**MC20240124**

**Memorial de Cálculo Estrutural**

**Galpão para armazenagem de grãos**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Revisão | Descrição | Elaborado | Visto | Data |
| R00 | Emissão Inicial | Felipe Jacob |  | 24.01.2024 |

Sumário

[1. Objetivo 3](#_Toc153884341)

[2. Normas Utilizadas 3](#_Toc153884342)

[3. Dados da estrutura 3](#_Toc153884343)

[4. Cargas Adotadas: 3](#_Toc153884344)

[5. Procedimento de Cálculo 4](#_Toc153884345)

[*Verificação do pilar mais solicitado:* 5](#_Toc153884346)

[*Verificação do trecho de Banzo Superior mais solicitado (Vão livre de 7,40m)* 9](#_Toc153884347)

[*Verificação do Banzo inferior simples mais solicitado (Vão livre de 7,40m)* 14](#_Toc153884348)

[*Verificação do banzo inferior duplo mais solicitado (Vão livre de 7,40m)* 18](#_Toc153884349)

[*Verificação do banzo superior mais solicitado (Vão livre de 3,80m)* 21](#_Toc153884350)

[*Verificação da diagonal mais solicitada:* 25](#_Toc153884351)

[*Reações nas bases:* 29](#_Toc153884352)

[*Verificação dos Estados Limites de Serviço:* 30](#_Toc153884353)

[8 – Conclusão 30](#_Toc153884354)

# Objetivo

O objetivo desse memorial de cálculo é registrar os critérios de dimensionamento adotados para elaboração do projeto de estruturas metálicas para um galpão destinado a armazenagem de grãos localizado na cidade XYZ

# Normas Utilizadas

**Normas ABNT**

NBR 6120:2019 - Cargas para cálculo de estruturas de edificações

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

NBR 8800:2008 - Projeto de estrut. de aço e estrut. mistas de aço e concreto de edifícios

NBR 15980:2011 - Perfis laminados de aço para uso estrutural - Dimensões e tolerâncias

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

NBR6123/23 – Ações do vento em edificações

**Especificações Estrangeiras**

AWS D1.1/D1.1: 2010, Structural Welding Code

AISC-360/16 – Design of steel Structures

# Dados da estrutura

Vão livre frontal: 30,3m

Comprimento: 40,3m

Pé direito mínimo: 3,20m

Altura da cumeeira: 13,97m

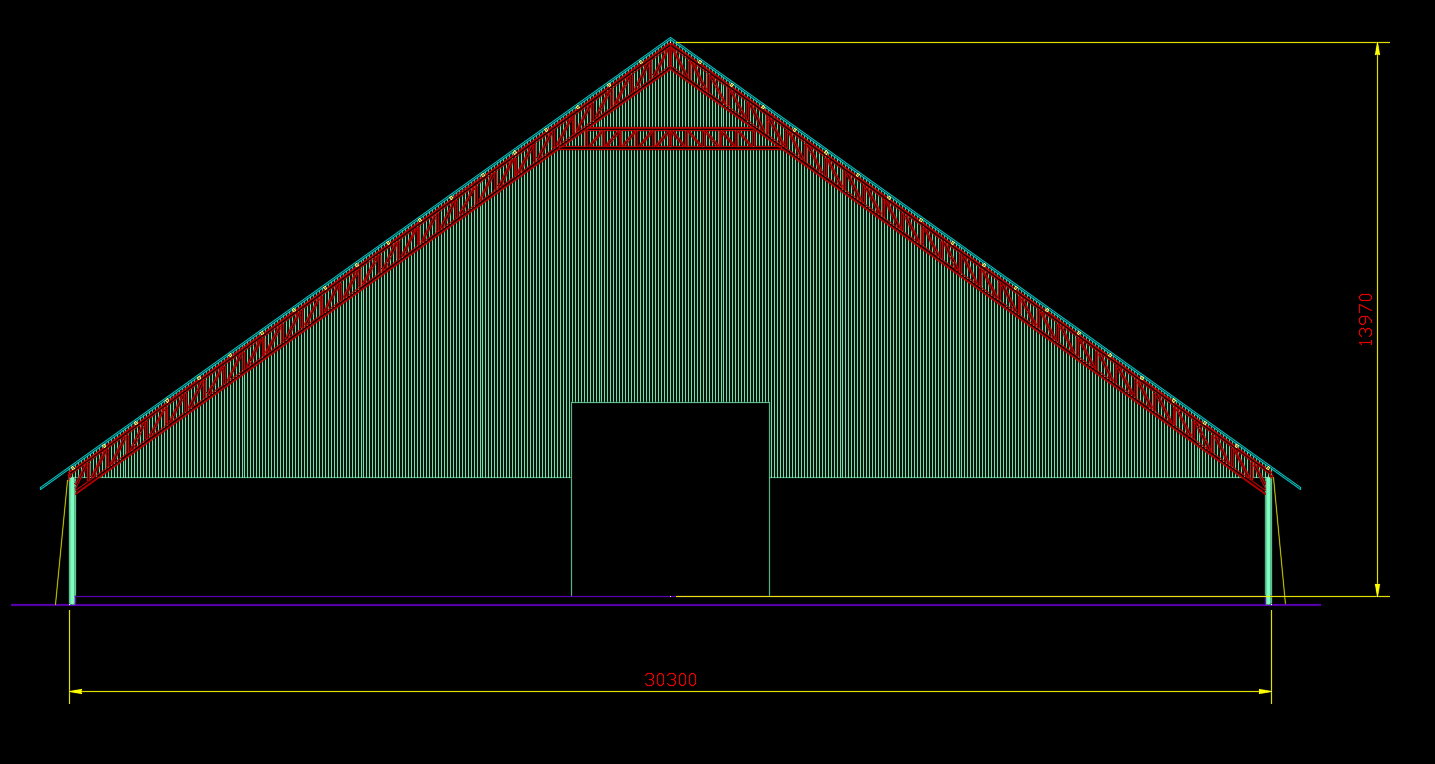


Figura : VISTA ARQUITETÔNICA FRONTAL

# Cargas Gravitacionais Adotadas:

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

Peso telha metálica trapezoidal TR40 – 0,50mm – 0,06 kN/m²

Sobrecarga de Uso: 0,25 kN/m² em projeção horizontal x cos36 = 0,20 kN/m² ao longo da cobertura

Carga permanente de Sprinklers = 0,10 kN/m²

# Determinação das Cargas de Vento:

V0 = 42m/s

Fator Topográfico

V0, V90, V180 = 1,00

V270:

Ângulo = 26 graus

Entre 17 e 45 temos 28 graus, e a variação é de 1,64-1,51 = 0,13.

Isso equivale a 0,13/28 = 0,00464/ grau

Entre 17 e 26 temos 9 x 0,00464 = 0,041 + 1,51 = S1 = 1,55

S2: RUGOSIDADE DO TERRENO

**Paineis de vedação**

**Classe A, Categoria: Cat 2** – h 14m – S2 = 1,04

**Estrutura principal**

**CLASSE B – CAT II** = S2 = 1,02

S3 – FATOR ESTATÍSTICO

**PAINEIS DE VEDAÇÃO**

S3 = 0,95 x 0,92 = 0,88

**ESTRUTURA PRINCIPAL**

S3 = 0,95

Pressão dinâmica do vento

**PAINEIS DE VEDAÇÃO**

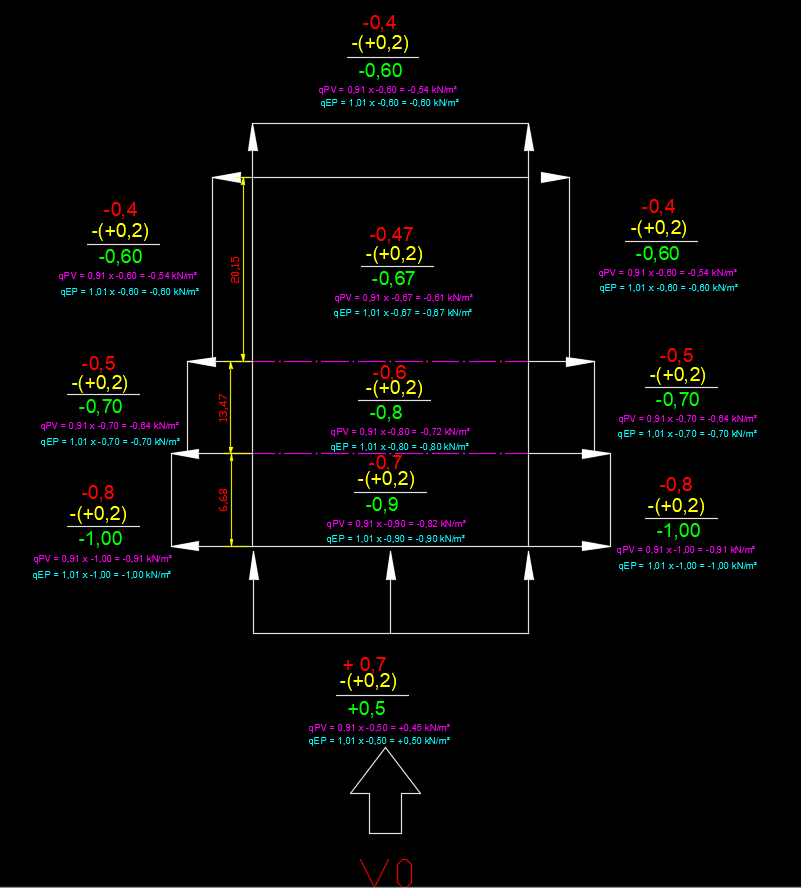
**ESTRUTURA PRINCIPAL**

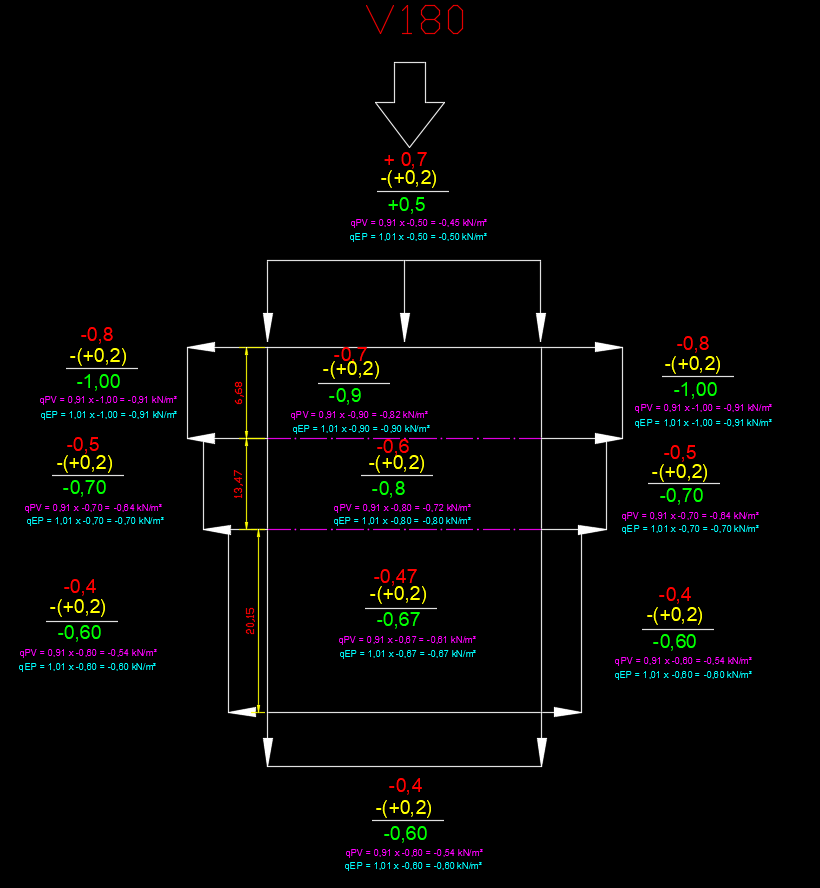
Determinação dos Cpes

h/b = 3,34 / 30,3 = 0,11 < 0,5

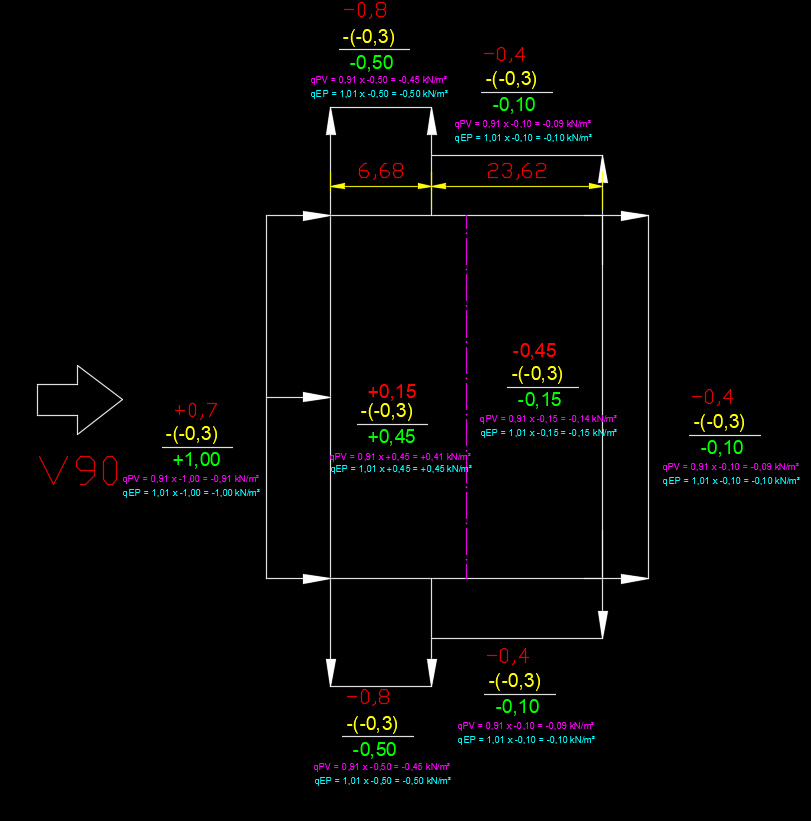
a/b = 40,3/30,3 = 1,33

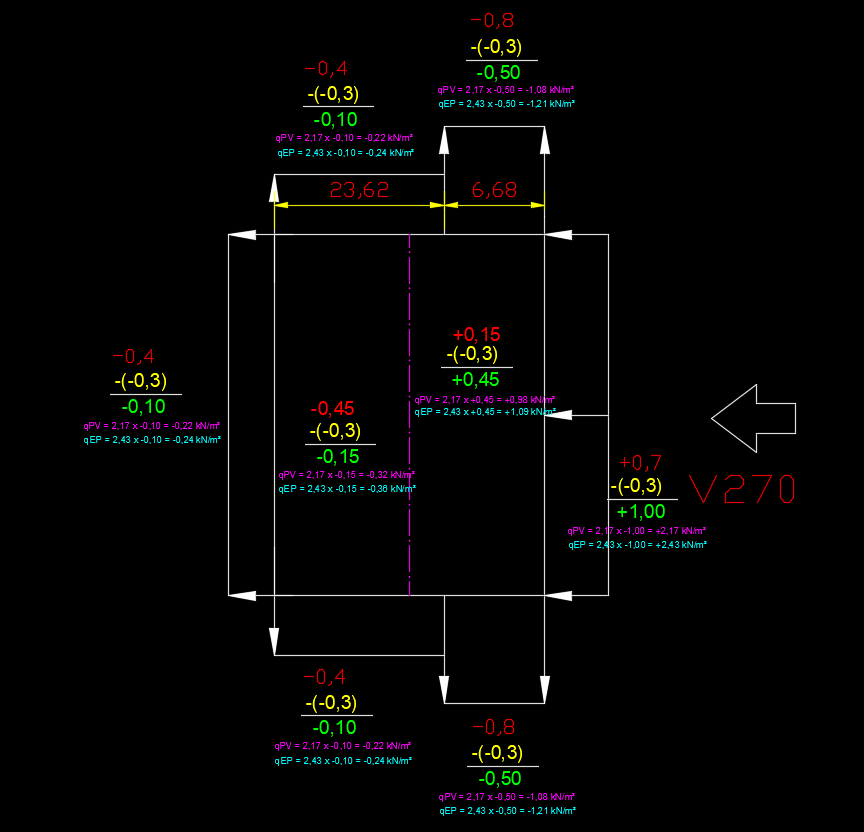
Vento Incidente em face permeável



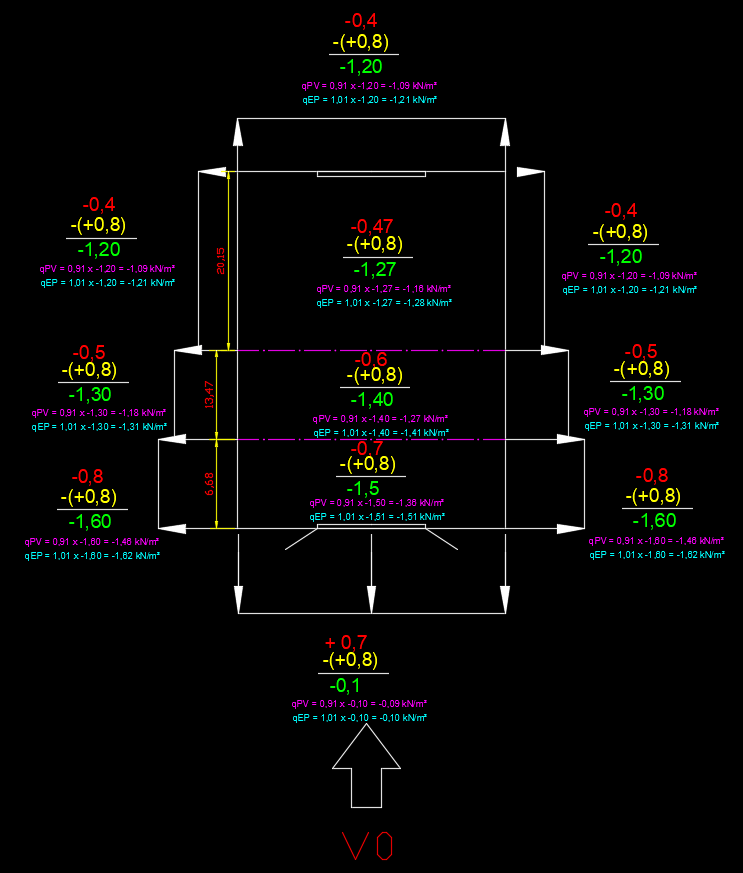


Vento em face impermeável

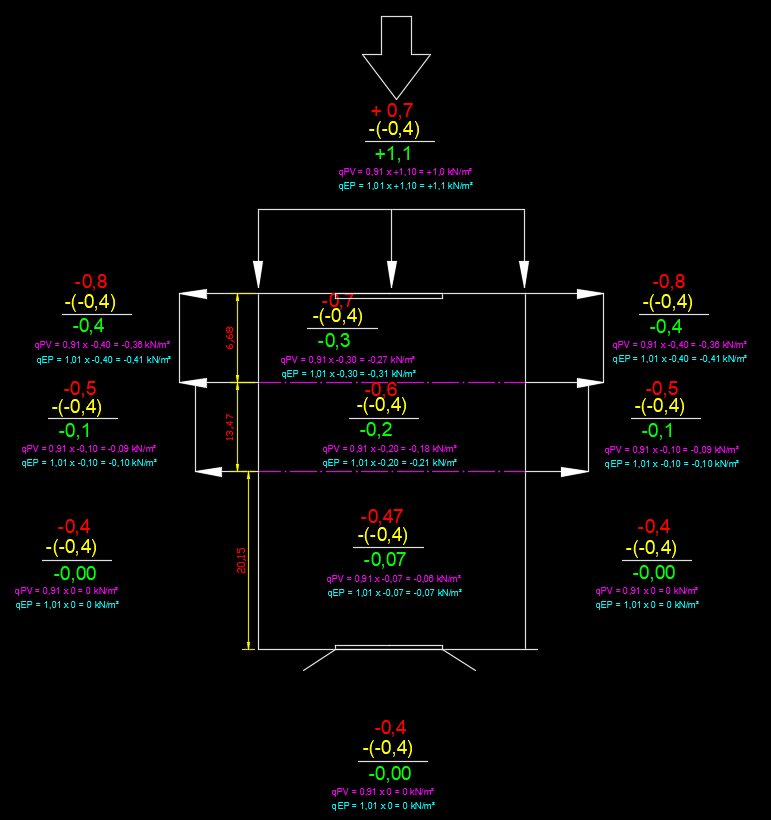




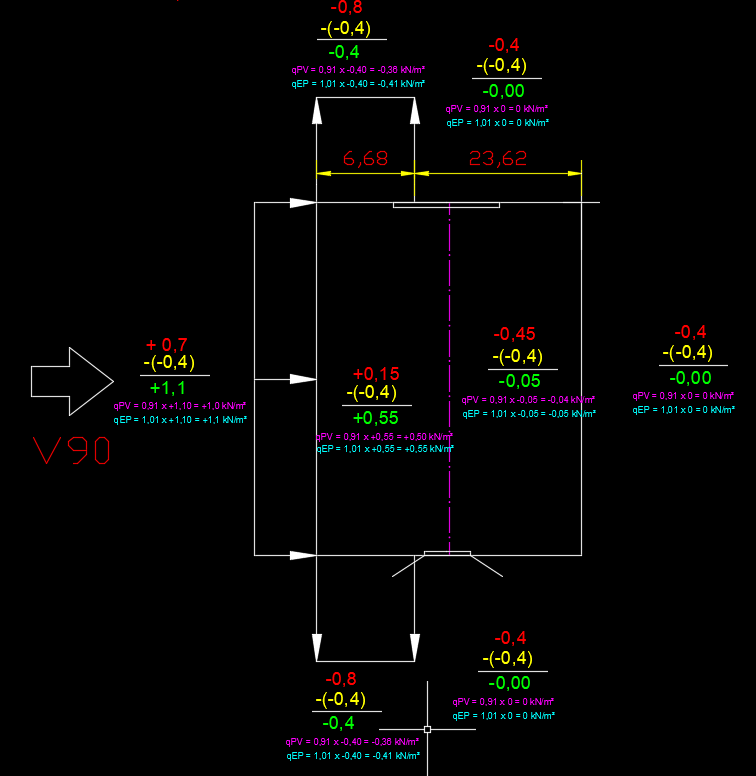
Abertura Dominante a Barlavento (CPI +0,8)

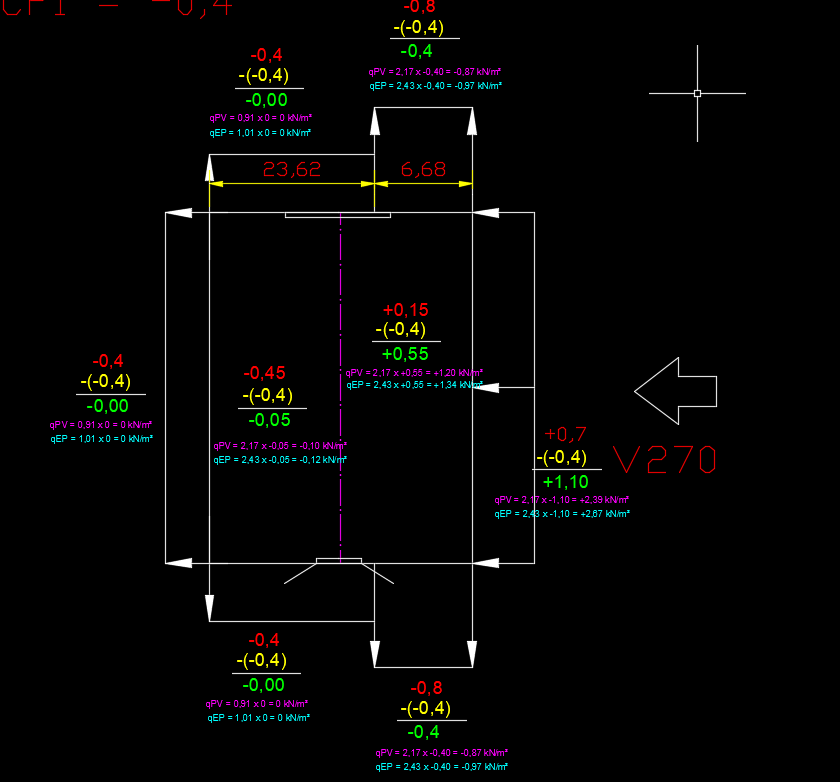


Abertura Dominante a Sotavento (Cpi =-0,4)



Abertura Dominante em Face Paralela ao Vento





# Dimensionamento das Terças de Cobertura:

Hipóteses de Carregamento:

Máxima carga para baixo

ELS – (COMBINAÇÃO FREQUENTE DE SERVIÇO)

Q(CFS) = CP + ѱ1.Q1 + ѱ2.Q2

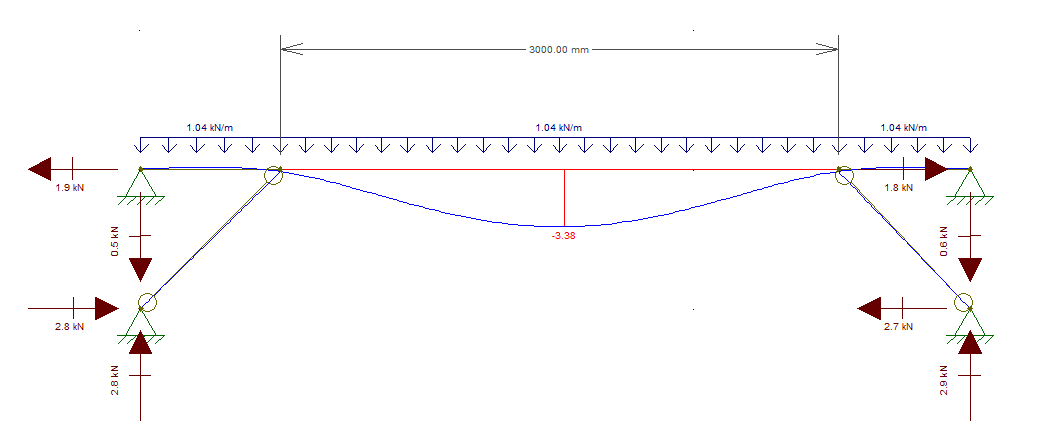
\*Hipótese 1 – CP + 0,7 x SC + 0 x V

**No eixo Local Y**

Q = [(0,06+0,10+ 0,05)x cos36 + 0,7 x 0,20 x cos36 + 0 x 1,20] x 1,66= 0,47 kN/m

\*Hipótese 2 – CP + 0,3 x V + 0,6 x SC

Q = [(0,21)x cos36 + 0,3 x 1,20 + 0,6 x 0,20 x cos36] x 1,66= **1,04 kN/m**



Flecha limite = 4457/180 = 24,76mm > 3,38mm OK!

**No eixo Local X**

Q = [(0,06+0,10+ 0,05)x sen36 + 0,7 x 0,20 x sen36 + 0 x 1,20.cos90 ] x 1,66= 0,34 kN/m

\*Hipótese 2 – CP + 0,3 x V + 0,6 x SC

Q = [(0,21)x sen36 + 0,3 x 1,20.cos90 + 0,6 x 0,20 x sen36] x 1,66= **0,32 kN/m**

Máxima carga para cima

Q(CFS) = CP + ѱ1.QV

\*Hipótese 1 – CP + 0,3 x V0(CPI+0,8)

**No eixo Local Y**

Q = [(0,06 + 0,05)x cos36 + 0,3 x 1,36] x 1,66= -0,53 kN/m

**No eixo Local X**

Q = [(0,06+ 0,05)x sen36] x 1,66= 0,11 kN/m

ELU:

Máxima Carga Vertical para baixo

Q(ELU) = γCP + γQ1 + γ.ѱ0.Q2

\*Hipótese 1 – γCP + 1,5 x SC + 1,4 x 0,6 x V270 (CPI -0,4)

**No eixo Local Y**

Q = [(1,25 . 0,06 + 1,40 . 0,10+ 1,25 . 0,05)x cos36 + 1,50 x 0,20 x cos36 + 1,4 x 0,6 x 1,20] x 1,66= 2,45 kN/m

\*Hipótese 2 – γCP + 1,4 x V + 1,5 x 0,8 x SC

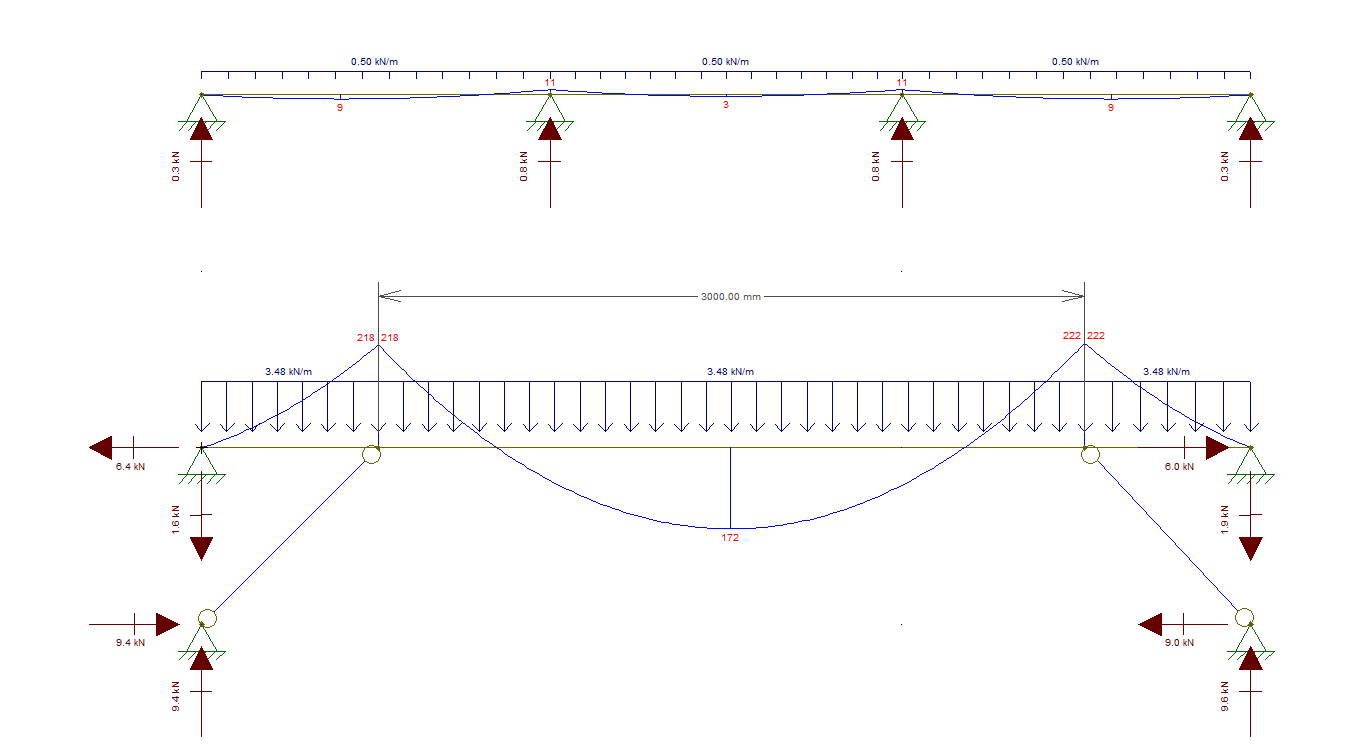
Q = [(1,25 . 0,06 + 1,40 . 0,10+ 1,25 . 0,05)x cos36 + 1,4 x 1,20 + 1,5 x 0,8 x 0,20 x cos36] x 1,66= **3,48 kN/m**

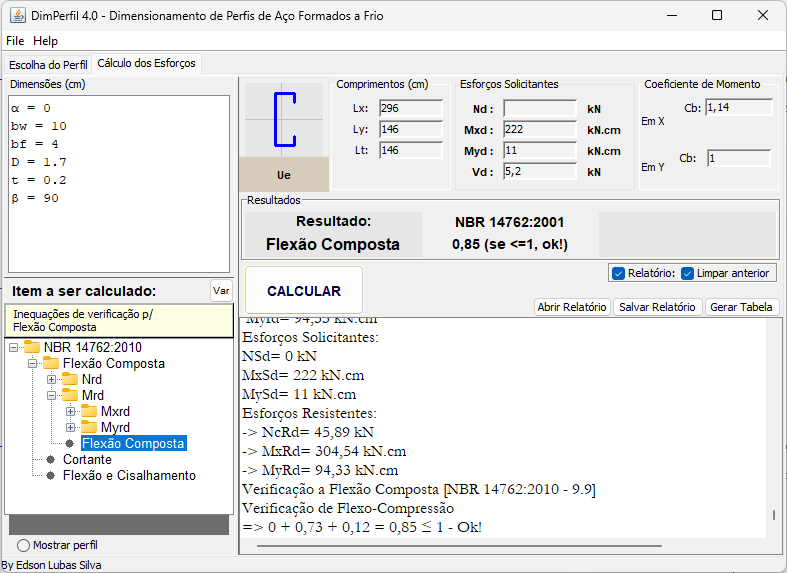
**No eixo Local X**

Q = [(1,25 . 0,06 + 1,40 . 0,10+ 1,25 . 0,05)x sen36 + 1,50 x 0,20 x sen36 + ~~1,4 x 0,6 x 1,20.cos90~~] x 1,66= 0,56 kN/m

\*Hipótese 2 – γCP + 1,4 x V + 1,5 x 0,8 x SC

Q = [(1,25 . 0,06 + 1,40 . 0,10+ 1,25 . 0,05)x sen36 + ~~1,4 x 1,20.cos90~~ + 1,5 x 0,8 x 0,20 x sen36] x 1,66= **0,50** **kN/m**

****

****

**Adotado perfil Ue100X40X17X2,00 CIVIL-300**

Máxima carga para cima

\*Hipótese 1 – CP + 1,4 x V0(CPI+0,8)

(Observação: Como a componente na direção X é pequena e já será avaliada com as cargas de ELU para baixo, nessa hipótese será desprezada)

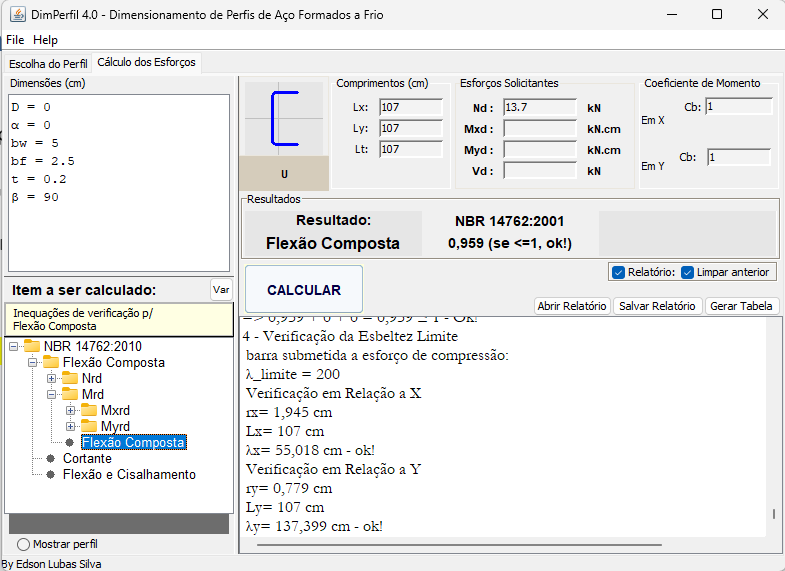
Q = [(0,06 + 0,10+ 0,05)x cos36 - 1,40 x 1,36] x 1,66= -**2,81 kN/m**

# Dimensionamento das Mãos Francesas da Cobertura:

**Máxima Compressão Atuante: 13,4 kN**

**Máxima tração atuante: 10,8 kN**

**Lx = Ly = 107cm**

****

Perfil Adotado: U50X25X2,00 CIVIL-300

# Dimensionamento das Correntes e Tirantes

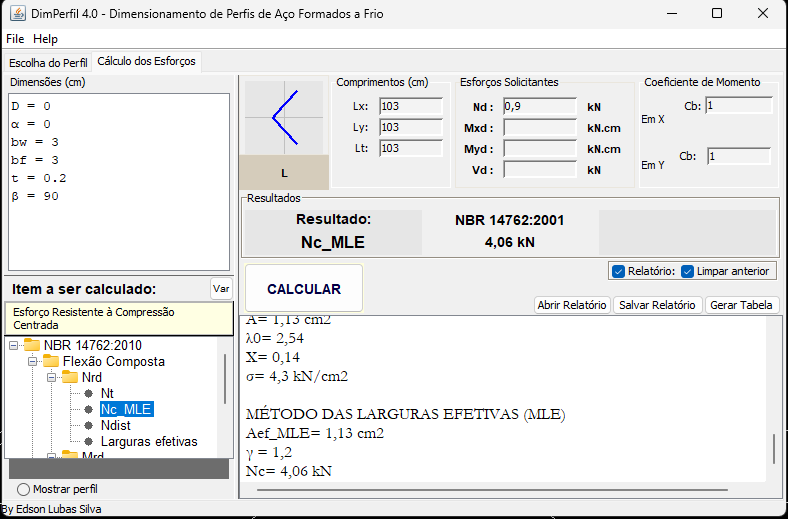
**Máxima tração nos tirantes (Frechal):** 0,9 x 12 =10,8 kN/sen29 = 22,27 kN

Verificação da rigidez mínima:

Verificação do deslocamento na direção do eixo X da terça.

Adotaremos Diam 12,7mm A36 para tirantes e corrente flexível

Máxima compressão nas correntes rígidas: 0,9 kN



Adotado Cantoneira FF 30X2,00 CIVIL 300

**Máxima tração atuante: 10,8 kN**

**Lx = Ly = 107cm**

# Dimensionamento das terças de oitão

Compressão atuante

C1 = (1,4 x 1,10 x 58m² ) x 0,3125 = 27,9 kN

C2 = (1,4 x 1,10 x 38m² ) x 0,3125 = 18,3 kN

C3 = (1,4 x 1,10 x 27m² ) x0,3125 = 13,00 kN

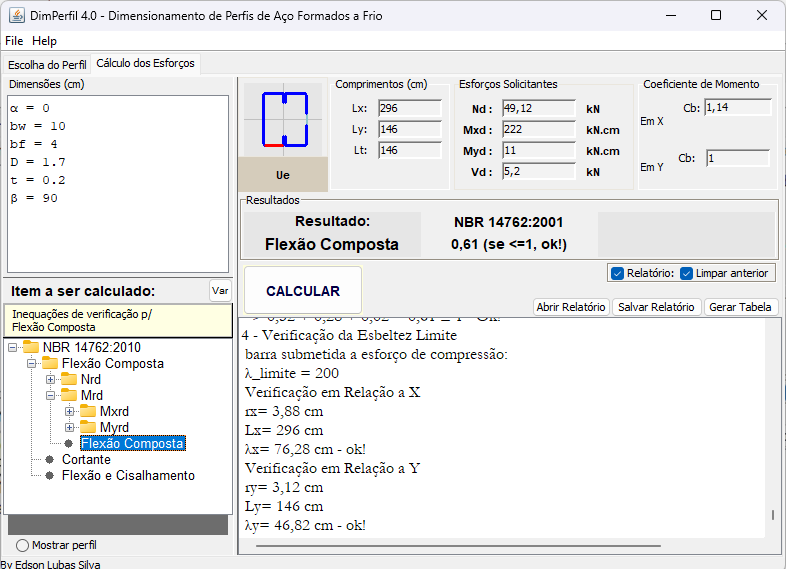
Tração Atuante

T1 = (1,4 x 1,21 x 58m²)x0,3125 = 30,70 kN

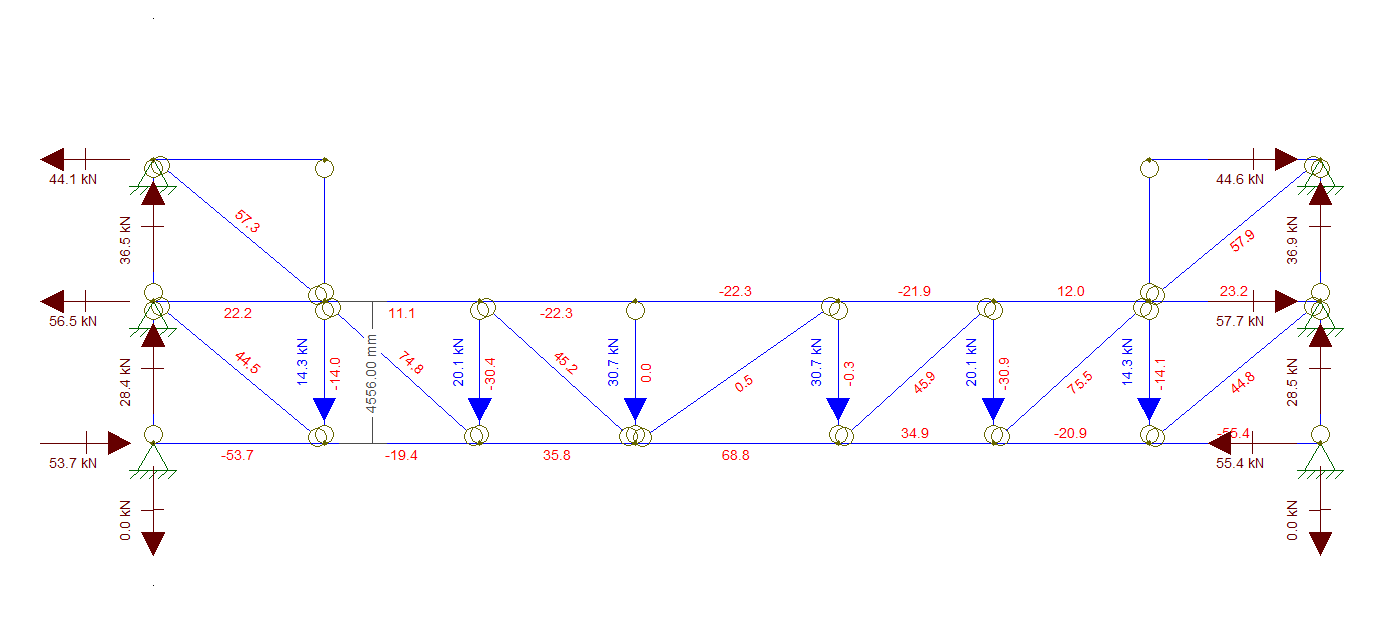
T2 = (1,4 x 1,21 x 38m²)x0,3125 = 20,11 kN

T3 = (1,4 x 1,21 x 27m²)x0,3125 = 14,30 kN

Para simplificação será realizada somente a verificação à compressão com o maior entre os dois valores.



# Dimensionamento dos contraventamentos da cobertura



Tsd = 75,5 kN

Verificação dos contraventamentos laterais

C = (((1,4 x 2,67 x 3,20 x 4,55)/2)/ cos36)/cos(40) = 43,90 kN

# Dimensionamento dos pilares de oitão

Pressão do vento entrando

Hipótese: V180(CPI-0,4)

Q = 1,4 x 1,10 x 4,68 = 7,20 kN/m

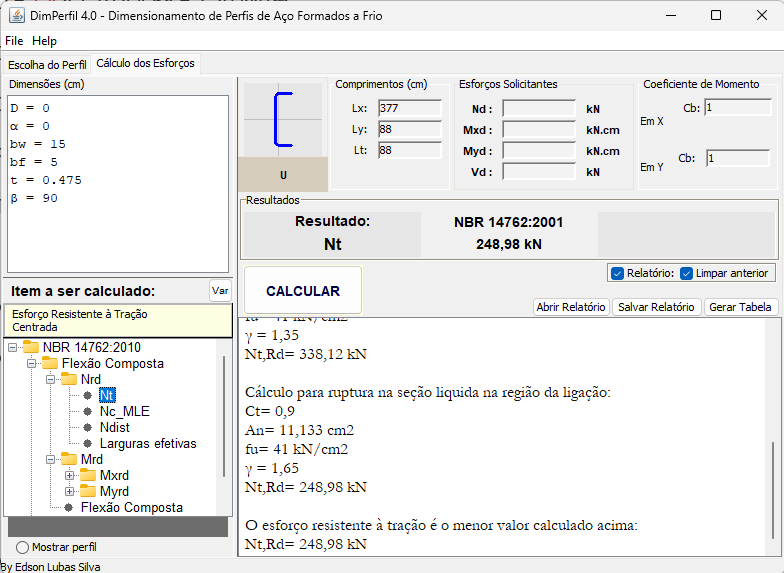
Carregamento vertical:

CP = (1,25 x 0,06 + 1,25 x 0,07) x 4,68 x 9,13 =x

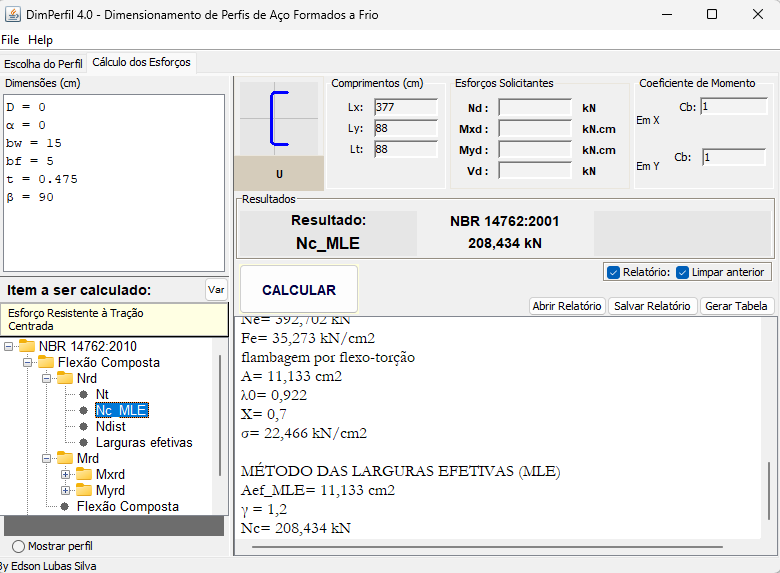
Pressão de Vento Saindo (V0 Cpi +0,8)

T = 1,4 x 1,21 x 4,68 = 7,93 kN/m

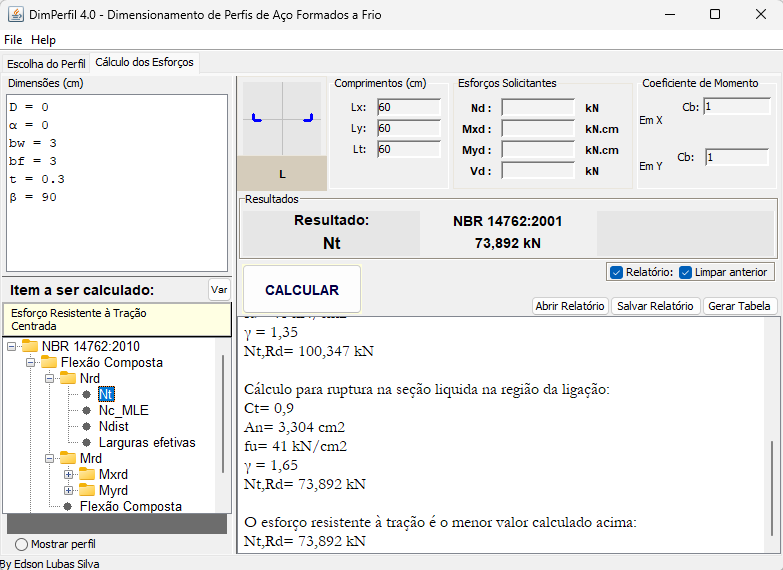
Máxima tração nos banzos: 165,1 kN (165,1/248,98 = 66,3%)



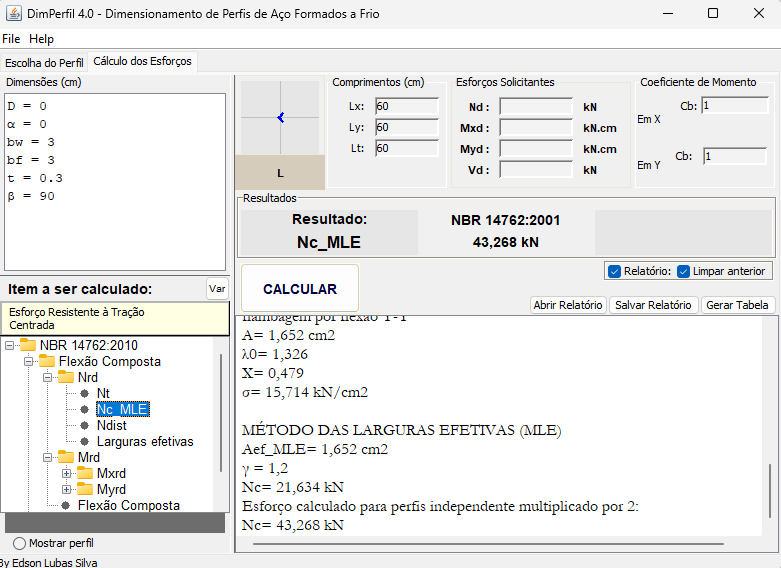
Máxima Compressão atuante: 172,2 kN (172,2/208,43 = 82,6%)



Máxima tração atuante nas diagonais: 42,7 kN (42,7/73,89 = 57,7%)



Máxima Compressão nas diagonais: 41,1 kN (41,1/43,2 = 95%)



Proxima aula:  
  
Corrigir contraventamentos e terças de oitão

## **Verificação das barras de travamento**

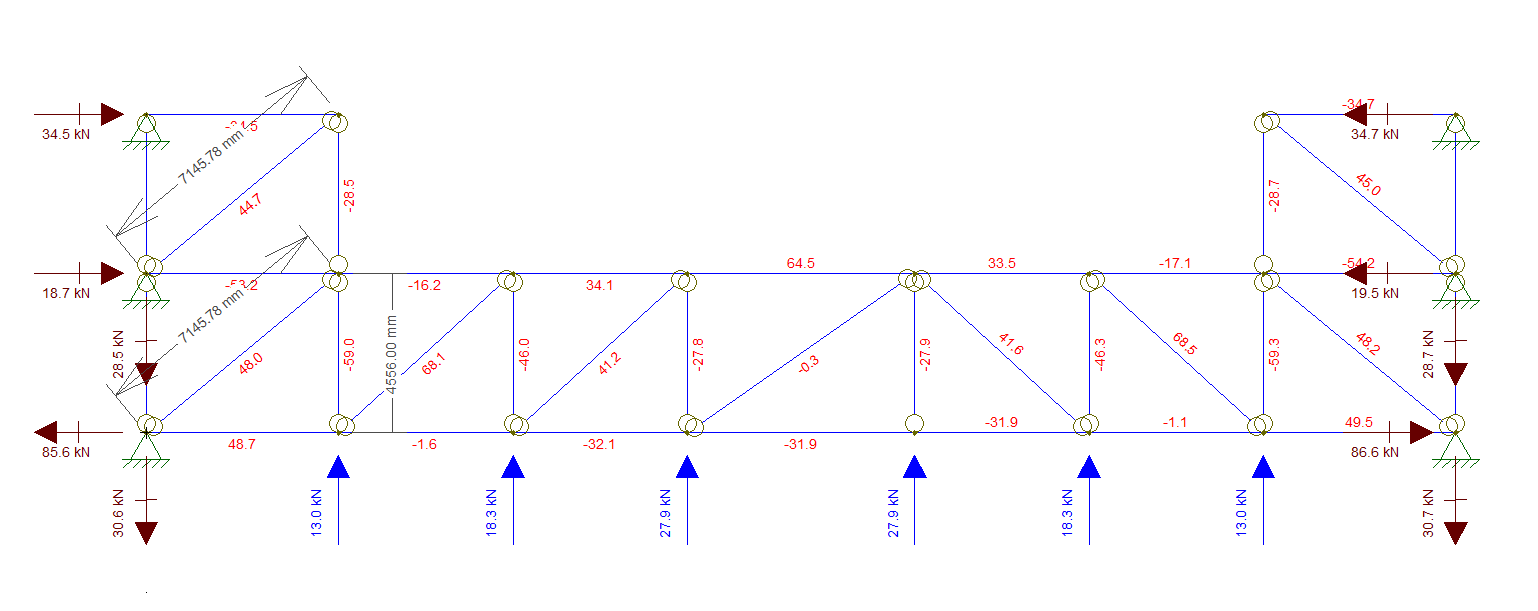
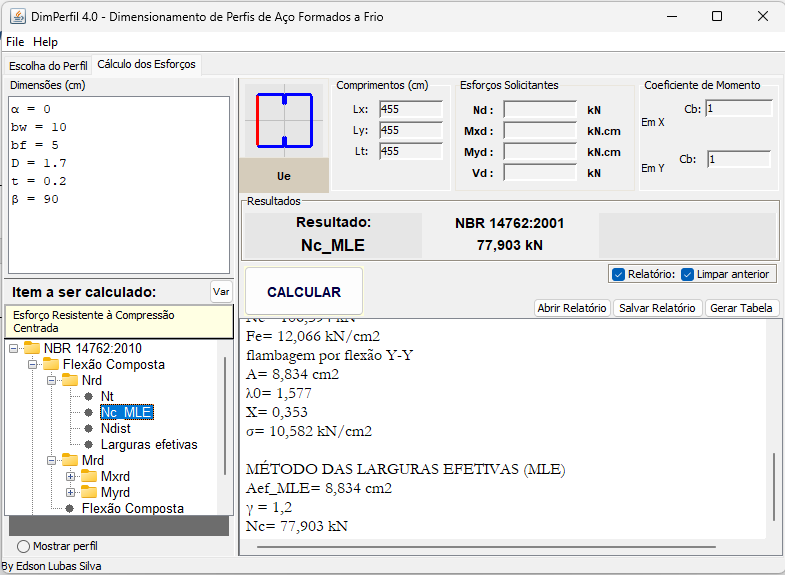


Figura : Máxima Compressão na barra de travamento 59,3 kN

Figura Barra de travamento: []100X40X17X2,00 CIVIL-300



# dimensionamento do pórtico principal

ELS (CFS) CP + 0,7SC

Peso próprio de Estruturas Metálicas = 0,25 kN/m²

Peso telha metálica trapezoidal TR40 – 0,50mm – 0,06 kN/m²

Sobrecarga de Uso: 0,25 kN/m² em projeção horizontal x cos36 = 0,20 kN/m² ao longo da cobertura

Carga permanente de Sprinklers = 0,10 kN/m²

ELS (PD) = 0,25 + 0,06 +0,10 + 0,7 . 0,20 = 0,55 x 4,55 = 2,50 kN/m

ELU: 1,4CP + 1,5SC

ELS (PD) = 1,4. (0,25 + 0,06 +0,10) + 1,5 . 0,20 = 0,55 x 4,55 = 3,98 kN/m

ELS (CFS) CP + 0,3V0 (Cpi +0,8)

Peso próprio de Estruturas Metálicas = 0,25 kN/m²

Peso telha metálica trapezoidal TR40 – 0,50mm – 0,06 kN/m²

Vertical para baixo: 0,25 + 0,06 =0,31 x 4,55 = 1,41 kN/m

Perpendicular à treliça:

Cobertura = 0,3 x 1,51 x 4,55 = 2,06 kN/m

Pilares: 0,3 x 1,62 x 4,55 = 2,21 kN/m

ELU: CP + 1,4V0(Cpi +0,8)

Vertical para baixo

ELS (PD) = 0,25 + 0,06 =0,31 x 4,55 = 1,41 kN/m

Perpendicular à treliça (cobertura): 1,4 x 1,51 x 4,55 = 9,61 kN/m

Perpendicular à coluna 1,4 x 1,62 x 4,55 = 10,32 kN/m

ELU: CP + 1,4V270(Cpi -0,4)

Vertical para baixo

ELS (PD) = 0,25 + 0,06 =0,31 x 4,55 = 1,41 kN/m

Perpendicular à treliça (cobertura direita): 1,4 x 1,34 x 4,55 = 8,53 kN/m

Perpendicular à treliça (cobertura esquerda): -1,4 x 0,12 x 4,55 = -0,76 kN/m

Perpendicular à coluna (direita) 1,4 x 2,67 x 4,55 = 17,00 kN/m

Perpendicular à coluna (esquerda) = 0

ELS (CFS) CP + 0,3V270 (Cpi -0,4)

Peso próprio de Estruturas Metálicas = 0,25 kN/m²

Peso telha metálica trapezoidal TR40 – 0,50mm – 0,06 kN/m²

Vertical para baixo: 0,25 + 0,06 =0,31 x 4,55 = 1,41 kN/m

Perpendicular à treliça:

Cobertura (Direita) = 0,3 x 1,34 x 4,55 = 1,83 kN/m

Perpendicular à treliça (cobertura esquerda): -0,3 x 0,12 x 4,55 + 1,41 = -1,57 kN/m

Pilares: 0,3 x 2,67 x 4,55 = 3,64 kN/m

# Dimensionamento do travejamento da cantoneira.

**Peça: Barra chata 32X3,2**

Ncsd = 3% da capacidade da diagonal (A.fy = 4,58 . 25 = 114,5 kN x 0,03 = 3,43 kN)

# Procedimento de Cálculo

O modelo matemático da estrutura foi concebido utilizando-se o software Mcalc3D versão 5.0

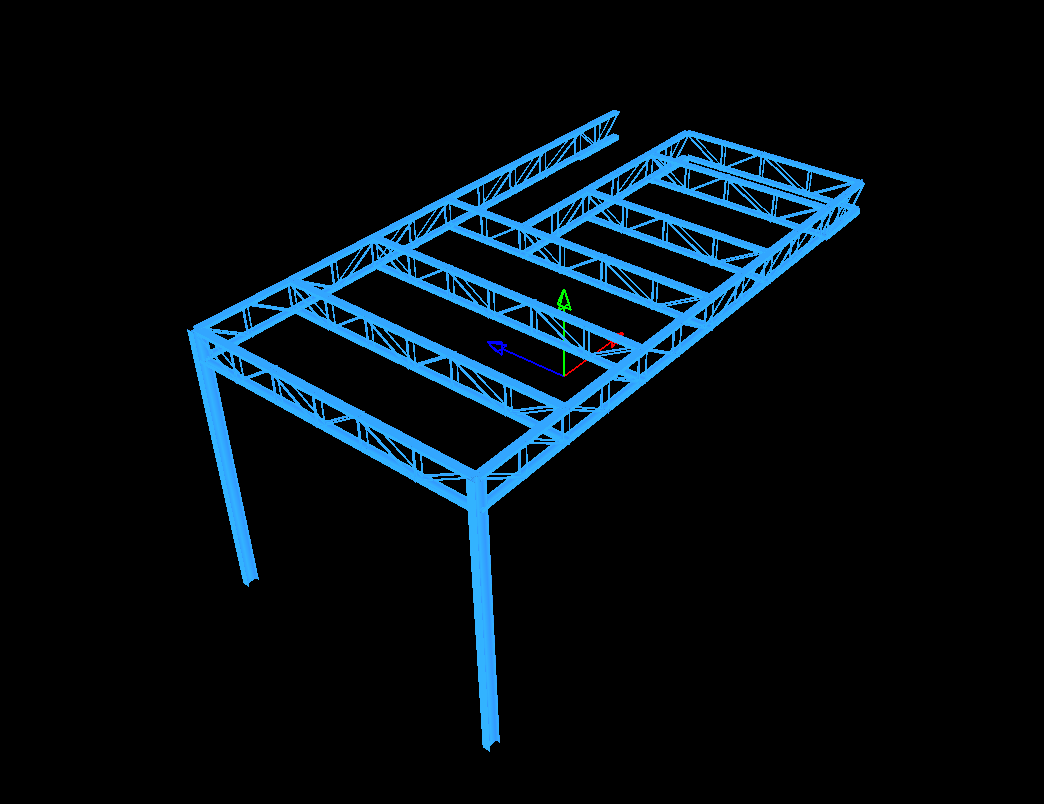


Figura : Modelo renderizado Mcalc3D

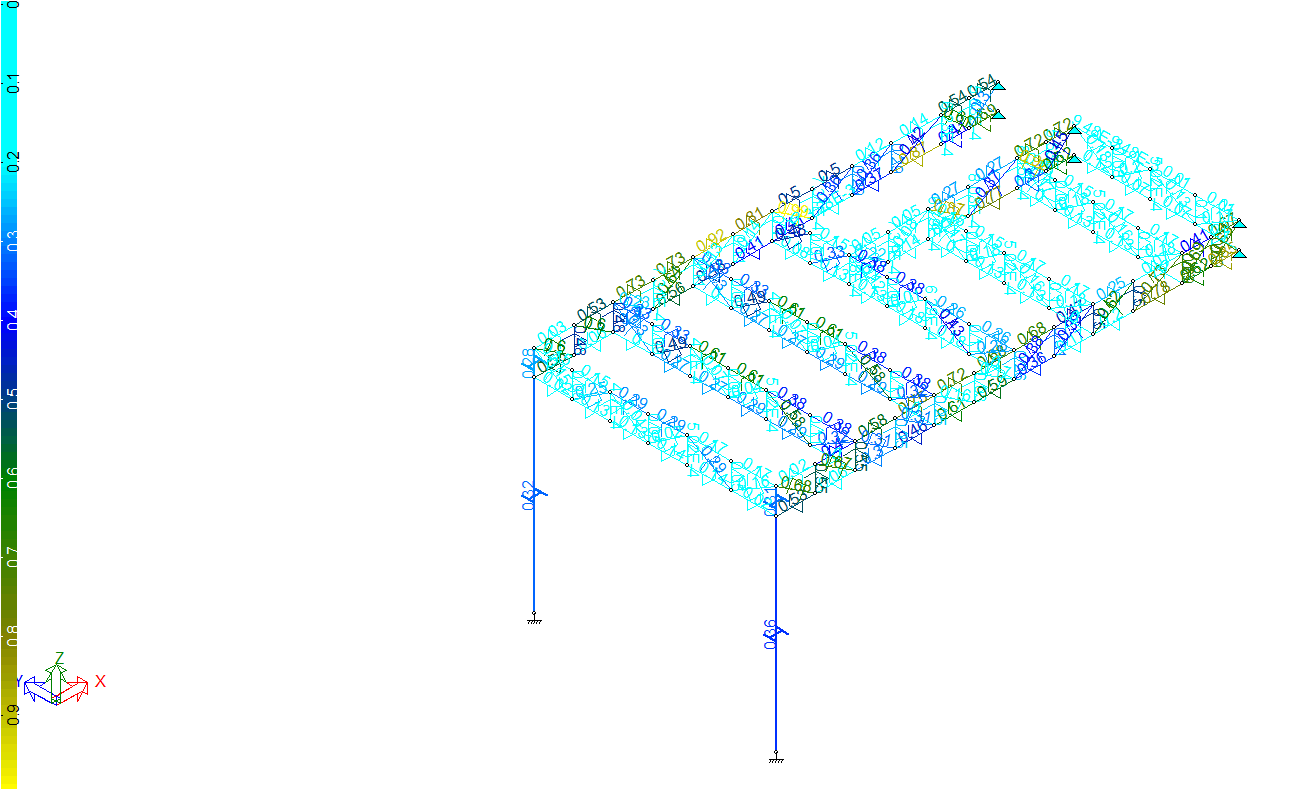


Figura : Gráfico cromático de aproveitamento das peças da estrutura

## Verificação do pilar mais solicitado:

**Perfil I Gerdau**

Perfil: W 150 18

Aço: ASTM A572 GR50 fy = 345 MPa fu = 450 MPa

**COMPRIMENTOS DA BARRA**

KtLt = 320 cm KzLz = 320 cm

KyLy = 320 cm Lb = 320 cm

|  |
| --- |
| **1. Cálculo da Tração** |

 1,00 Coeficiente de redução da área líquida

 23,40 cm² Área líquida da seção transversal

 23,40 cm² Área líquida efetiva da seção transversal

 733,91 kN Resistência de escoamento

 780,00 kN Resistência à ruptura

 733,91 kN Força normal resistente de cálculo à tração

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **2. Cálculo da Compressão** |

 1810,07 kN

 242,88 kN

 1015,85 kN

 1,00

 242,88 kN

 242,88 kN

 1,00 Fator de redução associado à instabilidade local

 807,30 kN

 1,82

 0,26

 193,65 kN

 0,13 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y** |

 10,35 kN/cm² Tensão residual

 122,75 cm³ Módulo resistente elástico

 133,60 cm³ Módulo resistente plástico

 4609,05 kN.cm Momento fletor de plastificação da seção

**3.1. FLT - Flambagem Lateral com Torção**

 137,93 Parâmetro de esbeltez

 42,38 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

 0,03

 152,32 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

 2964,29 kN.cm Momento fletor correspondente ao início do escoamento

 2,18 Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

 4609,05 kN.cm Momento fletor de flambagem elástica

 então 

 4609,05 kN.cm Momento fletor resistente característico para o estado limite FLT

**3.2. FLM - Flambagem Local da Mesa**

 7,18 Parâmetro de esbeltez

 9,15 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

 23,89 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

 32829,15 kN.cm Momento fletor de flambagem elástica

 então 

 4609,05 kN.cm Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM

**3.3. FLA - Flambagem Local da Alma**

 23,93 Parâmetro de esbeltez

 90,53 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

 137,24 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

 4234,71 kN.cm Momento fletor correspondente ao início do escoamento

 então 

 4609,05 kN.cm Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA

 4609,05 kN.cm Momento fletor resistente característico

 4190,05 kN.cm Momento fletor resistente de cálculo

 0,27 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z** |

 10,35 kN/cm² Tensão residual

 24,71 cm³ Módulo resistente elástico

 38,10 cm³ Módulo resistente plástico

 1314,50 kN.cm Momento fletor de plastificação da seção

**4.1. FLM - Flambagem Local da Mesa**

 7,18 Parâmetro de esbeltez

 9,15 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

 23,89 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

 então 

 1314,50 kN.cm Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM

 1314,50 kN.cm Momento fletor resistente característico

 1195,00 kN.cm Momento fletor resistente de cálculo

 0,02 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y** |

 7,18 Parâmetro de esbeltez

1,20 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 29,01 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 36,13 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento

 14,48 cm² Área efetiva de cisalhamento

 299,82 kN Força cortante correspondente à plastificação

 então 

 272,56 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z** |

 23,93 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 59,22 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 73,76 Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento

 8,87 cm² Área efetiva de cisalhamento

 183,69 kN Força cortante correspondente à plastificação

 então 

 166,99 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z

 0,03 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **7. Equações de Interação** |

 0,29

 0,36

## Verificação do trecho de Banzo Superior mais solicitado (Vão livre de 7,40m)

**Perfil U (Formado a frio)**

Perfil: [ 100 x 40 x 2.65

Aço: ASTM A36 fy = 250 MPa fu = 400 MPa

**COMPRIMENTOS DA BARRA**

KtLt = 62,5 cm KzLz = 62,5 cm

KyLy = 125 cm Lb = 62,5 cm

|  |
| --- |
| **1. Cálculo da Tração** |

 1,00 Coeficiente de redução da área líquida

 102,03 kN Resistência de escoamento

 108,83 kN Resistência à ruptura

 102,03 kN Resistência à tração

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **2. Cálculo da Compressão** |

 829,58 kN

 340,71 kN

 313,77 kN

 0,77

 280,33 kN

 280,33 kN

 0,63

 0,85

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

 4,47 cm² Área efetiva devido à flambagem global

 78,84 kN Resistência à compressão devido à flambagem global

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

 4,39 cm² Área efetiva devido à flambagem local

 91,50 kN Resistência à compressão devido à flambagem local

 78,84 kN Força normal resistente de cálculo à compressão

 0,75 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y** |

**3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo**

 4,44 cm² Área efetiva da seção

 64,52 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

 0,05 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 5,05 cm Posição final do eixo baricêntrico

 64,51 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 12,77 cm³ Módulo elástico efetivo

 290,12 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento

**3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção**

 1498,33 kN.cm Momento fletor de flambagem lateral com torção

 13,13 cm³ Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

 0,47 então 

 1,00 Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de  na tensão 25,00 kN/cm²

 4,44 cm² Área efetiva da seção

 64,52 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

 0,05 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 5,05 cm Posição final do eixo baricêntrico

 64,51 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 12,77 cm³ Módulo elástico efetivo

 290,12 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

 290,12 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z** |

**4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo**

 4,49 cm² Área efetiva da seção

 6,74 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

 0,00 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 2,99 cm Posição final do eixo baricêntrico

 6,74 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 2,26 cm³ Módulo elástico efetivo

 51,33 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z

**4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção**

 -1,00

 1,00

 5,49 cm Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010

 565,22 kN.cm Momento fletor de flambagem lateral com torção

 2,26 cm³ Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

 0,32 então 

 1,00 Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de  na tensão 25,00 kN/cm²

 4,49 cm² Área efetiva da seção

 6,74 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

 0,00 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 2,99 cm Posição final do eixo baricêntrico

 6,74 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 2,26 cm³ Módulo elástico efetivo

 51,33 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

 51,33 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y** |

 13,09 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 88,54 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento então 

 25,08 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z** |

 33,74 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 88,54 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento então 

 32,31 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **7. Equações de Interação** |

 0,75

 0,00

 0,00

## Verificação do Banzo inferior simples mais solicitado (Vão livre de 7,40m)

**Perfil U (Formado a frio)**

Perfil: [ 100 x 40 x 2.25

Aço: ASTM A36 fy = 250 MPa fu = 400 MPa

**COMPRIMENTOS DA BARRA**

KtLt = 77,5 cm KzLz = 77,5 cm

KyLy = 140 cm Lb = 77,5 cm

|  |
| --- |
| **1. Cálculo da Tração** |

 1,00 Coeficiente de redução da área líquida

 87,44 kN Resistência de escoamento

 93,27 kN Resistência à ruptura

 87,44 kN Resistência à tração

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **2. Cálculo da Compressão** |

 573,22 kN

 191,31 kN

 177,37 kN

 0,77

 162,37 kN

 162,37 kN

 0,77

 0,78

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

 3,71 cm² Área efetiva devido à flambagem global

 60,28 kN Resistência à compressão devido à flambagem global

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

 3,47 cm² Área efetiva devido à flambagem local

 72,36 kN Resistência à compressão devido à flambagem local

 60,28 kN Força normal resistente de cálculo à compressão

 0,78 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y** |

**3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo**

 3,72 cm² Área efetiva da seção

 53,91 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

 0,17 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 5,17 cm Posição final do eixo baricêntrico

 53,81 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 10,42 cm³ Módulo elástico efetivo

 236,75 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento

**3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção**

 848,88 kN.cm Momento fletor de flambagem lateral com torção

 11,38 cm³ Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

 0,58 então 

 1,00 Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de  na tensão 25,00 kN/cm²

 3,72 cm² Área efetiva da seção

 53,91 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

 0,17 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 5,17 cm Posição final do eixo baricêntrico

 53,81 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 10,42 cm³ Módulo elástico efetivo

 236,75 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

 236,75 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z** |

**4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo**

 3,85 cm² Área efetiva da seção

 5,82 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

 0,00 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 3,00 cm Posição final do eixo baricêntrico

 5,82 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 1,94 cm³ Módulo elástico efetivo

 44,04 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z

**4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção**

 -1,00

 1,00

 5,51 cm Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010

 325,27 kN.cm Momento fletor de flambagem lateral com torção

 1,94 cm³ Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

 0,39 então 

 1,00 Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de  na tensão 25,00 kN/cm²

 3,85 cm² Área efetiva da seção

 5,82 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

 0,00 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 3,00 cm Posição final do eixo baricêntrico

 5,82 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 1,94 cm³ Módulo elástico efetivo

 44,04 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

 44,04 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y** |

 15,78 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 88,54 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento então 

 21,78 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z** |

 40,44 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 88,54 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento então 

 27,92 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **7. Equações de Interação** |

 0,78

 0,00

 0,00

## Verificação do banzo inferior duplo mais solicitado (Vão livre de 7,40m)

**Perfil 2U opostos pelas mesas (Formado a frio)**

Perfil: [] 100 x 40 x 2 x 80

Aço: ASTM A36 fy = 250 MPa fu = 400 MPa

**COMPRIMENTOS DA BARRA**

KtLt = 45 cm KzLz = 45 cm

KyLy = 90 cm Lb = 45 cm

|  |
| --- |
| **1. Cálculo da Tração** |

 1,00 Coeficiente de redução da área líquida

 156,36 kN Resistência de escoamento

 166,79 kN Resistência à ruptura

 156,36 kN Resistência à tração

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **2. Cálculo da Compressão** |

**"TRAVEJAMENTO Z" Propriedades do perfil simples e resistência multiplicada por 2.**

 1248,83 kN

 509,71 kN

 424,07 kN

 0,77

 384,16 kN

 384,16 kN

 0,47

 0,91

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

 3,14 cm² Área efetiva devido à flambagem global

 59,64 kN Resistência à compressão devido à flambagem global

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

 3,11 cm² Área efetiva devido à flambagem local

 70,59 kN Resistência à compressão devido à flambagem local

 59,64 kN Força normal resistente de cálculo à compressão do perfil simples

 119,28 kN Força normal resistente de cálculo à compressão do perfil composto

 0,85 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y** |

**3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo**

 6,55 cm² Área efetiva da seção

 94,47 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

 0,25 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 5,25 cm Posição final do eixo baricêntrico

 94,06 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 17,92 cm³ Módulo elástico efetivo

 407,20 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento

**3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção**

 46708,76 kN.cm Momento fletor de flambagem lateral com torção

 20,50 cm³ Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

 0,10 então 

 1,00 Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de  na tensão 25,00 kN/cm²

 6,55 cm² Área efetiva da seção

 94,47 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

 0,25 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 5,25 cm Posição final do eixo baricêntrico

 94,06 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 17,92 cm³ Módulo elástico efetivo

 407,20 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

 407,20 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z** |

 6,64 cm² Área efetiva da seção

 69,08 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

 0,14 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 4,14 cm Posição final do eixo baricêntrico

 68,95 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 16,64 cm³ Módulo elástico efetivo

 378,24 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y** |

 18,00 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 88,54 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento então 

 39,27 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z** |

 46,00 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 88,54 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento então 

 50,18 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **7. Equações de Interação** |

 0,85

 0,00

 0,00

## Verificação do banzo superior mais solicitado (Vão livre de 3,80m)

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

**Perfil U (Formado a frio)**

Perfil: [ 100 x 40 x 2

Aço: ASTM A36 fy = 250 MPa fu = 400 MPa

**COMPRIMENTOS DA BARRA**

KtLt = 60 cm KzLz = 60 cm

KyLy = 380 cm Lb = 60 cm

|  |
| --- |
| **1. Cálculo da Tração** |

 1,00 Coeficiente de redução da área líquida

 78,18 kN Resistência de escoamento

 83,39 kN Resistência à ruptura

 78,18 kN Resistência à tração

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **2. Cálculo da Compressão** |

 70,05 kN

 286,71 kN

 245,92 kN

 0,77

 64,66 kN

 64,66 kN

 1,15

 0,57

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

 3,33 cm² Área efetiva devido à flambagem global

 39,79 kN Resistência à compressão devido à flambagem global

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

 2,86 cm² Área efetiva devido à flambagem local

 59,65 kN Resistência à compressão devido à flambagem local

 39,79 kN Força normal resistente de cálculo à compressão

 0,61 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y** |

**3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo**

 3,27 cm² Área efetiva da seção

 47,24 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

 0,25 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 5,25 cm Posição final do eixo baricêntrico

 47,03 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 8,96 cm³ Módulo elástico efetivo

 203,60 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento

**3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção**

 1228,55 kN.cm Momento fletor de flambagem lateral com torção

 10,25 cm³ Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

 0,46 então 

 1,00 Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de  na tensão 25,00 kN/cm²

 3,27 cm² Área efetiva da seção

 47,24 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

 0,25 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 5,25 cm Posição final do eixo baricêntrico

 47,03 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 8,96 cm³ Módulo elástico efetivo

 203,60 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

 203,60 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z** |

**4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo**

 3,44 cm² Área efetiva da seção

 5,23 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

 0,00 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 3,02 cm Posição final do eixo baricêntrico

 5,23 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 1,73 cm³ Módulo elástico efetivo

 39,40 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z

**4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção**

 -1,00

 1,00

 5,52 cm Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010

 333,34 kN.cm Momento fletor de flambagem lateral com torção

 1,73 cm³ Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

 0,36 então 

 1,00 Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de  na tensão 25,00 kN/cm²

 3,44 cm² Área efetiva da seção

 5,23 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

 0,00 cm Rebaixamento total do eixo baricêntrico

 3,02 cm Posição final do eixo baricêntrico

 5,23 cm4 Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

 1,73 cm³ Módulo elástico efetivo

 39,40 kN.cm Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

 39,40 kN.cm Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y** |

 18,00 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 88,54 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento então 

 19,64 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z** |

 46,00 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 88,54 Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento então 

 25,09 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **7. Equações de Interação** |

 0,61

 0,00

 0,00

## Verificação da diagonal mais solicitada:

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

**Perfil Dupla Cantoneira laminada opostas pelas mesas**

Perfil: LLLM 19 x 3.2 x 100

Aço: ASTM A36 fy = 250 MPa fu = 400 MPa

**COMPRIMENTOS DA BARRA**

KtLt = 74,2 cm KzLz = 74,2 cm

KyLy = 74,2 cm Lb = 74,2 cm

|  |
| --- |
| **1. Cálculo da Tração** |

 1,00 Coeficiente de redução da área líquida

 2,32 cm² Área líquida da seção transversal

 2,32 cm² Área líquida efetiva da seção transversal

 52,73 kN Resistência de escoamento

 68,74 kN Resistência à ruptura

 52,73 kN Força normal resistente de cálculo à tração

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **2. Cálculo da Compressão** |

 12,11 kN

 12,11 kN

 11,90 kN

 1,00 Fator de redução associado à instabilidade local

 25,28 kN

 1,46

 0,41

 18,89 kN

 0,99 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y** |

 7,50 kN/cm² Tensão residual

 0,67 cm³ Módulo resistente elástico

 0,77 cm³ Módulo resistente plástico

 19,34 kN.cm Momento fletor de plastificação da seção

**3.1. FLM - Flambagem Local da Mesa**

 5,94 Parâmetro de esbeltez

 10,75 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

 28,06 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

 131,68 kN.cm Momento fletor de flambagem elástica então 

**3.2. FLA - Flambagem Local da Alma**

 5,94 Parâmetro de esbeltez

 31,68 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

 39,60 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

 16,82 kN.cm Momento fletor correspondente ao início do escoamento então 

 38,69 kN.cm Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA

 35,17 kN.cm Momento fletor resistente de cálculo

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z** |

 7,50 kN/cm² Tensão residual

 0,67 cm³ Módulo resistente elástico

 0,77 cm³ Módulo resistente plástico

 19,34 kN.cm Momento fletor de plastificação da seção

**4.1. FLM - Flambagem Local da Mesa**

 5,94 Parâmetro de esbeltez

 10,75 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

 28,06 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

 131,68 kN.cm Momento fletor de flambagem elástica então 

**4.2. FLA - Flambagem Local da Alma**

 5,94 Parâmetro de esbeltez

 31,68 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

 39,60 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

 16,82 kN.cm Momento fletor correspondente ao início do escoamento então 

 38,69 kN.cm Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA

 35,17 kN.cm Momento fletor resistente de cálculo

 0,00 < 1,00 OK!

|  |
| --- |
| **5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixos X e Y** |

 5,94 Parâmetro de esbeltez

5,00 Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

 69,57 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

 86,65 Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento

 0,61 cm² Área efetiva de cisalhamento

 912,00 Força cortante correspondente à plastificação

 então 

 16,58 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

 16,58 kN Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z

 0,00 < 1,00 OK!

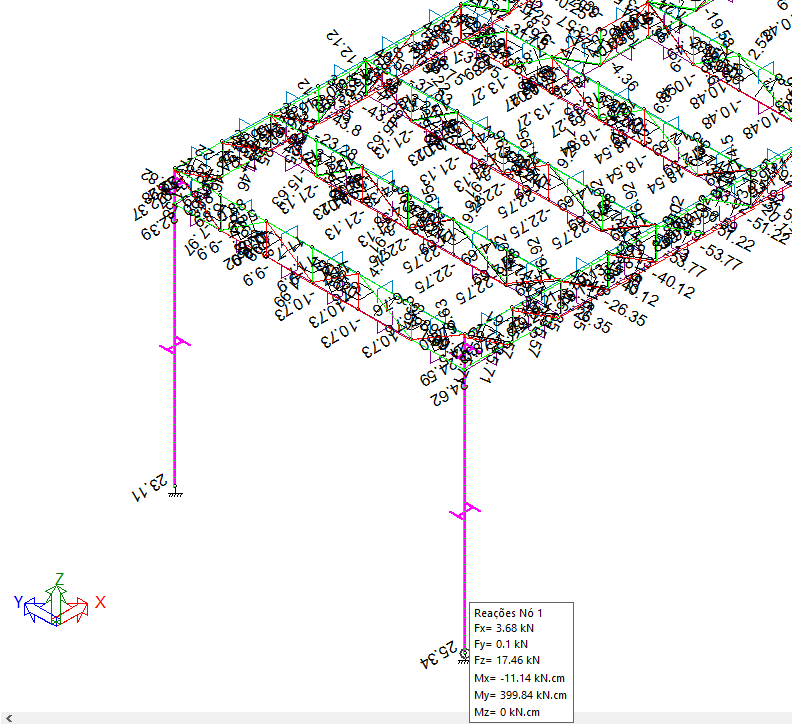
 0,00 < 1,00 OK!

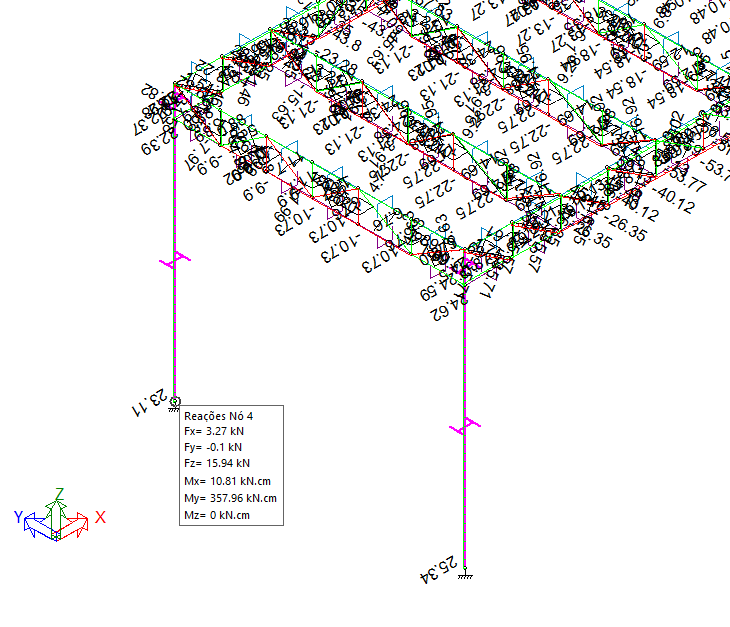
|  |
| --- |
| **6. Equações de Interação** |

 0,00

 0,99

## Reações nas bases:





## Verificação dos Estados Limites de Serviço:

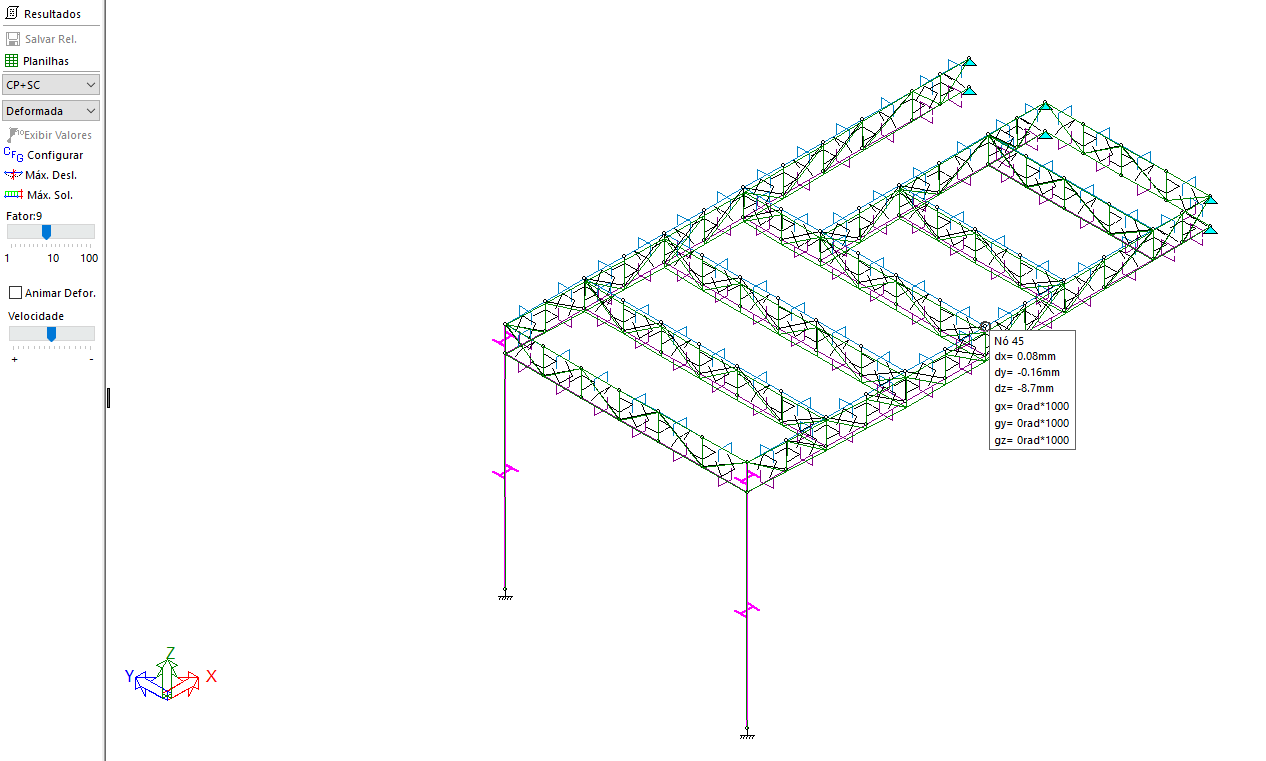


Figura : Flecha limite = 7400/350 = 21,14mm - Atuante = 8,7mm OK!

Verificação da frequência natural do piso conforme verificação aproximada proposta pelo anexo L da NBR8800/08

# 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