M_{x,Rd} : \underline{47.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{6.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)**

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

**Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)**

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

**Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)**

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



## Barra N10/N9

|                                                     |                                                                                                                                                          |       |                 |                           |                                     |                                     |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Perfil: W 200 x 46.1<br>Material: Aço (A-36 250Mpa) |                                                                                                                                                          |       |                 |                           |                                     |                                     |
|                                                     | Nós                                                                                                                                                      |       | Comprimento (m) | Características mecânicas |                                     |                                     |
|                                                     | Inicial                                                                                                                                                  | Final |                 | Área (cm²)                | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm⁴) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm⁴) |
|                                                     | N10                                                                                                                                                      | N9    | 3.000           | 58.60                     | 4543.00                             | 1535.00                             |
|                                                     | Notas:<br>(1) Inércia em relação ao eixo indicado<br>(2) Momento de inércia à torção uniforme                                                            |       |                 |                           |                                     |                                     |
|                                                     |                                                                                                                                                          |       |                 | Flambagem                 |                                     | Flambagem lateral                   |
|                                                     |                                                                                                                                                          |       |                 | Plano ZX                  | Plano ZY                            | Aba sup. / Aba inf.                 |
|                                                     |                                                                                                                                                          |       |                 | β                         | 0.80                                | 0.80                                |
|                                                     |                                                                                                                                                          |       |                 | L <sub>K</sub>            | 2.400                               | 2.400                               |
|                                                     |                                                                                                                                                          |       |                 | C <sub>b</sub>            | -                                   | 1.000                               |
|                                                     | Notação:<br>b: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |       |                 |                           |                                     |                                     |

**Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)**

O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200.

$$\lambda \leq 200$$

$$I : \underline{46.9} \quad \checkmark$$

Onde:

I: Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

$$I_x : \underline{27.3}$$

$$I_y : \underline{46.9}$$

Sendo:

K<sub>x</sub>·L<sub>x</sub>: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{2.400} \text{ m}$$

K<sub>y</sub>·L<sub>y</sub>: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{2.400} \text{ m}$$

r<sub>x</sub>, r<sub>y</sub>: Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{8.80} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{5.12} \text{ cm}$$

**Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)**

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.947} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N10, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

N<sub>c,Sd</sub>: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{1122.42} \text{ kN}$$



A força axial de compressão resistente de cálculo,  $N_{c,Rd}$ , deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1185.28} \text{ kN}$$

Onde:

c: Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$c : \underline{0.890}$$

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

$A_g$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{58.60} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução c: (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$$c : \underline{0.890}$$

Onde:

$I_0$ : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$I_0 : \underline{0.528}$$

Sendo:

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

$A_g$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{58.60} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$N_e$ : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{5260.36} \text{ kN}$$

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E)

A força axial de flambagem elástica,  $N_e$ , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c):

$$N_e : \underline{5260.36} \text{ kN}$$

(a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{15568.62} \text{ kN}$$

Onde:

$K_x \cdot L_x$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{2.400} \text{ m}$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{4543.00} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

(b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{5260.36} \text{ kN}$$

Onde:

$K_y \cdot L_y$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{2.400} \text{ m}$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{1535.00} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

(c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z:



$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right]$$

$$N_{ez} : \quad \infty$$

Onde:

$K_z \cdot L_z$ : Comprimento de flambagem por torção.

E: Módulo de elasticidade do aço.

$C_w$ : Constante de empenamento da seção transversal.

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

J: Constante de torção da seção transversal.

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)}$$

$$\begin{aligned} K_z \cdot L_z &: \quad 0.000 \quad \text{m} \\ E &: \quad 200000 \quad \text{MPa} \\ C_w &: \quad 141342.00 \quad \text{cm}^6 \\ G &: \quad 77000 \quad \text{MPa} \\ J &: \quad 22.01 \quad \text{cm}^4 \end{aligned}$$

Onde:

$r_x, r_y$ : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$X_0, Y_0$ : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$\begin{aligned} r_0 &: \quad 10.18 \quad \text{cm} \\ r_x &: \quad 8.80 \quad \text{cm} \\ r_y &: \quad 5.12 \quad \text{cm} \\ X_0 &: \quad 0.00 \quad \text{mm} \\ Y_0 &: \quad 0.00 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

Flambagem local de barras axialmente comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)

Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1.

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim}$$

$$9.23 \leq 15.84$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \quad 9.23$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \quad 101.50 \quad \text{mm}$$

t: Espessura.

$$t : \quad 11.00 \quad \text{mm}$$

(b/t)<sub>lim</sub>: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} = 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/t)_{lim} : \quad 15.84$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \quad 200000 \quad \text{MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \quad 250.00 \quad \text{MPa}$$

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim}$$

$$25.14 \leq 42.14$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \quad 25.14$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \quad 181.00 \quad \text{mm}$$

t: Espessura.

$$t : \quad 7.20 \quad \text{mm}$$

(b/t)<sub>lim</sub>: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/t)_{lim} : \quad 42.14$$



Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

E : 200000 MPa

$f_y$  : 250.00 MPa

#### Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

#### Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

#### Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

#### Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

#### Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

#### Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

#### Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

#### Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



## Barra N37/N9

|                                                              |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Perfil: W 610 x 125<br>Material: Aço (A-36 250Mpa)           |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|                                                              | Nós                                                 |           | Comprimento (m) | Características mecânicas |                                     |                                     |                                     |
|                                                              | Inicial                                             | Final     |                 | Área (cm²)                | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm4) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm4) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm4) |
|                                                              | N37                                                 | N9        | 1.250           | 160.10                    | 99184.00                            | 3933.00                             | 159.50                              |
|                                                              | Notas:                                              |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|                                                              | <sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado  |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|                                                              | <sup>(2)</sup> Momento de inércia à torção uniforme |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|                                                              |                                                     | Flambagem |                 | Flambagem lateral         |                                     |                                     |                                     |
|                                                              |                                                     | Plano ZX  | Plano ZY        | Aba sup.                  | Aba inf.                            |                                     |                                     |
|                                                              | β                                                   | 1.00      | 1.00            | 1.00                      | 1.00                                |                                     |                                     |
|                                                              | L <sub>K</sub>                                      | 1.250     | 1.250           | 1.250                     | 1.250                               |                                     |                                     |
| C <sub>b</sub>                                               | -                                                   |           | 1.000           |                           |                                     |                                     |                                     |
| Notação:                                                     |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
| b: Coeficiente de flambagem                                  |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
| L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)                |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
| C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |

**Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)**

O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200.

$$\lambda \leq 200$$

$$I : \underline{25.2} \quad \checkmark$$

Onde:

I: Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

$$I_x : \underline{5.0}$$
$$I_y : \underline{25.2}$$

Sendo:

$K_x \cdot L_x$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{1.250} \text{ m}$$

$K_y \cdot L_y$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{1.250} \text{ m}$$

$r_x, r_y$ : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{24.89} \text{ cm}$$
$$r_y : \underline{4.96} \text{ cm}$$

**Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)**

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$N_{c,Sd}$ : Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{11.57} \text{ kN}$$



A força axial de compressão resistente de cálculo,  $N_{c,Rd}$ , deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{3377.13} \text{ kN}$$

Onde:

$\chi$ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$\chi : \underline{0.968}$$

$Q$ : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.959}$$

$A_g$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{160.10} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução  $\chi$ : (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.968}$$

Onde:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.278}$$

Sendo:

$Q$ : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.959}$$

$A_g$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{160.10} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$N_e$ : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{49685.96} \text{ kN}$$

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E)

A força axial de flambagem elástica,  $N_e$ , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c):

$$N_e : \underline{49685.96} \text{ kN}$$

- (a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{1253000.76} \text{ kN}$$

Onde:

$K_x \cdot L_x$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{1.250} \text{ m}$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{99184.00} \text{ cm}^4$$

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

- (b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{49685.96} \text{ kN}$$

Onde:

$K_y \cdot L_y$ : Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{1.250} \text{ m}$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{3933.00} \text{ cm}^4$$

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

- (c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z:



$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right]$$

$$N_{ez} : \underline{69414.35} \text{ kN}$$

Onde:

$K_z \cdot L_z$ : Comprimento de flambagem por torção.

E: Módulo de elasticidade do aço.

$C_w$ : Constante de empenamento da seção transversal.

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

J: Constante de torção da seção transversal.

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)}$$

Onde:

$r_x, r_y$ : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$K_z \cdot L_z : \underline{1.250} \text{ m}$$

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$$C_w : \underline{3441766.00} \text{ cm}^6$$

$$G : \underline{77000} \text{ MPa}$$

$$J : \underline{159.50} \text{ cm}^4$$

$$r_0 : \underline{25.38} \text{ cm}$$

$$r_x : \underline{24.89} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{4.96} \text{ cm}$$

$$x_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Flambagem local de barras axialmente comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)

As barras submetidas a força axial de compressão, nas quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) maiores que os valores limite dados na Tabela F.1, têm o fator de redução total Q dado por:

$$Q = Q_s \cdot Q_a$$

$$Q : \underline{0.959}$$

Onde:

$Q_s$ : Fator de redução que tem em conta a flambagem local dos elementos AL. Quando existem dois ou mais elementos AL com fatores de redução  $Q_s$  diferentes, adota-se o menor destes fatores.

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$5.84 \leq 15.84$$

$$Q_s = 1.000$$

$$Q_s : \underline{1.000}$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{5.84}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{114.50} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{19.60} \text{ mm}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$Q_a$ : Fator de redução que leva em conta a flambagem local dos elementos AA.

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

$$Q_a : \underline{0.959}$$

Sendo:

$A_g$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{160.10} \text{ cm}^2$$

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : \underline{153.48} \text{ cm}^2$$



$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) \cdot t$$

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) > 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad 48.13 > 42.14$$

$$b_{ef} = 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left[ 1 - \frac{c_a}{b/t} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right] \leq b \quad b_{ef} : \underline{517.13} \text{ mm}$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{48.13}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{572.80} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{11.90} \text{ mm}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$C_a$ : Coeficiente para elementos que não sejam mesas ou almas de seções tubulares retangulares.

$$C_a : \underline{0.34}$$

### Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.936} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N9, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd} : \underline{786.69} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$48.13 \leq 161.22$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$l : \underline{48.13}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{572.80} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{11.90} \text{ mm}$$

$$\lambda_r = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$l_r : \underline{161.22}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : \underline{840.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{1104.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Onde:

 $W_x$ : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{3241.31} \text{ cm}^3$$

 $f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

 $\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$25.22 \leq 49.78$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{840.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y}$$

$$l : \underline{25.22}$$

Sendo:

 $L_{b,inf}$ : Distância entre pontos travados à flambagem lateral.

$$L_{b,inf} : \underline{1.250} \text{ m}$$

 $r_y$ : Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão.

$$r_y : \underline{4.96} \text{ cm}$$

$$\lambda_p = 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$l_p : \underline{49.78}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

 $f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{924.33} \text{ kN}$$

Onde:

 $Z_x$ : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{3697.30} \text{ cm}^3$$

 $f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

 $\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$5.84 \leq 10.75$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{840.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$l : \underline{5.84}$$

Sendo:

 $b_f$ : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{229.00} \text{ mm}$$

 $t_f$ : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{19.60} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$l_p : \underline{10.75}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

 $f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$



# Relatórios

Mezanino\_Industrial

Data: 21/09/24

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{924.33} \text{ kN}$$

Onde:

$Z_x$ : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{3697.30} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$g_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$g_{a1} : \underline{1.10}$$

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$48.13 \leq 106.35$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{840.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$l : \underline{48.13}$$

Sendo:

$h$ : Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{572.80} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{11.90} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$l_p : \underline{106.35}$$

Sendo:

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{924.33} \text{ kN}$$

Onde:

$Z_x$ : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{3697.30} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$g_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$g_{a1} : \underline{1.10}$$

## Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

## Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

**Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.488} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N9, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$V_{Sd}$ : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{Sd} : \underline{484.95} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$48.13 \leq 69.57$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{993.11} \text{ kN}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$l : \underline{48.13}$$

Sendo:

$h$ : Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{572.80} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{11.90} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$l_p : \underline{69.57}$$

Sendo:

$k_v$ : Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{5.00}$$

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : \underline{1092.42} \text{ kN}$$

Sendo:

$A_w$ : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{72.83} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{612.00} \text{ mm}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

**Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)**

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$h : \underline{0.938} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N9, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$N_{c,Sd}$ : Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{11.57} \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{x,Sd} : \underline{786.69} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{y,Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{y,Sd} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Sd} / N_{Rd} < 0.2$$

$$0.003 < 0.200$$

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left( \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1$$

$$h : \underline{0.938}$$

Onde:

$N_{c,Rd}$ : Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3).

$$N_{c,Rd} : \underline{3377.13} \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2).

$$M_{x,Rd} : \underline{840.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{117.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)**

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

**Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)**

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

**Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)**

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



## Barra N33/N34

| Perfil: W 360 x 72<br>Material: Aço (A-36 250Mpa)            |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                              | Nós                                                 |           | Comprimento (m) | Características mecânicas |                                     |                                     |                                     |
|                                                              | Inicial                                             | Final     |                 | Área (cm²)                | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm4) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm4) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm4) |
|                                                              | N33                                                 | N34       | 8.500           | 91.30                     | 20169.00                            | 2140.00                             | 61.18                               |
|                                                              | Notas:                                              |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|                                                              | <sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado  |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|                                                              | <sup>(2)</sup> Momento de inércia à torção uniforme |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
|                                                              |                                                     | Flambagem |                 | Flambagem lateral         |                                     |                                     |                                     |
|                                                              |                                                     | Plano ZX  | Plano ZY        | Aba sup.                  | Aba inf.                            |                                     |                                     |
|                                                              | β                                                   | 1.00      | 1.00            | 1.00                      | 1.00                                |                                     |                                     |
|                                                              | L <sub>K</sub>                                      | 8.500     | 8.500           | 8.500                     | 8.500                               |                                     |                                     |
| C <sub>b</sub>                                               | -                                                   |           | 1.000           |                           |                                     |                                     |                                     |
| Notação:                                                     |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
| b: Coeficiente de flambagem                                  |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
| L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)                |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |
| C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |                                                     |           |                 |                           |                                     |                                     |                                     |

**Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)**

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

**Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)**

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)**

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.913}$$



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 4.250 m do nó N33, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

M<sub>sd</sub><sup>+</sup>: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{sd}^{+} : \underline{159.89} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$37.19 \leq 161.22$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$l : \underline{37.19}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{319.80} \text{ mm}$$

t<sub>w</sub>: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{8.60} \text{ mm}$$



$$\lambda_r = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$I_r : \underline{161.22}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : \underline{175.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- (a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{392.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_x$ : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{1152.51} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda > \lambda_r$$

$$175.57 > 169.52$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{175.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y}$$

$$I : \underline{175.57}$$

Sendo:

$L_{b,sup}$ : Distância entre pontos travados à flambagem lateral.

$$L_{b,sup} : \underline{8.500} \text{ m}$$

$r_y$ : Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão.

$$r_y : \underline{4.84} \text{ cm}$$

$$\lambda_r = \frac{1.38 \cdot \sqrt{I_y \cdot J}}{r_y \cdot J \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$I_r : \underline{169.52}$$

Sendo:

$I_y$ : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{2140.00} \text{ cm}^4$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{61.18} \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{599082.00} \text{ cm}^6$$

$$\beta_1 = \frac{M_r}{E \cdot J}$$

$$b_1 : \underline{0.016} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_r = W \cdot (f_y - \sigma_r)$$

$$M_r : \underline{201.69} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

$W_x$ : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{1152.51} \text{ cm}^3$$



# Relatórios

Mezanino\_Industrial

Data: 21/09/24

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left(1 + 0.039 \cdot \frac{J \cdot L_b^2}{C_w}\right)}$$

Sendo:

$C_b$ : Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme.

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

Onde:

$Z_x$ : Módulo de resistência plástico.

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$g_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

Sendo:

$b_f$ : Largura da mesa comprimida.

$t_f$ : Espessura da mesa comprimida.

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Sendo:

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

Onde:

$Z_x$ : Módulo de resistência plástico.

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$g_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

(d) Estado-límite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

Sendo:

$h$ : Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$\sigma_r : \underline{75.00} \text{ MPa}$$

$$M_{cr} : \underline{192.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$C_b : \underline{1.00}$$

$$M_{pl} : \underline{321.48} \text{ kN}$$

$$Z_x : \underline{1285.90} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$g_{a1} : \underline{1.10}$$

$$6.75 \leq 10.75$$

$$M_{Rd} : \underline{292.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$l : \underline{6.75}$$

$$b_f : \underline{204.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{15.10} \text{ mm}$$

$$l_p : \underline{10.75}$$

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{321.48} \text{ kN}$$

$$Z_x : \underline{1285.90} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$g_{a1} : \underline{1.10}$$

$$37.19 \leq 106.35$$

$$M_{Rd} : \underline{292.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$l : \underline{37.19}$$

$$h : \underline{319.80} \text{ mm}$$

 $t_w$ : Espessura da alma. $t_w$  : 8.60 mm

$$\lambda_p = 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

 $I_p$  : 106.35

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa $f_y$ : Resistência ao escoamento do aço. $f_y$  : 250.00 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

 $M_{pl}$  : 321.48 kN

Onde:

 $Z_x$ : Módulo de resistência plástico. $Z_x$  : 1285.90 cm<sup>3</sup> $f_y$ : Resistência ao escoamento do aço. $f_y$  : 250.00 MPa $g_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material. $g_{a1}$  : 1.10**Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)**

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

**Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)**

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

**Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.183} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N33, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·CP2+CP3+1.5·SCU1.

$V_{Sd}$ : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{Sd} : \underline{75.24} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$37.19 \leq 69.57$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{410.45} \text{ kN}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$l : \underline{37.19}$$

Sendo:

$h$ : Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{319.80} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{8.60} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$l_p : \underline{69.57}$$

Sendo:

$k_v$ : Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{5.00}$$

$E$ : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : \underline{451.50} \text{ kN}$$

Sendo:

$A_w$ : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{30.10} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{350.00} \text{ mm}$$

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material.

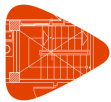
$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

**Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)**

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

**Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)**

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.



Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

# Bibliografia

- [1] ABNT, NBR 8800; 2008, **Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios: Método dos estados limites**, 2ª edição, Rio de Janeiro, Brasil.
- [2] ABNT, NBR 6120; 2019, **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**, 2ª edição, Rio de Janeiro, Brasil.
- [3] BELLEI, I. H; PINHO, F. O; PINHO, M. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**, 2ª ed. São Paulo: Editora Pini., 2008.
- [4] GERDAU. **Perfis Estruturais GERDAU - Tabela de Bitolas**  
<https://gsn.gerdau.com/sites/gsn.gerdau/files/downloadablefiles/TabeladeBitolas1.pdf>
- [5] HIBBELER, R.C. **Análise das Estruturas**, Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2013.
- [6] HIBBELER, R.C. **Estática : mecânica para engenharia**, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2005.
- [7] HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais** - Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2004.
- [8] PFEIL, W., PFEIL, M. **Estruturas de aço - Dimensionamento prático**. 9ª ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2022. 357p.
- [9] PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005
- [10] SOUZA, Alex Sander Clemente de. **Dimensionamento de elementos e ligações em estruturas de aço**, EdUFSCAR, São Carlos, 2022. 261p.

- [11] XEREZ NETO, Jary de. **Estruturas Metálicas manual prático para projetos, dimensionamento e laudos técnicos**, 2 ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2020.