**MC-PP-20250825**

**Memorial de Cálculo Estrutural**

**Estrutura para armazenagem tipo porta paletes seletivos com capacidade para 2400 kg por par de longarinas**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Revisão | Descrição | Elaborado | Visto | Data |
| R00 | Emissão Inicial | Felipe Jacob |  | 25.08.2025 |

Sumário

[1. Objetivo 3](#_Toc208431512)

[2. Dados da estrutura 4](#_Toc208431513)

[3. Cargas Gravitacionais Adotadas: 5](#_Toc208431514)

[4. Dimensionamento das Longarinas: 5](#_Toc208431515)

[5. Dimensionamento das Colunas 24](#_Toc208431516)

[Verificações das diagonais 32](#_Toc208431517)

[Dimensionamento da placa de base 32](#_Toc208431518)

[8 – Conclusão 33](#_Toc208431519)

# Objetivo

O objetivo desse memorial de cálculo é registrar os critérios de dimensionamento adotados para elaboração do projeto de uma estrutura destinada a armazenagem de materiais tipo porta paletes seletivos.

Normas Utilizadas:

**Normas ABNT**

NBR 17.150/2024 Cadernos 1 e 2 – Dimensionamento de sistemas de armazenagem tipo porta paletes seletivos

NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento

NBR 8800:2024 - Projeto de estrut. de aço e estrut. mistas de aço e concreto de edifícios

NBR14.762:2010 – Projeto de estruturas de aço compostas por perfis formados a frio

**Especificações Estrangeiras**

AWS D1.1/D1.1: 2020, Structural Welding Code

AISC-360/16 – Design of steel Structures

# Dados da estrutura

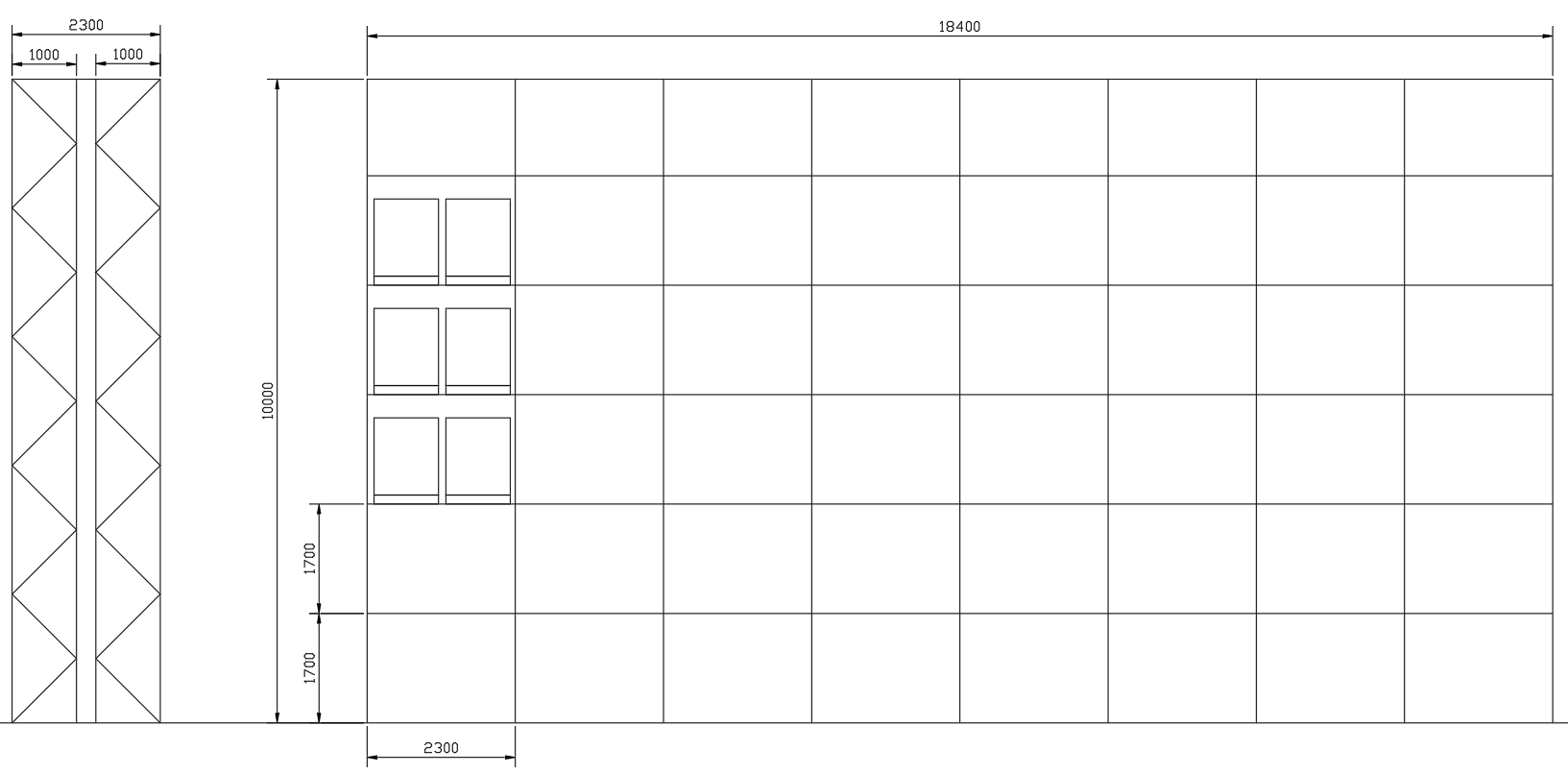


Figura : Vista Frontal Esquemática da Estrutura

# Cargas Gravitacionais Adotadas:

Peso próprio de Estruturas Metálicas = contabilizado durante o processo de cálculo

Peso de uma unidade de carga (Palete + Carga) – 1200 kg = 12 kN

# Dimensionamento das Longarinas:

Número de Unidades de carga por par de longarinas: 2300 / 1000 = 2,3~ 2 unidades de carga x 12 kN = 24 kN

Carga característica sem efeito da excentricidade (Q1): 24 x (60/120) / (2 x 2,30) = 2,61 kN/m

Carga Característica com efeito da excentricidade(Q2): 24 x (70/120) / (2 x 2,30) = 3,04 kN/m

Carga característica com efeito da excentricidade ajustado:

Peso próprio estimado da longarina: 0,08 kN/m

Hipóteses de Carregamento:

**CARGA PARA VERIFICAÇÕES DE SERVIÇO - ELS**

Q(ELS) = CP + Q = 0,08 + 2,61 = 2,69 kN/m

Gráfico, Linha do tempo, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Flecha máxima = L/200 = 230/200 = 1,15cm

**CARGAS PARA VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA - ELU**

ELU1 = 1,25 x 0,08 + 1,40 x 2,61 = 3,75 kN/m (Sem excentricidade)

Linha do tempo, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

ELU2 = 1,25 x 0,08 + 1,40 x 2,84 = 4,08 kN/m (Com excentricidade)

Gráfico, Linha do tempo, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

ELU3 = 1,25 x 0,08 + 0,90 x 1,40 x 2,61 = 3,39 kN/m (distribuída)

ELU3 = 0,9 x 1,40 x 0,25 x 12 = 3,78 kN (Pontual)

**Linha do tempo, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

**Gráfico, Linha do tempo, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

ELU4 = 0,08 = 0,08 kN/m (distribuída)

ELU4 = 5 kN = 5,0 kN (Pontual)

Gráfico, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Gráfico, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

ELU5 = 1,40 x 0,50 x 0,50 = 0,35 kN (Pontual Horizontal).

Gráfico, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Gráfico, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Interface gráfica do usuário, Gráfico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de Flambagem Local - Compressão ( perfil Composto) = 190,8 kN

Interface gráfica do usuário, Gráfico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de Flambagem Local (Mx) = 4270 kN.cm

Interface gráfica do usuário, Aplicativo

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de Flambagem Lateral com Torção (Mx) = 3696 kN.cm

Interface gráfica do usuário, Gráfico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de flambagem local (My) = 319,8 kN.cm

Tela de computador com texto preto sobre fundo branco

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de flambagem Lateral com Torção (My) = 5864 kN.cm

Relação de verificações do perfil Composto:

Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Verificação à tração (Item 9.6 NBR14.762/10)** | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| NtRd = A.Fy/1,10 | |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| NtRd = | 163,636 | kN |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação à Compressão (Item C.3.1 NBR14.762/10)** | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Nex = (ϖ².E.Ix)/Lx² | |  |  |  | Nex = | 373,2259 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Ney = (ϖ².E.Iy)/Ly² | |  |  |  | Ney = | 93,30648 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Nez= [(ϖ².E.Cw)/Lz² + G.It]/ro² | | |  |  | Nez= | 41,57065 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Diagrama  Descrição gerada automaticamente   |  | | --- | |  | |  |  |  |  | 1-(Xo/ro)² | 1 |
|  |  |  |  |  | Nexz= | 41,57065 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Ne= mín(Nex, Ney, Nez, Nexz) | | |  |  | Ne= | 41,57065 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λ₀=√(A.Fy/Ne) | |  |  |  | λ₀= | 2,08086 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| X = 0,877 / λ₀² | |  |  |  | X = | 0,202541 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| NcRe = X.A.Fy | |  |  |  | NcRe = | 36,45746 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λl=√(NcRe/Nl) | |  |  |  | λl= | 0,437123 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| NcRl = NcRe | |  |  |  | NcRl = | 36,45746 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λdist=√(A.Fy/Ndist) | |  |  |  | λdist= | 0,971286 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| NcRdist=[1-0,25/(λdist^1,2)].A.Fy/(λdist^1,2) | | | | | NcRdist= | 138,1452 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| NcRd = mín(NcRe, NcRl, NcRdist)/1,20 | | | |  | NcRd = | **30,381** |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação à Flexão em Torno de X-X (Item C.4.1 NBR14.762/10)** | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λ₀=√(Wx.Fy/Me) | |  |  |  | λ₀= | 0,402957 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Mre = Wx.Fy | |  |  |  | Mre= | 600,135 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λl=√(Mre/Ml) | |  |  |  | λl= | 0,374896 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| MRl = MRe | |  |  |  | NcRl = | 600,135 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λdist=√(Wx.Fy/Mxdist) | |  |  |  | λdist= | 0,37 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| MRDist=[1-0,22/(λdist)].Wx.Fy/(λdist) | | | |  | MRdist= | 600,1 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| MxRd = mín(MRe, MRl, MRdist)/1,20 | | | |  | MxRd = | **500,113** |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação à Flexão em Torno de Y-Y (Item C.4.1 NBR14.762/10)** | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λ₀=√(Wy.Fy/Me) | |  |  |  | λ₀= | 0,22621 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Mre = Wy.Fy | |  |  |  | Mre= | 300,0675 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λl=√(Mre/Ml) | |  |  |  | λl= | 0,969871 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| MRl = [1-0,15/(λl^0,8)]\*MRe/(λl^0,8) | | | |  | NcRl = | 260,2338 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λdist=√(Wy.Fy/Mydist) | |  |  |  | λdist= | 0,97 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| MRdist=Wy.Fy | |  |  |  | MRdist= | 239,2 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| MxRd = mín(MRe, MRl, MRdist)/1,20 | | | |  | MxRd = | **199,341** |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação ao Esforço cortante na Direção X (Item 9.8.3 NBR14.762/10)** | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| h= | 5 | cm |  |  |  |  |
| t= | 0,3 | cm |  |  |  |  |
| As= | 3,0 | cm² |  |  |  |  |
| h/t= | 16,66666667 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λp=1,08√(E.kv/Fy) | |  |  |  | λp= | 62,35383 |
| λr=1,40√(E.kv/Fy) | |  |  |  | λr= | 80,82904 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| VxRd= (0,6 . h . t . Fy)/1,10 | | |  |  | VxRd= | **49,091** |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação ao Esforço cortante na Direção Y (Item 9.8.3 NBR14.762/10)** | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| h= | 10 |  |  |  |  |  |
| t= | 0,15 |  |  |  |  |  |
| As= | 6 |  |  |  |  |  |
| h/t= | 66,66666667 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| λp=1,08√(E.kv/Fy) | |  |  |  | λp= | 62,35383 |
| λr=1,40√(E.kv/Fy) | |  |  |  | λr= | 80,82904 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| VyRd = 0,65.t².√(E.kv.Fy)/1,10 | | |  |  | VyRd= | **23,028** |

**Verificações do Perfil Isolado**

**Interface gráfica do usuário, Aplicativo

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

Carga Crítica de Flambagem Local Axial = 83,83 kN

Interface gráfica do usuário

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de Flambagem Distorcional (axial) = 123,2 kN

Interface gráfica do usuário, Aplicativo

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de Flambagem Distorcional e local (Mx) = 675,6 kN.cm

Interface gráfica do usuário

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de Flambagem Lateral com Torção (Mx) = 958 kN.cm

Interface gráfica do usuário, Aplicativo

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Carga Crítica de Flambagem Lateral com torção (My) = 381,4 kN.cm

**Interface gráfica do usuário, Aplicativo

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

Carga Crítica de Flambagem Distorcional / Local (My) = 245,5 kN.cm

Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Verificação à tração (Item 9.6 NBR14.762/10)** | | | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| NtRd = A.Fy/1,10 | |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| NtRd = | 90,409 | kN |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação à Compressão (Item C.3.1 NBR14.762/10)** | | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nex = (ϖ².E.Ix)/Lx² | |  |  |  | Nex = | 194,8796 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ney = (ϖ².E.Iy)/Ly² | |  |  |  | Ney = | 305,2397 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nez= [(ϖ².E.Cw)/Lz² + G.It]/ro² | | |  |  | Nez= | 195,0102 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Diagrama  Descrição gerada automaticamente   |  | | --- | |  | |  |  |  |  | 1-(Xo/ro)² | 0,539349 |  |
|  |  |  |  |  | Nexz= | 140,175 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ne= mín(Nex, Ney, Nez, Nexz) | | |  |  | Ne= | 140,175 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λ₀=√(A.Fy/Ne) | |  |  |  | λ₀= | 0,842301 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| X = 0,658^λ₀² | |  |  |  | X = | 0,743082 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| NcRe = X.A.Fy | |  |  |  | NcRe = | 73,8995 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λl=√(NcRe/Nl) | |  |  |  | λl= | 0,943586 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| NcRl = [1-0,15/(λl^0,8)]\*NcRe/(λl^0,8) | | | |  | NcRl = | 65,24924 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λdist=√(A.Fy/Ndist) | |  |  |  | λdist= | 0,898456 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| NcRdist=[1-0,25/(λdist^1,2)].A.Fy/(λdist^1,2) | | | | | NcRdist= | 80,93802 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| NcRd = mín(NcRe, NcRl, NcRdist)/1,20 | | | |  | NcRd = | **54,374** | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação à Flexão em Torno de X-X (Item C.4.1 NBR14.762/10)** | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λ₀=√(Wx.Fy/Me) | |  |  |  | λ₀= | 0,580702 | kN.cm |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Mre = Wx.Fy | |  |  |  | Mre= | 323,0515 | kN.cm |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λl=√(Mre/Ml) | |  |  |  | λl= | 0,691805 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| MRl = MRe | |  |  |  | NcRl = | 323,0515 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λdist=√(Wx.Fy/Mxdist) | |  |  |  | λdist= | 0,69 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| MRDist=[1-0,22/(λdist)].Wx.Fy/(λdist) | | | |  | MRdist= | 318,5 | kN.cm |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| MxRd = mín(MRe, MRl, MRdist)/1,20 | | | |  | MxRd = | **265,391** | kN.cm |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação à Flexão em Torno de Y-Y (Item C.4.1 NBR14.762/10)** | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λ₀=√(Wy.Fy/Me) | |  |  |  | λ₀= | 0,541989 | kN.cm |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Mre = Wy.Fy | |  |  |  | Mre= | 112,037 | kN.cm |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λl=√(Mre/Ml) | |  |  |  | λl= | 0,675546 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| MRl = MRe | |  |  |  | NcRl = | 112,037 | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λdist=√(Wy.Fy/Mydist) | |  |  |  | λdist= | 0,68 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| MRDist=[1-0,22/(λdist)].Wy.Fy/(λdist) | | | |  | MRdist= | 111,8 | kN.cm |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| MxRd = mín(MRe, MRl, MRdist)/1,20 | | | |  | MxRd = | **93,197** | kN.cm |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação ao Esforço cortante na Direção X (Item 9.8.3 NBR14.762/10)** | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| h= | 4,7 | cm |  |  |  |  |  |
| t= | 0,15 | cm |  |  |  |  |  |
| As= | 1,4 | cm² |  |  |  |  |  |
| h/t= | 31,33333333 |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λp=1,08√(E.kv/Fy) | |  |  |  | λp= | 62,35383 |  |
| λr=1,40√(E.kv/Fy) | |  |  |  | λr= | 80,82904 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| VxRd= (0,6 . h . t . Fy)/1,10 | | |  |  | VxRd= | **23,073** | kN |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Verificação ao Esforço cortante na Direção Y (Item 9.8.3 NBR14.762/10)** | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| h= | 9,7 |  |  |  |  |  |  |
| t= | 0,15 |  |  |  |  |  |  |
| As= | 1,905 |  |  |  |  |  |  |
| h/t= | 64,66666667 |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| λp=1,08√(E.kv/Fy) | |  |  |  | λp= | 62,35383 |  |
| λr=1,40√(E.kv/Fy) | |  |  |  | λr= | 80,82904 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| VyRd = 0,65.t².√(E.kv.Fy)/1,10 | | |  |  | VyRd= | **23,028** | kN |

**Dimensionamento das soldas da longarina**

Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Ruptura da solda:

Verificação Ruptura do Metal Base (Solicitação normal ao eixo da solda)

Adotaremos L = 40mm E60XX a cada 77cm

# Dimensionamento das Colunas

Pré dimensionamento das colunas das montantes

Número de Unidades de carga por par de longarinas: 2300 / 1000 = 2,3~ 2 unidades de carga x 12 kN = 24 kN

Carga característica sem efeito da excentricidade (Q1): 24 x (60/120) / (2 x 2,30) = 2,61 kN/m

Peso próprio estimado da longarina: 0,08 kN/m

Hipóteses de Carregamento:

**CARGAS PARA VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA - ELU**

ELU1 = 1,25 x 0,08 + 1,40 x 2,61 = 3,75 kN/m x 2,30 x 6 = 51,75 kN

Diagrama, Desenho técnico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Perfil adotado provisoriamente: t = 2,00mm – COS-CIVIL-300

**Dimensionamento da Coluna**

Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Verificação da rigidez das ligações

Diagrama, Desenho técnico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Ft = 1000/10= 100 kN

Q = 100 / 5 = 20 kN/cm

Kz = 1000/0,073 = 13698 kN.cm/rad

Aferição da deslocabilidade da estrutura

Pelo método da análise direta, adotaremos E = 0,80 x 20000 = 16000 kN/cm²

Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

A estrutura é capaz de se manter estável com um fator de carga de 1,3452 (ou seja, seria capaz de suportar ainda mais 34,52% de carregamento antes de perder a estabilidade)

Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Máxima compressão na coluna = 46,78 kN

Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Figure :Verificações da Coluna

Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

# Verificações das diagonais

Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

# Dimensionamento da placa de base

Dimensionamento dos chumbadores

Podemos adotar chapa #2,00 ASTM A36

**Verificação dos Chumbadores:**

Considerando chumbador SAE 1020

# 8 – Conclusão

Eu, Felipe Jacob Moraes Pereira, Lavro esse memorial de Cálculo para que possa servir de documentação técnica ao proprietário do imóvel e a quem mais possa interessar.

São José dos Campos, 19 de dezembro de 2023

Felipe Jacob – Eng. Mecânico

CREA-SP 5069138036