

**CONSTRUÇÃO DE PONTE EM ESTRUTURA MISTA DE
CONCRETO ARMADO DE VIGAS METÁLICAS, COM 12
METROS DE COMPRIMENTO E 4,2 METROS DE
LARGURA SOBRE O CÓRREGO JENIPAPÃO (CONTRATO
DE REPASSE: 962961/2024 E OPERAÇÃO: 1094651-99)**



MEMÓRIA DE CÁLCULO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | <i>INTRODUÇÃO</i> | 3 |
| 1.1. | OBJETIVO | 3 |
| 1.2. | SISTEMA DE UNIDADES | 3 |
| 1.3. | PARÂMETROS ADOTADOS..... | 3 |
| 1.4. | NORMAS UTILIZADAS | 4 |
| 2. | <i>ESTRUTURA E SEÇÃO TÍPICA</i> | 5 |
| 3. | <i>METODOLOGIA</i> | 6 |
| 4. | <i>CARREGAMENTOS</i> | 8 |
| 4.1. | PESO PRÓPRIO (DEAD) | 8 |
| 4.2. | CARGA DE REVESTIMENTO (REV)..... | 8 |
| 4.3. | SOBRECARGA(SC1)..... | 9 |
| 4.4. | SOBRECARGA(SC2)..... | 10 |
| 4.5. | SOBRECARGA(SC3)..... | 11 |
| 4.6. | SOBRECARGA(SC4)..... | 12 |
| 4.8. | SOBRECARGA(SC5)..... | 13 |
| 4.9. | PESO PRÓPRIO DO GUARDA -RODAS (PPGR) | 14 |
| 4.10. | MOVE 1 | 15 |
| 4.11. | MOVE 2..... | 16 |
| 4.12. | VENTO (VT)..... | 17 |
| 4.13. | FRENAGEM (FREN) | 18 |
| 4.14. | TEMPERATURA (TEMP1) | 19 |
| 4.15. | TEMPERATURA (TEMP2) | 20 |
| 4.16. | COEFICIENTE DE IMPACTO | 21 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5. | <i>COMBINAÇÕES</i> | 22 |
| 5.1. | ENVOLTÓRIA DE AÇÕES | 22 |
| 5.2. | COMBINAÇÃO CONSTRUÇÃO | 22 |
| 5.3. | COMBINAÇÕES ÚLTIMAS..... | 22 |
| 6. | <i>VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO</i> | 23 |
| 7. | <i>VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS</i> | 25 |
| 7.1. | VERIFICAÇÃO DO PERFIL – FASE DE CONSTRUÇÃO | 25 |
| 7.1.1. | GRÁFICOS DOS ESFORÇOS | 25 |
| 7.1.2. | RESULTADOS | 26 |
| 7.2. | VERIFICAÇÃO DO PERFIL – COMBINAÇÃO ULTIMA | 31 |
| 7.2.1. | GRÁFICOS DOS ESFORÇOS | 31 |
| 7.2.2. | VERIFICAÇÃO À FLEXÃO DO CONJUNTO PERFIL/TABULEIRO | 32 |
| 7.2.3. | VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO | 33 |
| 7.2.4. | VERIFICAÇÃO DOS CONECTORES | 33 |
| 8. | <i>TABULEIRO</i> | 34 |
| 8.1. | ARMAÇÃO POSITIVA PRINCIPAL | 34 |
| 8.2. | ARMAÇÃO NEGATIVA PRINCIPAL..... | 35 |
| 8.3. | DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO | 36 |
| 8.4. | ARMAÇÃO SECUNDÁRIA | 36 |

2. INTRODUÇÃO

2.1. OBJETIVO

Esta Memória de Cálculo tem por objetivo apresentar o dimensionamento estrutural de uma Ponte Metálica 12,00m x 4,20m.

Os esforços foram obtidos com o auxílio do software SAP-2000, que utiliza em sua base de cálculo o Método dos Elementos Finitos e para dimensionamento das estruturas foram utilizadas tabelas de cálculo do Excel.

2.2. SISTEMA DE UNIDADES

Nesta memória foi adotado o Sistema Internacional de Unidades. Todas as elevações são dadas em metros.

2.3. PARÂMETROS ADOTADOS

O concreto e o aço que se utilizam para do dimensionamento estrutural possuem as seguintes características:

CONCRETO DA PONTE-TABULEIRO

| | |
|--------------------------------|------------------------------|
| Resistência à Compressão | fck = 30MPa |
| Módulo de Elasticidade | Ecs = 27,00GPa |
| α_i | $\alpha_i = 0,88$ |
| Coeficiente de Poisson | $\mu = 0,2$ |
| Peso Específico | $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ |

Sendo o módulo de elasticidade calculado conforme o item 8.2.8 da NBR-6118/14:
 $E_{cs} = \alpha_i \times 5.600 \times \sqrt{f_{ck}}$, onde Ecs e fck são dados em MPa.

LONGARINAS E TRANSVERSINAS METÁLICAS – A572gr50

| | |
|------------------------------|--------------|
| Módulo de Elasticidade | Ec = 205 GPa |
| Coeficiente de Poisson | $\mu = 0,3$ |
| f_y | 345 MPa |
| f_u | 450 MPa |

AÇO CA-50

| | |
|------------------------------|--------------|
| Módulo de Elasticidade | Ec = 210 GPa |
| Módulo de Poisson..... | $\mu = 0,3$ |
| f_y | 500 Mpa |

2.4. NORMAS UTILIZADAS

- NBR 6118/2014 - “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento”.
- NBR 6120/2019 - “Cargas para o Cálculo de Estruturas”.
- NBR 6122/2010 - “Projeto e execução de fundações”.
- NBR 7187/1987 - “Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento”.
- NBR 7188/2013 - “Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre”.
- NBR 8681/2003 - “Ações e segurança nas estruturas - Procedimento”.
- NBR 8800/2003 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado.

3. ESTRUTURA E SEÇÃO TÍPICA

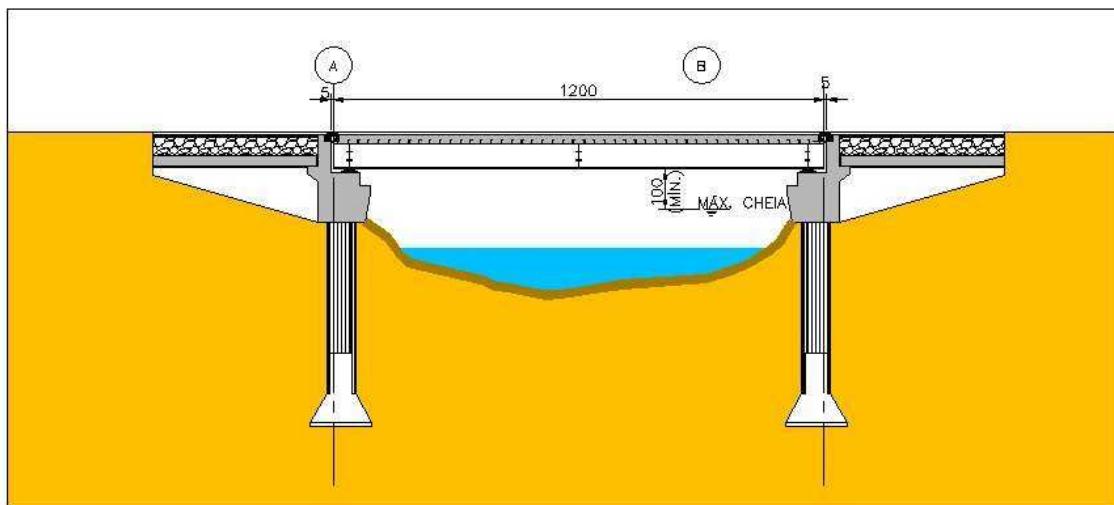


Figura 2.1– Seção Longitudinal

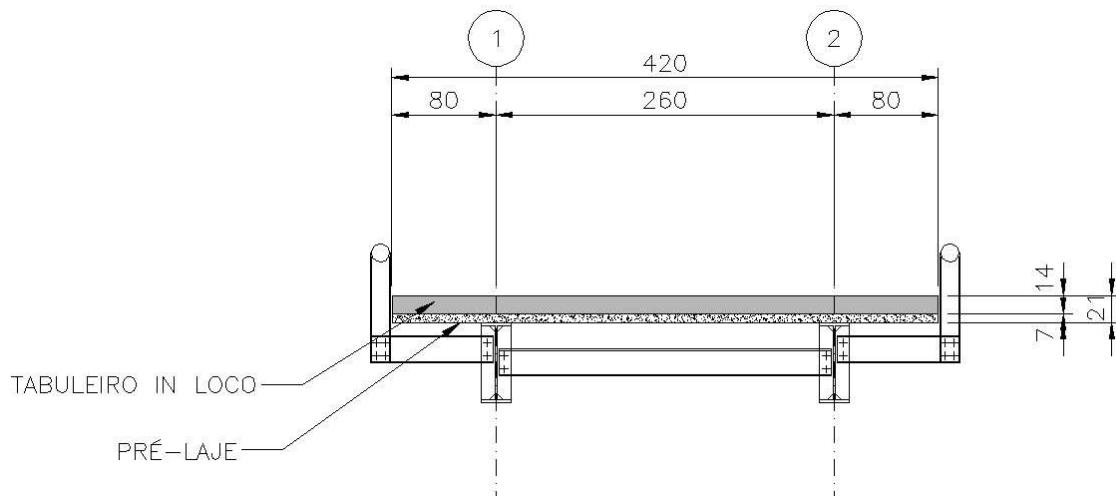


Figura 2.2– Seção Transversal

4. METODOLOGIA

A análise do viaduto tem como base a atuação das cargas de projeto. Para o cálculo dos esforços foi utilizado o software SAP2000 e o dimensionamento dos elementos estruturais das armaduras foi feito através de planilhas de cálculo do Excel. Inicialmente foi criado um modelo tridimensional no Bridge do programa.

A seguir apresentam-se as malhas de elementos finitos da ponte:

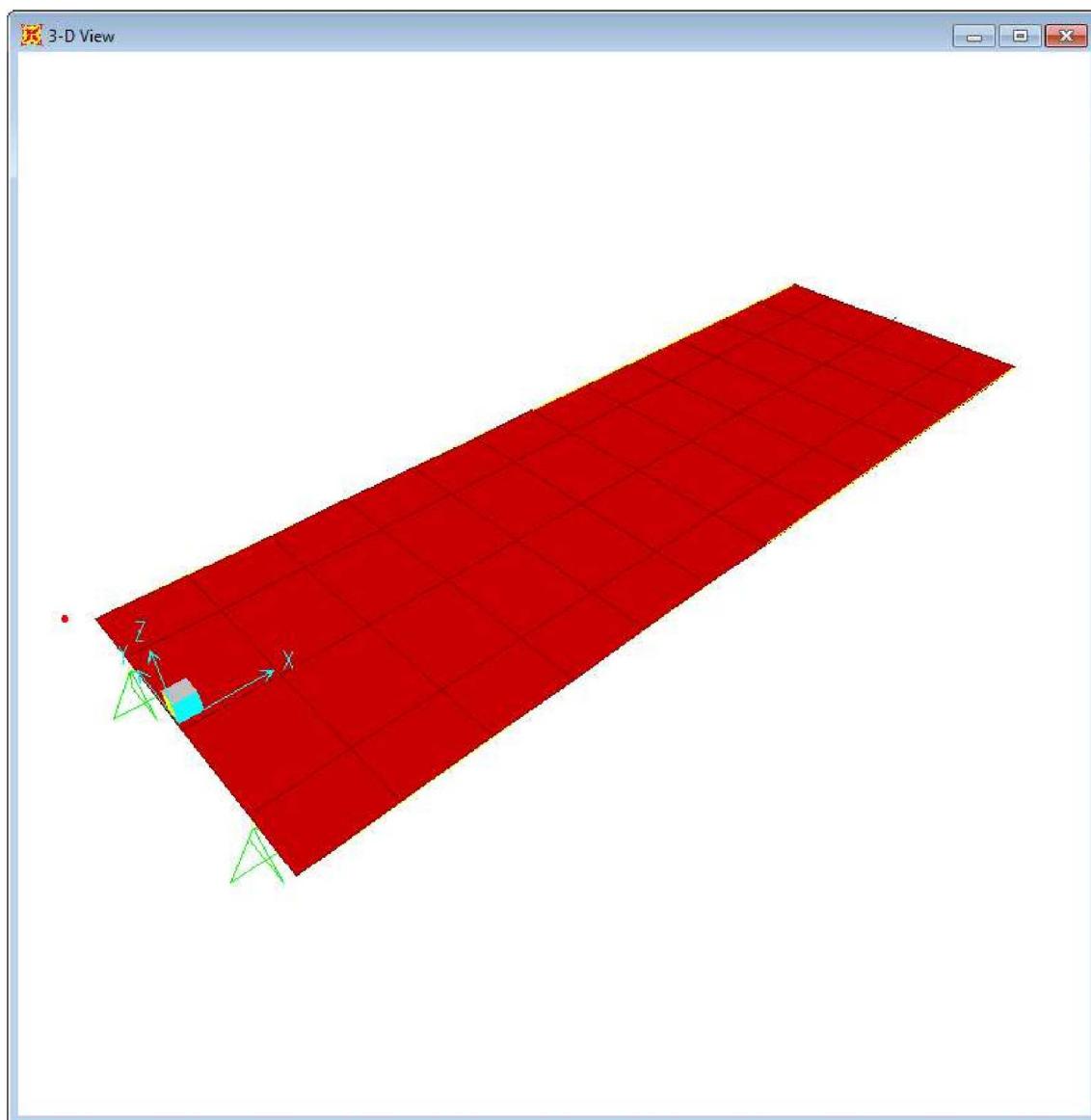


Figura 3.1 – Modelo Tridimensional da Ponte

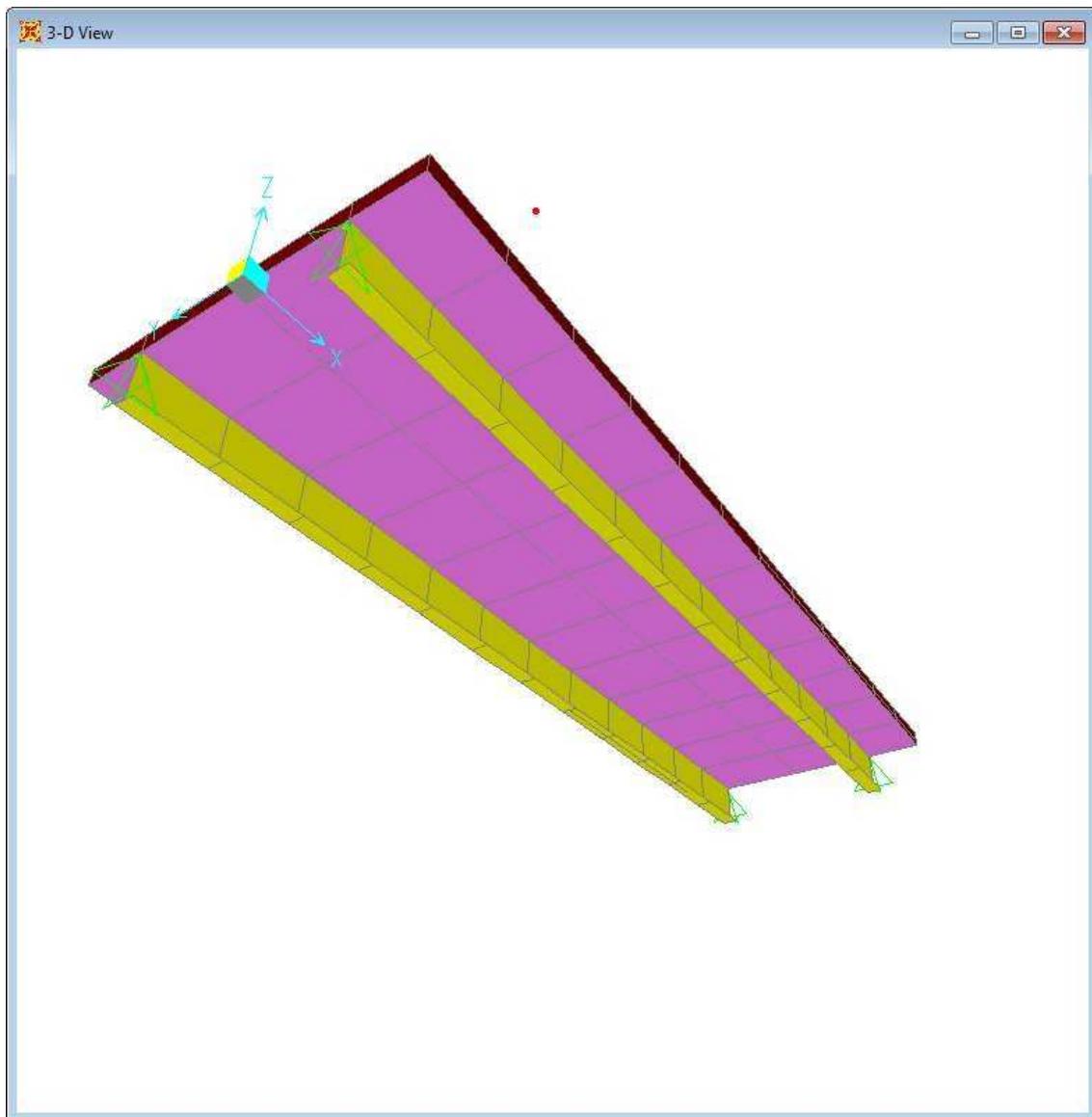


Figura 3.2 – Modelo Tridimensional da Ponte

5. CARREGAMENTOS

5.1. PESO PRÓPRIO (DEAD)

PPLONG = peso próprio das longarinas e transversinas metálicas

PPTAB = peso próprio do tabuleiro

DEAD = PPLONG + PPTAB + peso próprio da mesa e infraestrutura.

Considerou-se o peso próprio em toda estrutura, na direção vertical (Z).

5.2. CARGA DE REVESTIMENTO (REV)

Considera-se a carga de revestimento de 2,0 kN/m².

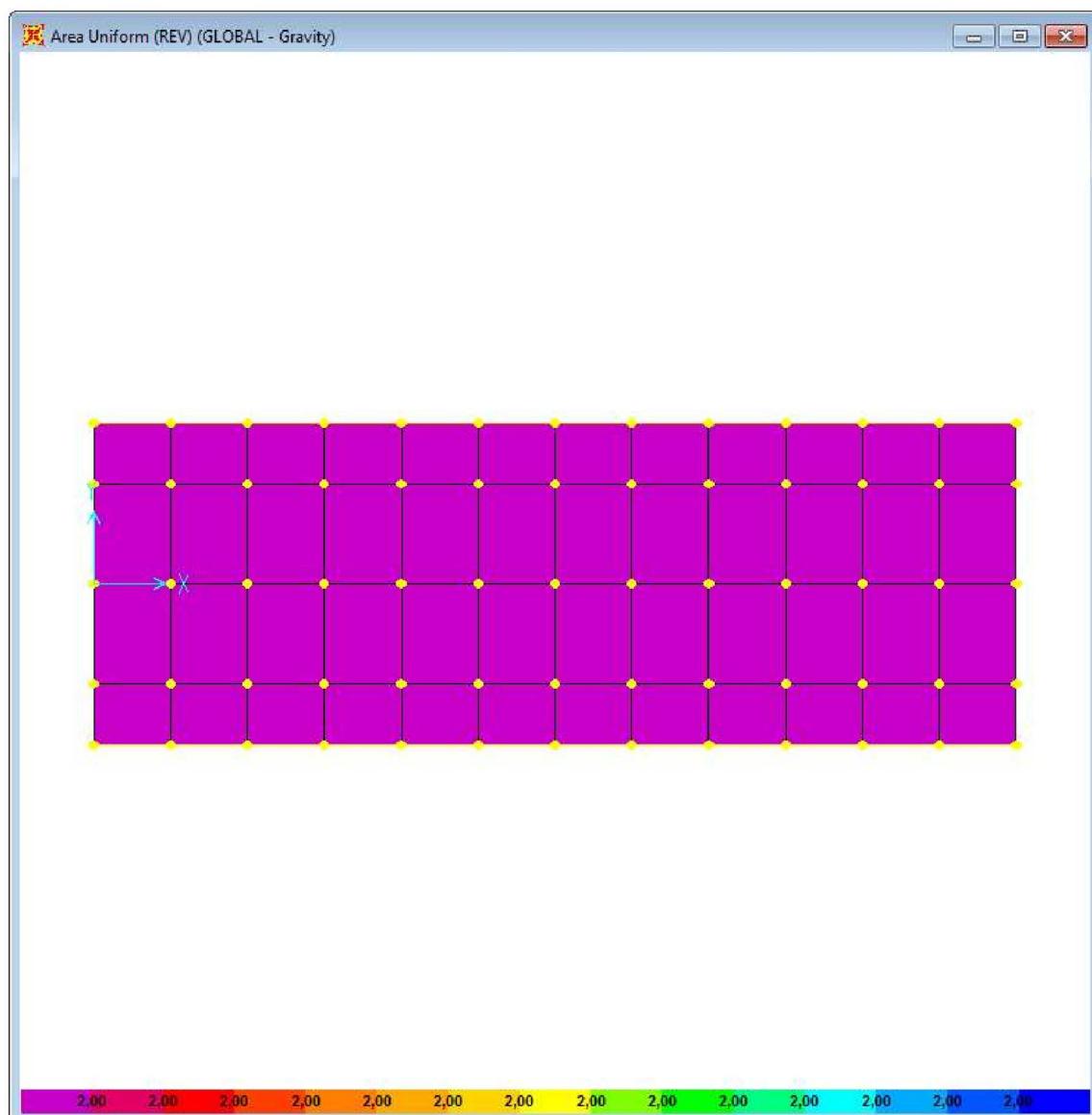


Figura 4.1 –REV

5.3. SOBRECARGA(SC1)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 em todo tabuleiro.

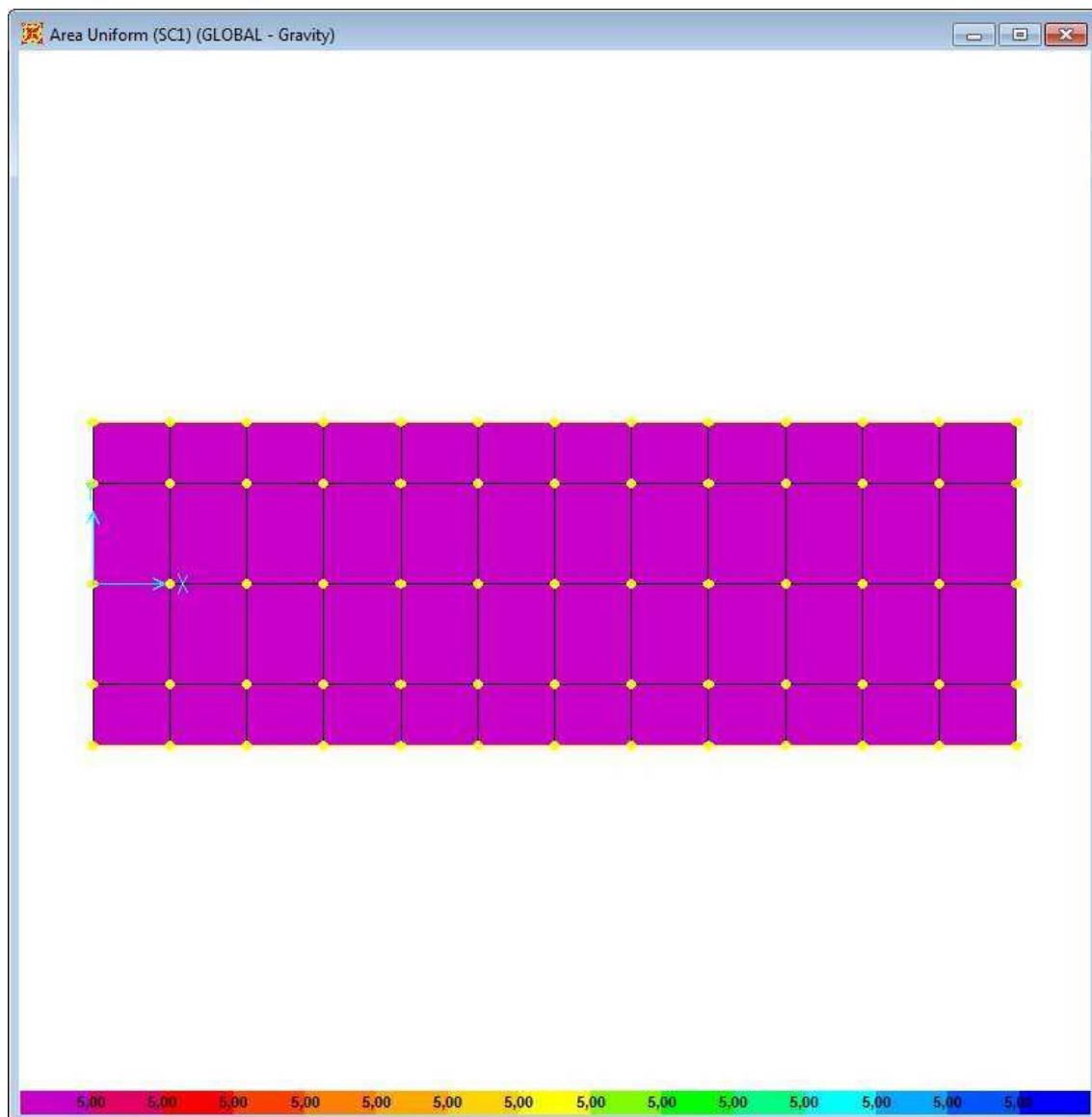


Figura 4.2 – SC1

5.4. SOBRECARGA(SC2)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 na metade do tabuleiro.

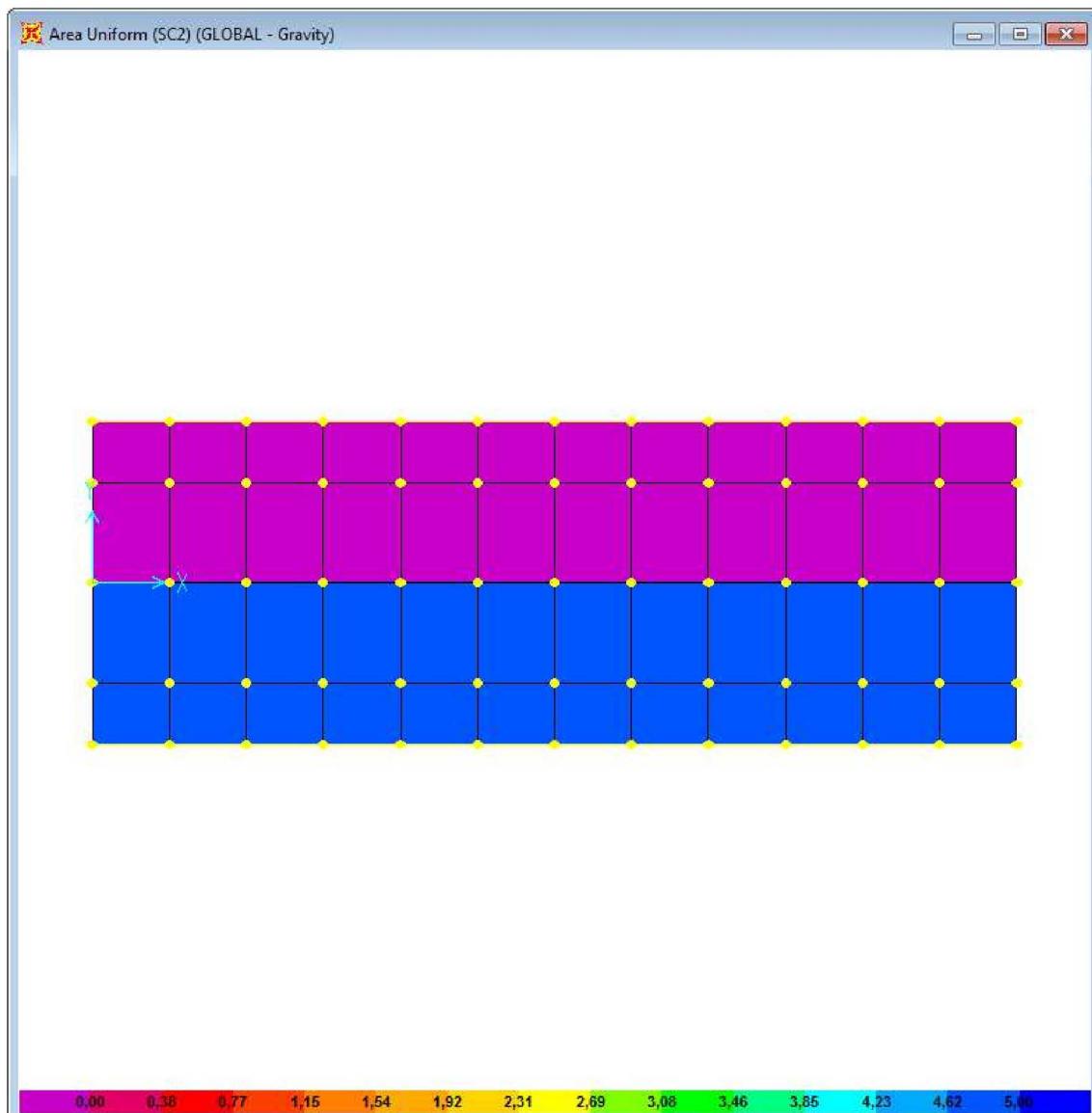


Figura 4.3 – SC2

5.5. SOBRECARGA(SC3)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 no vão das vigas.

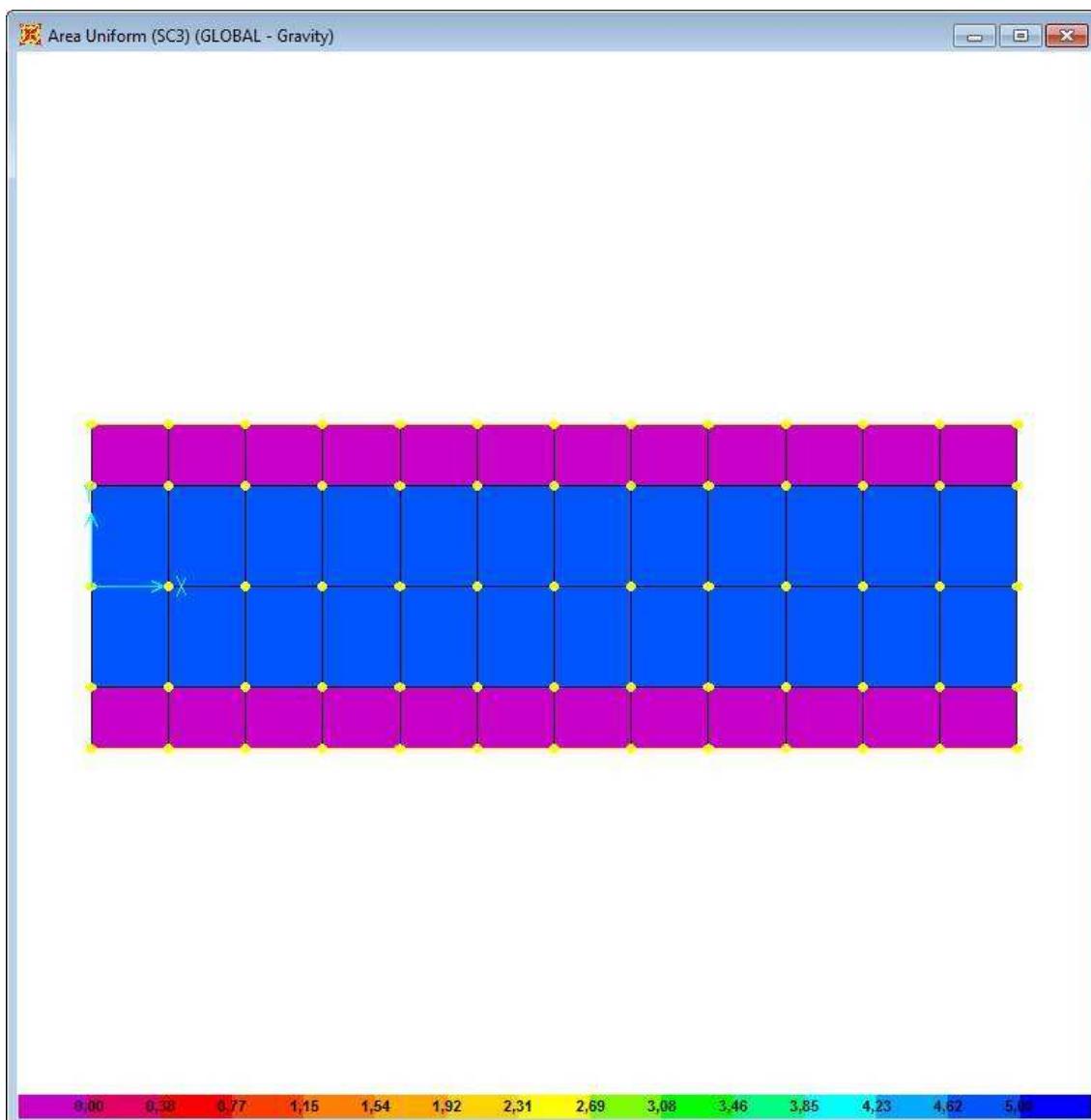


Figura 4.4 – SC3

5.6. SOBRECARGA(SC4)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 nos balanços.

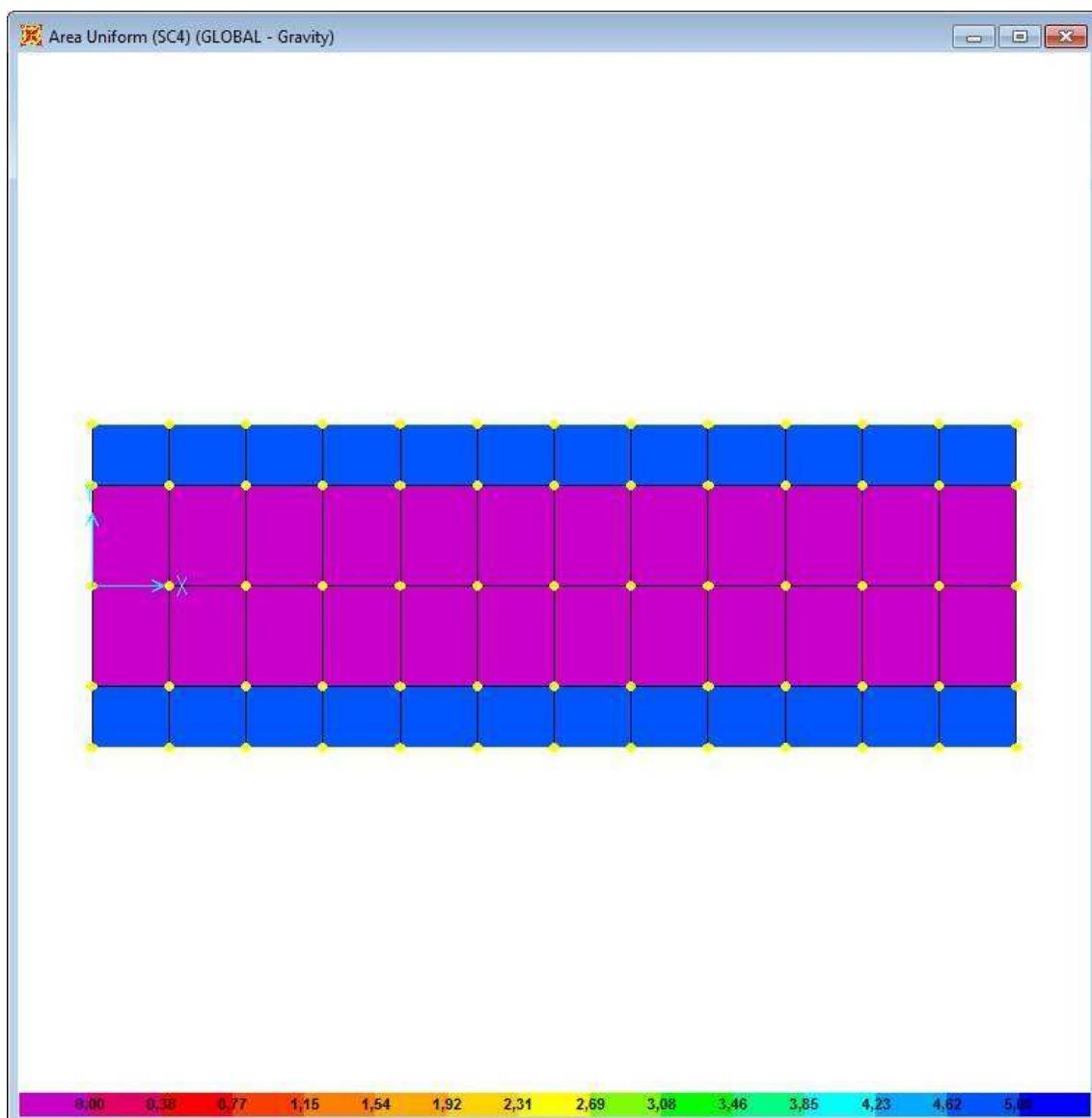


Figura 4.5 – SC4

5.8. SOBRECARGA(SC5)

Considera-se a carga de multidão no valor de 2kN/m^2 em todo tabuleiro na fase de construção.

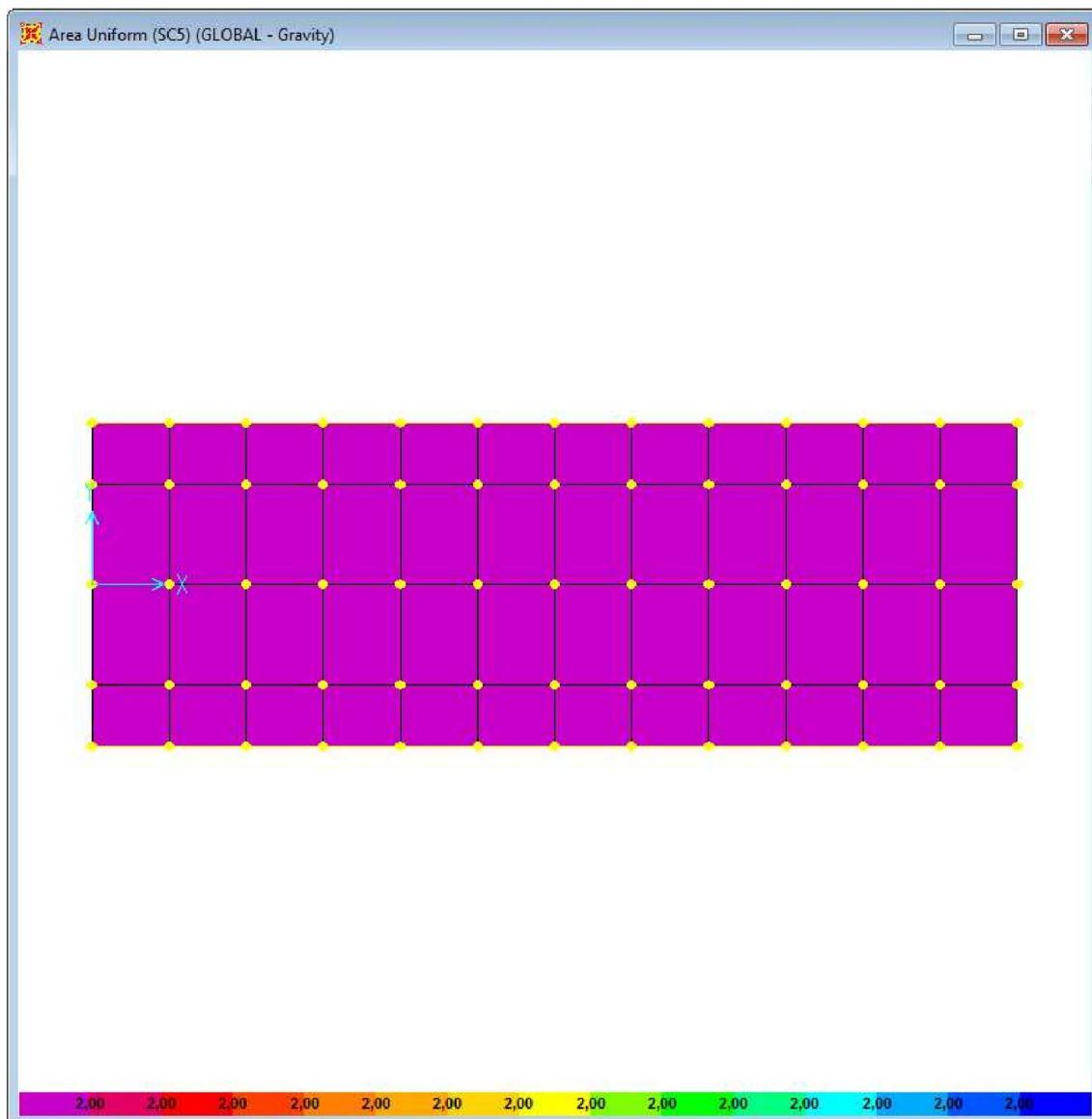


Figura 4.6 – SC5

5.10. MOVE 1

Foi utilizado o Trem Tipo TB-450 kN com a consideração referente à ABNT NBR 7188:2013 que admite a região em que o trem tipo esteja presente não haverá presença de sobrecarga, deste modo houve a redução do TB-450 kN para cargas de 60 kN para a simulação de tráfego. Neste caso o Trem Tipo foi aplicado no centro da ponte de forma a se deslocar longitudinalmente.

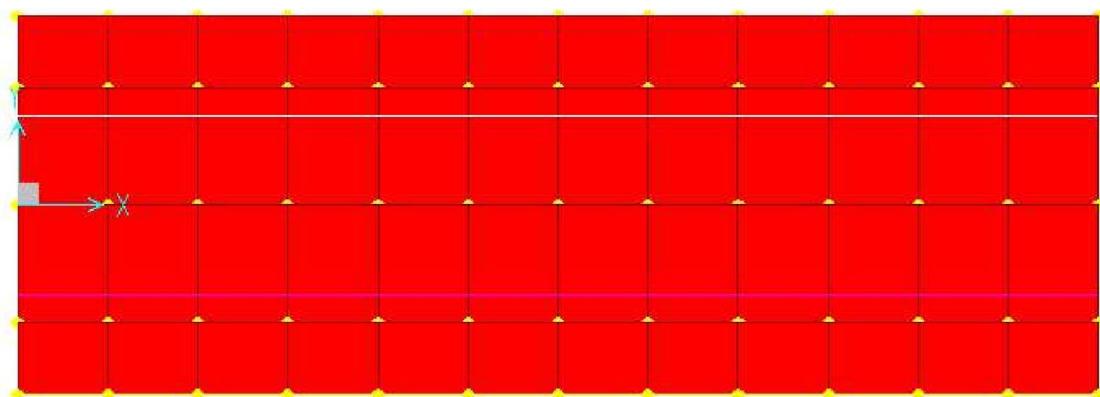
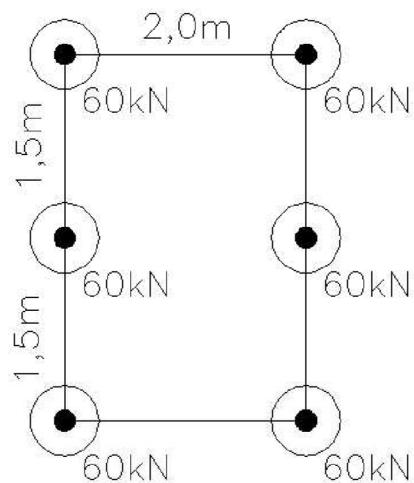


Figura 4.8 – MOVE 1

5.9. PESO PRÓPRIO DO GUARDA-RODAS (PPGR)

Considera-se a carga do New Jersey igual à sua área de corte multiplicado pelo peso específico do concreto armado, resultando em uma carga permanente linear por metro de extensão no valor de 5,8 kN/m.

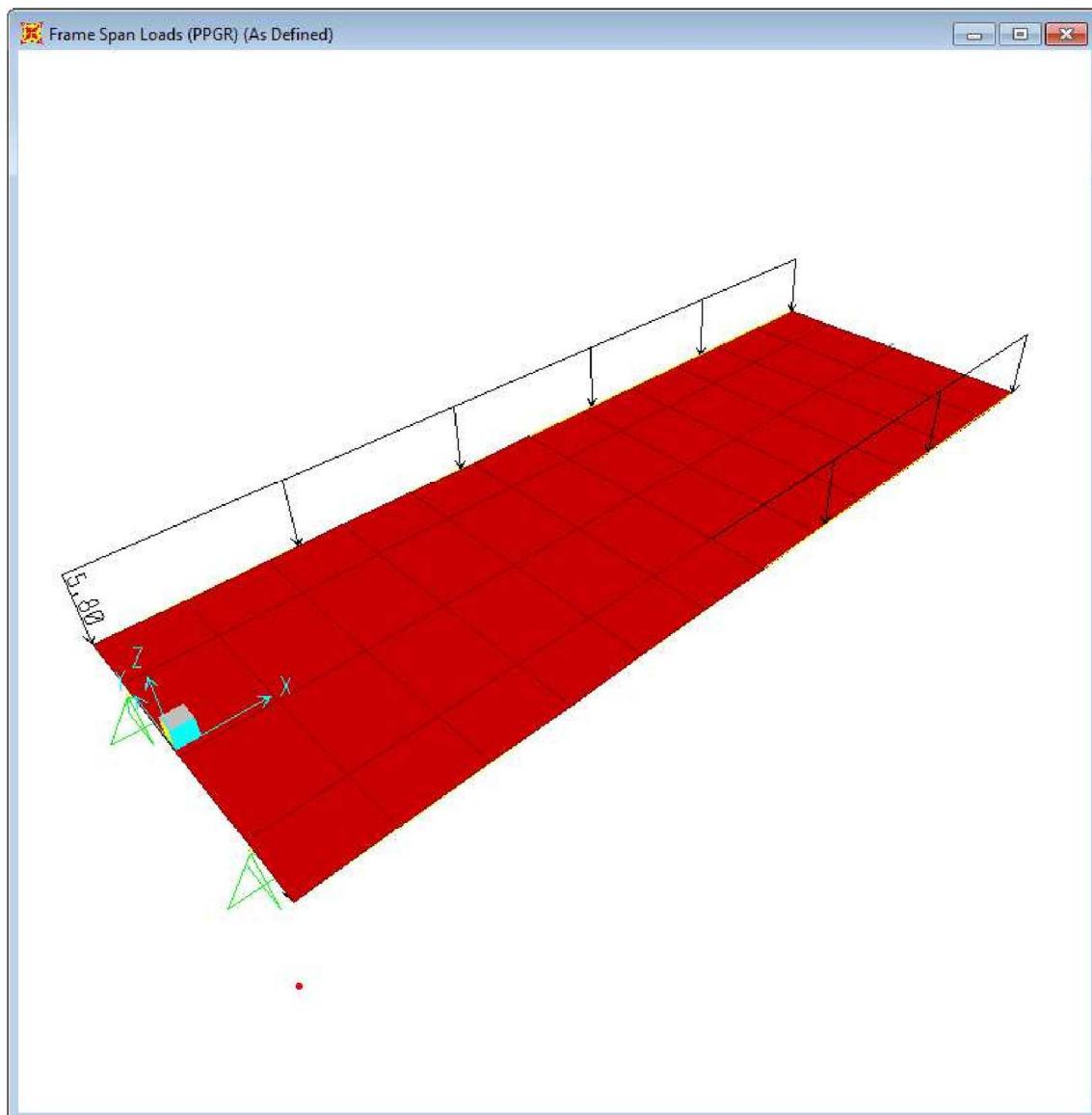


Figura 4.7 – PPGR

5.11. MOVE 2

Foi utilizado o Trem Tipo TB-450 kN com a consideração referente à ABNT NBR 7188:2013 que admite a região em que o trem tipo esteja presente não haverá presença de sobrecarga, deste modo houve a redução do TB-450 kN para cargas de 60 kN para a simulação de tráfego. Neste caso o Trem Tipo foi aplicado a 1,00m do centro da ponte de forma a se deslocar longitudinalmente.

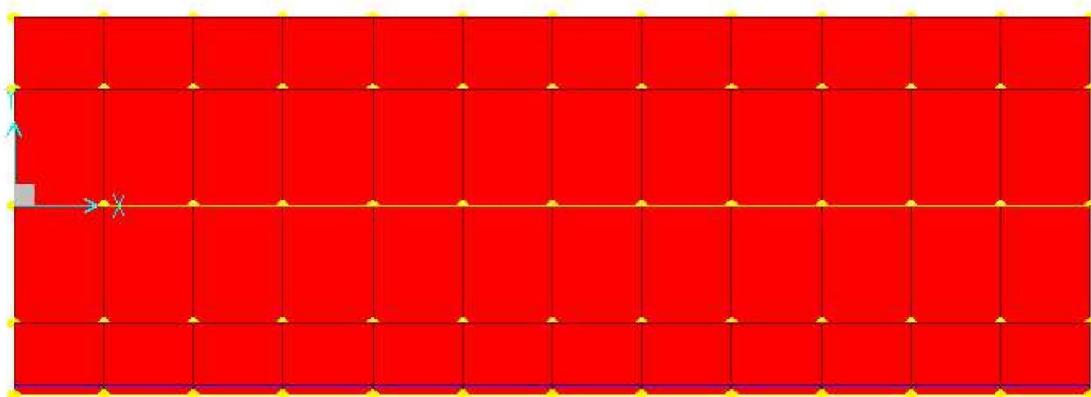
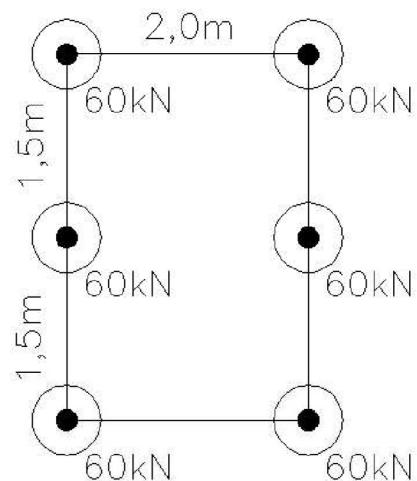


Figura 4.9 – MOVE 2

5.12. VENTO (VT)

Foram lançadas cargas de vento no valor de 4,25kN/m em toda a extensão longitudinal da ponte.

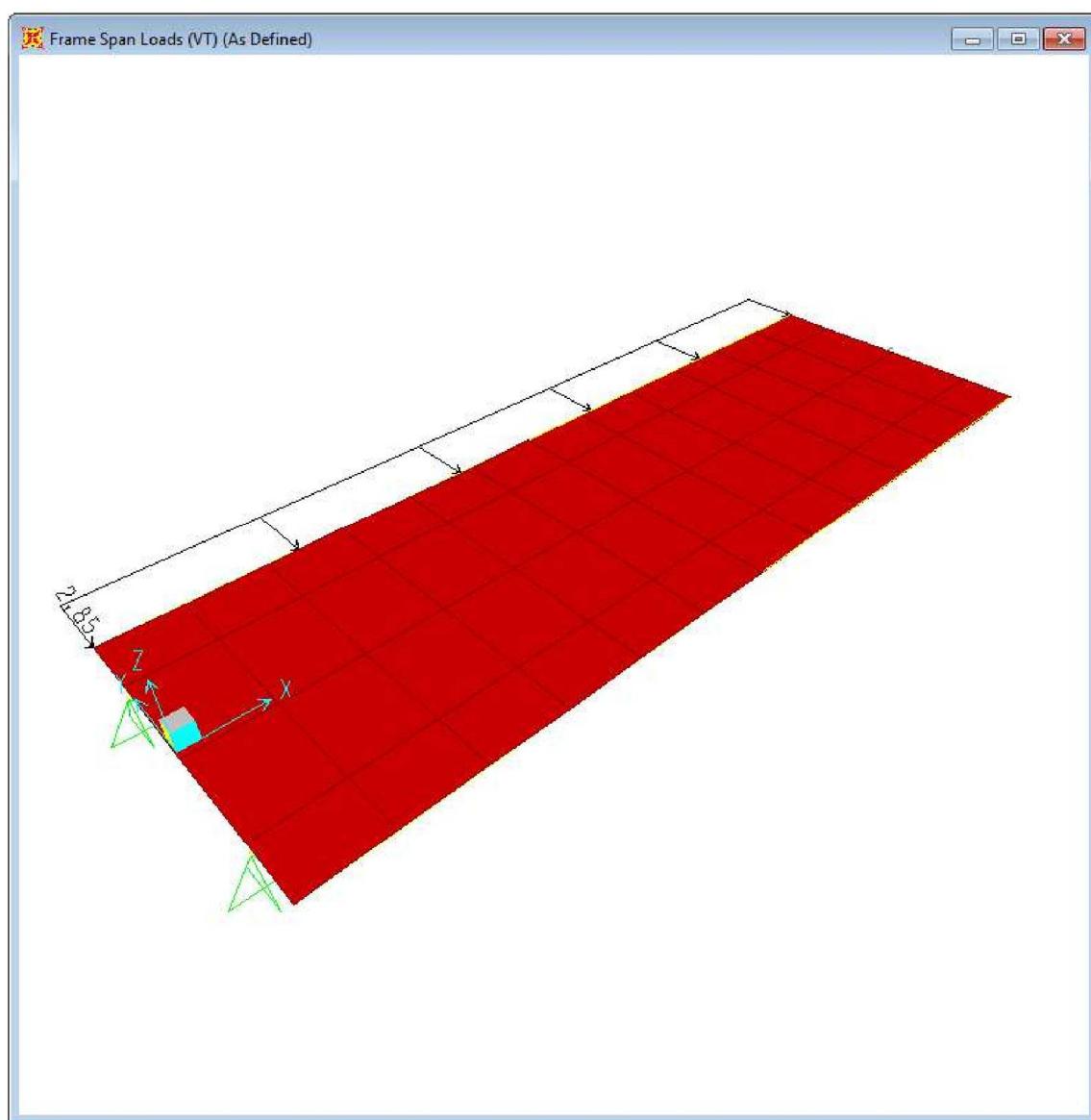
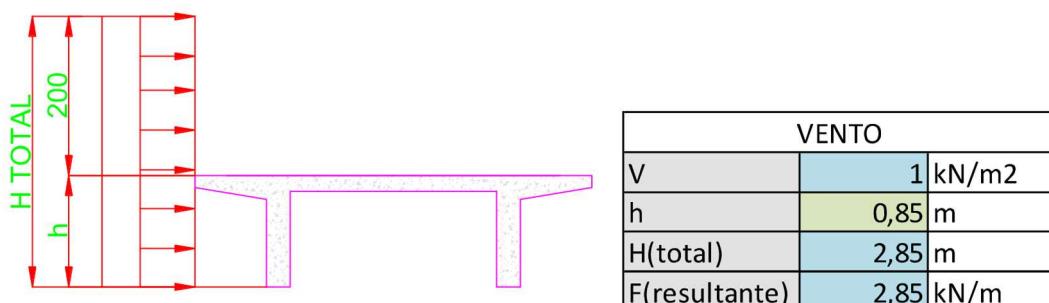


Figura 4.10 – VT

5.13. FRENAGEM (FREN)

Foram lançadas cargas de frenagem no valor de 2,68 kN/m² em toda a extensão da ponte.

| FRENAGEM | | |
|-------------|----------|-------------------|
| LARGURA (B) | 4,2 | m |
| CNF | 1,05 | adm |
| COMP. TOTAL | 12 | m |
| | | |
| ADOTADO | 135 | kN |
| | 2,678571 | kN/m ² |

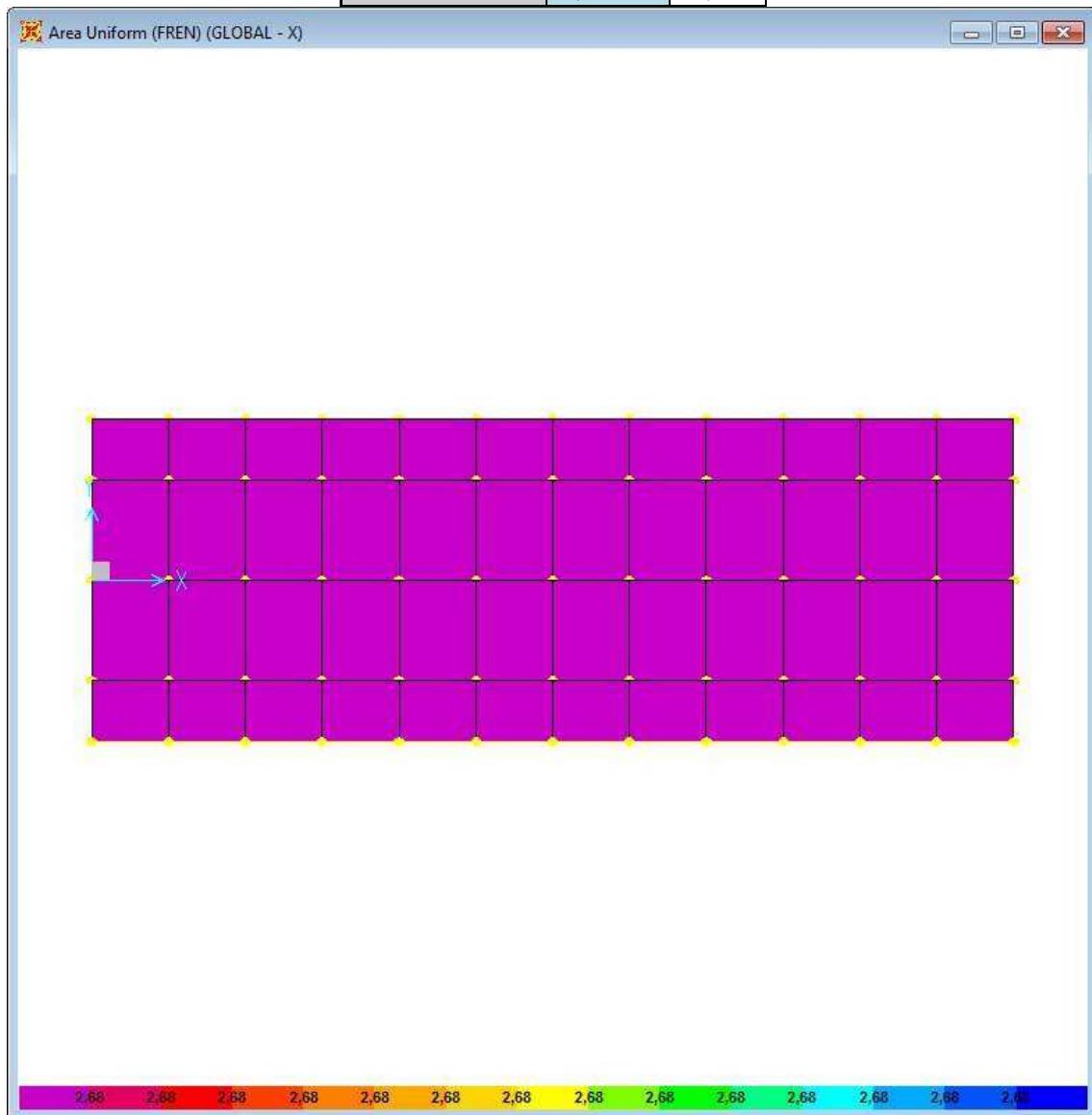


Figura 4.11 – FREN

5.14. TEMPERATURA (TEMP1)

Foi lançada variação de temperatura homogênea no valor de 20°C em toda a seção da ponte.

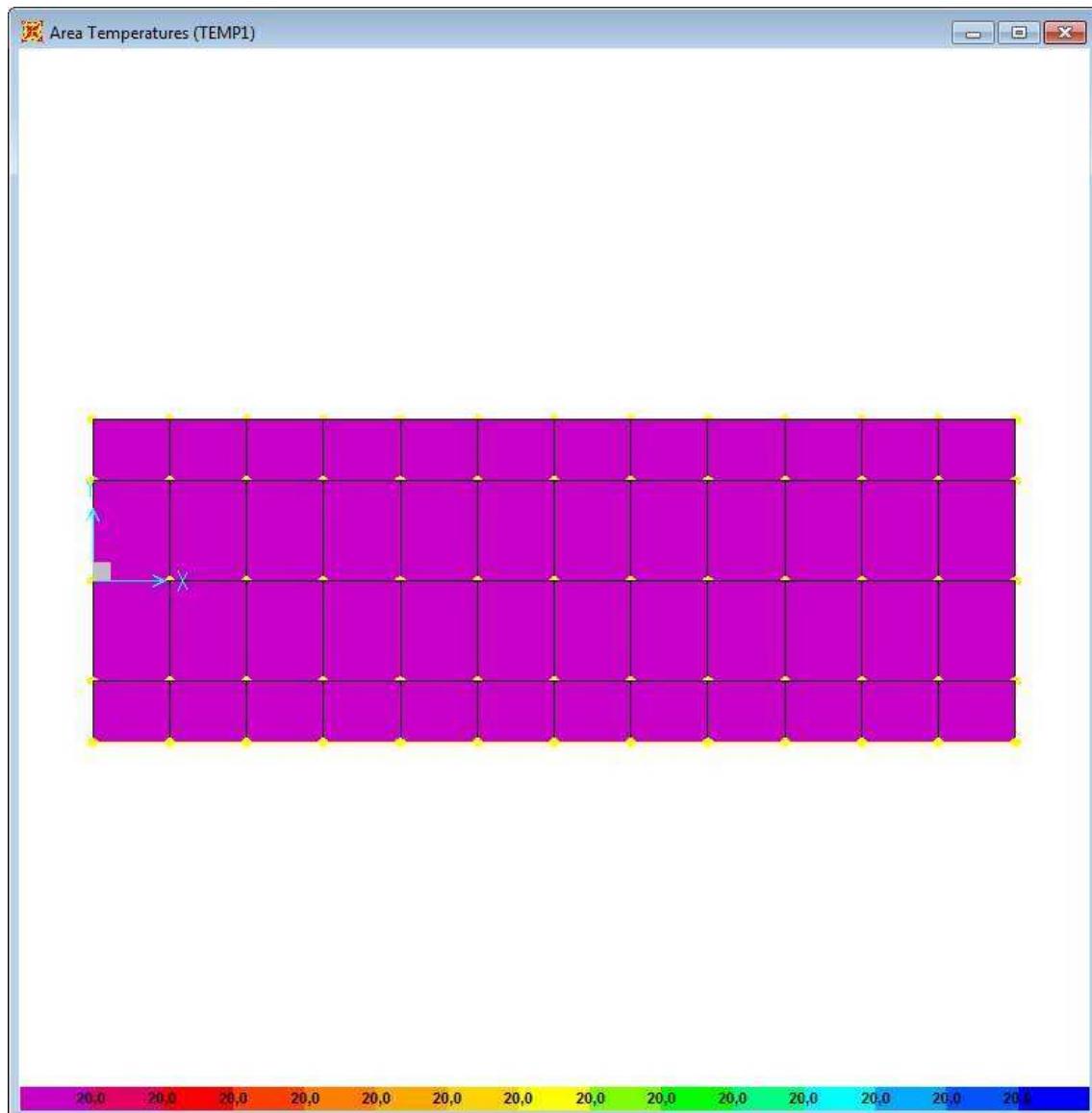


Figura 4.12 – TEMP1

5.15. TEMPERATURA (TEMP2)

Foi lançado um gradiente de temperatura no valor de $5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ em todo o tabuleiro da ponte.

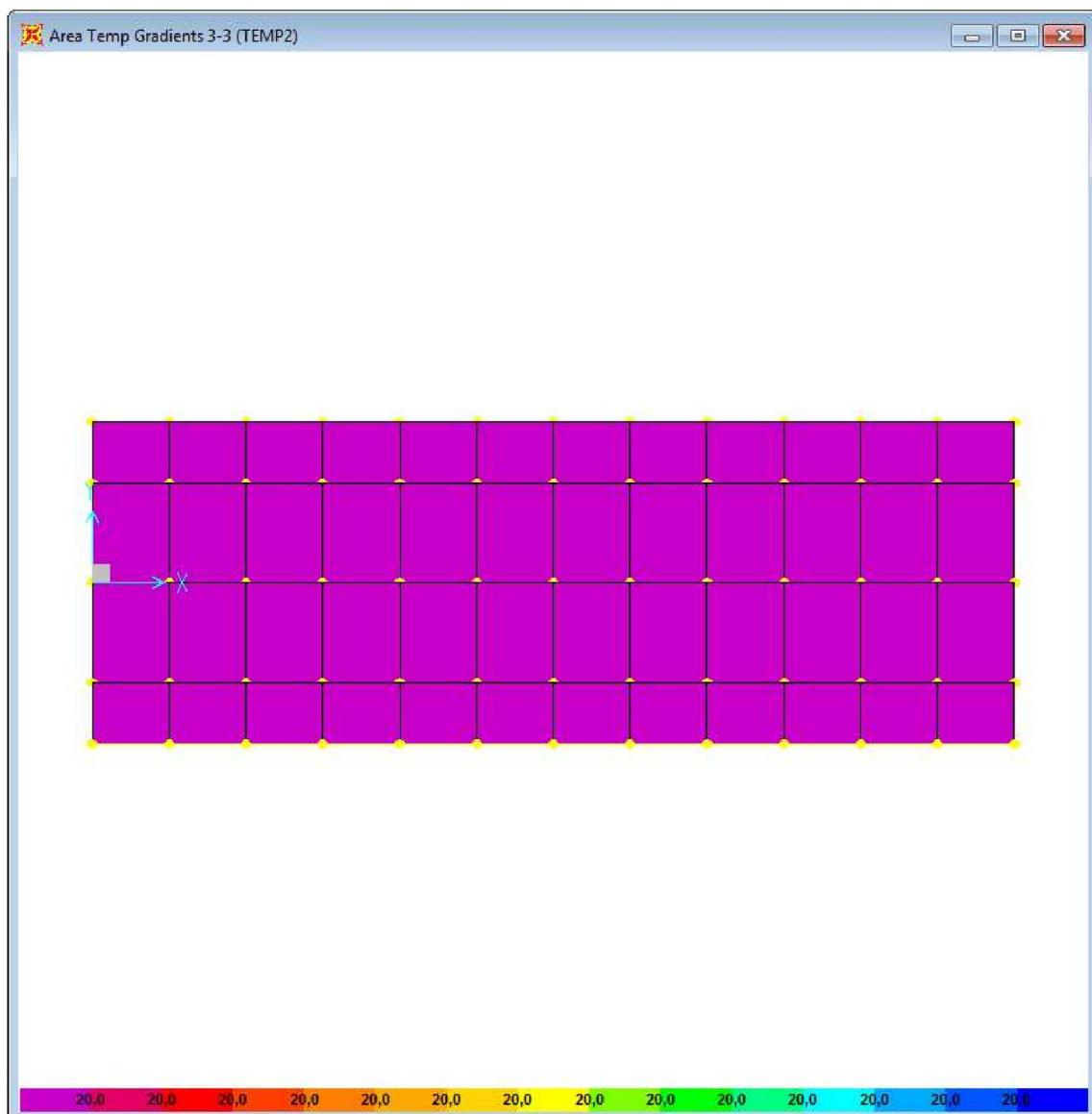


Figura 4.13 – TEMP2

5.16. COEFICIENTE DE IMPACTO

O coeficiente de impacto a ser lançado na estrutura é no valor de 1,76 e 1,41.

| TB - 450 kN | | |
|------------------------|------|--------------|
| COEFICIENTE DE IMPACTO | | |
| VÃO | L(m) | Nº DE FAIXAS |
| | 12 | 1 |

| | | |
|---------------|----------|----------|
| CIV | 1,341935 | 1,341935 |
| CNF | 1,05 | 1,05 |
| CIA | 1 | 1,25 |
| COEF. ADOTADO | 1,409032 | 1,76129 |

Figura 4.14- CI

6. COMBINAÇÕES

A seguir, serão demonstradas todas as combinações utilizadas para o cálculo do viaduto, com seus coeficientes de segurança:

6.1. ENVOLTÓRIA DE AÇÕES

- ✓ ENV MOVE = MOVE 1; MOVE 2
- ✓ ENV SC = SC1; SC2; SC3; SC4
- ✓ ENV TEMP = TEMP1; TEMP2

6.2. COMBINAÇÃO CONSTRUÇÃO

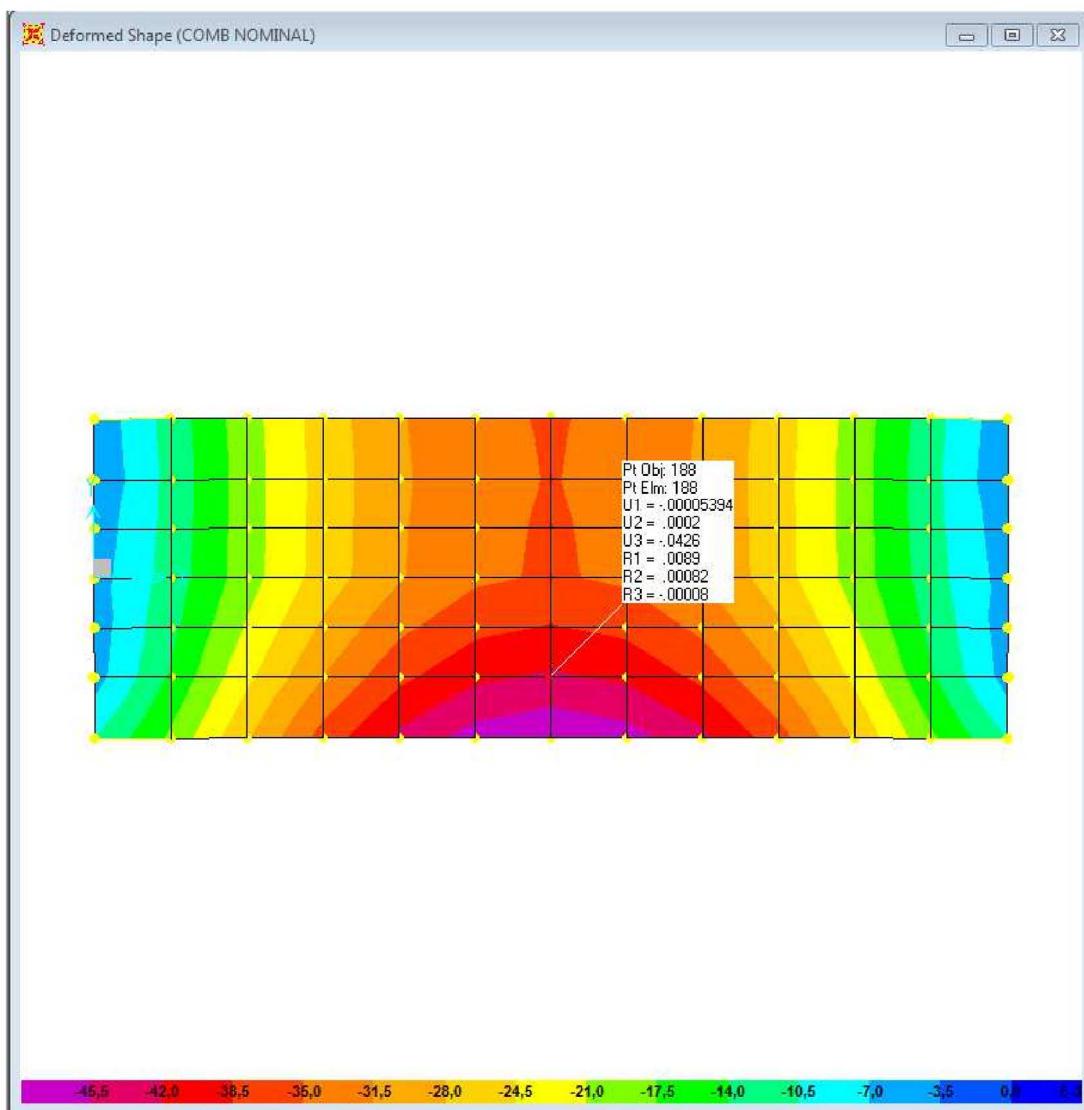
- ✓ COMB CONSTRUÇÃO = $1,35 \times \text{DEAD} + 1,5 \times \text{SC5}$

6.3. COMBINAÇÕES ÚLTIMAS

- ✓ PERM = $1,0 \times \text{DEAD} + 1,0 \times \text{PPGR} + 1,0 \times \text{REV}$
- ✓ MOVEL = $1,0 \times \text{ENV SC} + 1,0 \times \text{ENV MOVE}$
- ✓ COMB PERM = $1,35 \times \text{PERM}$
- ✓ COMB MOVEL (M) = $1,5 \times 1,41 \times \text{MOVEL}$
- ✓ COMB MOVEL (V) = $1,5 \times 1,76 \times \text{MOVEL}$
- ✓ COMB VERT = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,00 \times \text{COMB MOVEL}$
- ✓ COMB PERM+VT = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,5 \times \text{VT}$
- ✓ COMB PERM+TEMP = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,5 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB PERM+VT+TEMP (A) = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,5 \times \text{VT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB PERM+VT+TEMP (B) = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT} + 1,5 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB VERT+VT = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT}$
- ✓ COMB VERT+TEMP = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB VERT+FREN = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV FREN}$
- ✓ COMB VERT+VT+TEMP = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB VERT+VT+FREN = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV FREN}$
- ✓ COMB VERT+TEMP+FREN = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV FREN}$
- ✓ COMB VERT+TEMP+FREN+VT = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV FREN} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT}$

7. VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO

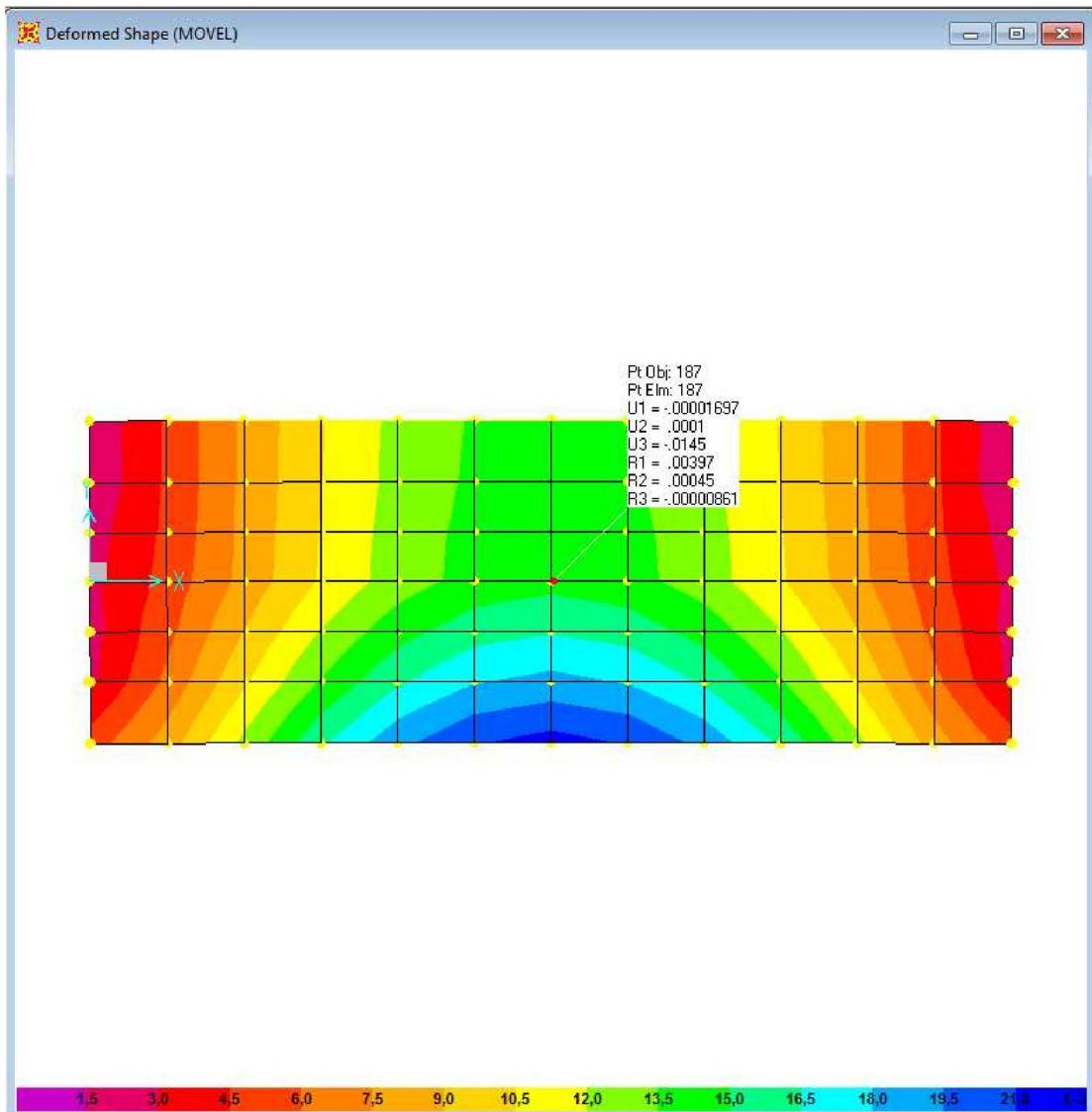
A máxima deformação admissível é de $L/250$, ou seja, $1200/250 = 4,80\text{cm}$.



$4,3 < 4,8\text{cm OK!!!}$

Todas as deformações encontradas são inferiores às estabelecidas.

A máxima deformação admissível para atuação de carga móvel é de $L/800$, ou seja, $1200/800 = 1,5\text{cm}$.



$1,45 < 1,5\text{cm}$ OK!!!

Todas as deformações encontradas são inferiores às estabelecidas.

8.1.2. RESULTADOS

ST_Stabile :: mCalc_Perfis

Arquivo Editar Ajuda

Perfil I (Lam.) da Aço/minas

Dimensões

| | | |
|----------------|------|----|
| b _w | 611 | mm |
| b _f | 324 | mm |
| t _f | 19 | mm |
| t _w | 12,7 | mm |

Solicitações de Cálculo (kN e m)

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| N _{c,Sd} | V _{x,Sd} | M _{x,Sd} | C _b |
| N _{t,Sd} | V _{y,Sd} | M _{y,Sd} | C _{m_x} |
| | | 414,64 | 1 |
| | 138,23 | | C _{m_y} |
| | | | 1 |

Comprimentos da Barra (m)

| | | | | | |
|------|------|----------------|------------------------|----------------|------------|
| KxLx | KzLz | λ _x | Travej. L _x | Aço | Selecionar |
| 6 | 6 | 23,46 | 3 | A | |
| KyLy | Lb | λ _y | | f _y | MPa |
| 6 | 6 | 81,3 | | 345 | 450 |

Resistências de Cálculo

| | | | |
|-------------------|-----------|-------------------|---------------|
| N _{c,Rd} | Sd/Rd = 0 | V _{x,Rd} | Sd/Rd = 0 |
| N _{t,Rd} | Sd/Rd = 0 | V _{y,Rd} | Sd/Rd = 0,095 |
| M _{x,Rd} | 0,345 | M _{y,Rd} | Sd/Rd = 0 |

$$\frac{N_{c,Sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) = 0,345$$

$$\frac{N_{t,Sd}}{2 \cdot N_{t,Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) = 0,345$$

Perfis Favoritos:

| | | |
|---|----------------|------------|
| W | b _w | Peso |
| W | 610 | 153 |
| W | 610 | 155 |
| W | 610 | 174 |
| W | 610 | 195 |
| W | 610 | 217 |

Adiciona Remove Seleciona Calcular Relatório Configuração Sair

Perfil I da Aço/minas

Perfil: W 610 155
Aço: A f_y = 345 MPa f_u = 450 MPa

COMPRIMENTOS DA BARRA

KxLx = 6 m KtL_t = 6 m
KyLy = 6 m Lb = 6 m

1. Cálculo da Tração

$$C_T = 1,00 \quad \text{Coeficiente de redução da área líquida}$$

$$A_n = 0,02 \text{ m}^2 \quad \text{Área líquida da seção transversal}$$

$$A_e = C_T \cdot A_n = 0,02 \text{ m}^2 \quad \text{Área líquida efetiva da seção transversal}$$

$$N_{t,Rd1} = \frac{A_e \cdot f_y}{1,10} = 6213,14 \text{ kN} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{t,Rd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{1,35} = 6603,33 \text{ kN} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

N_{t,Rd} = 6213,14 kN Força normal resistente de cálculo à tração

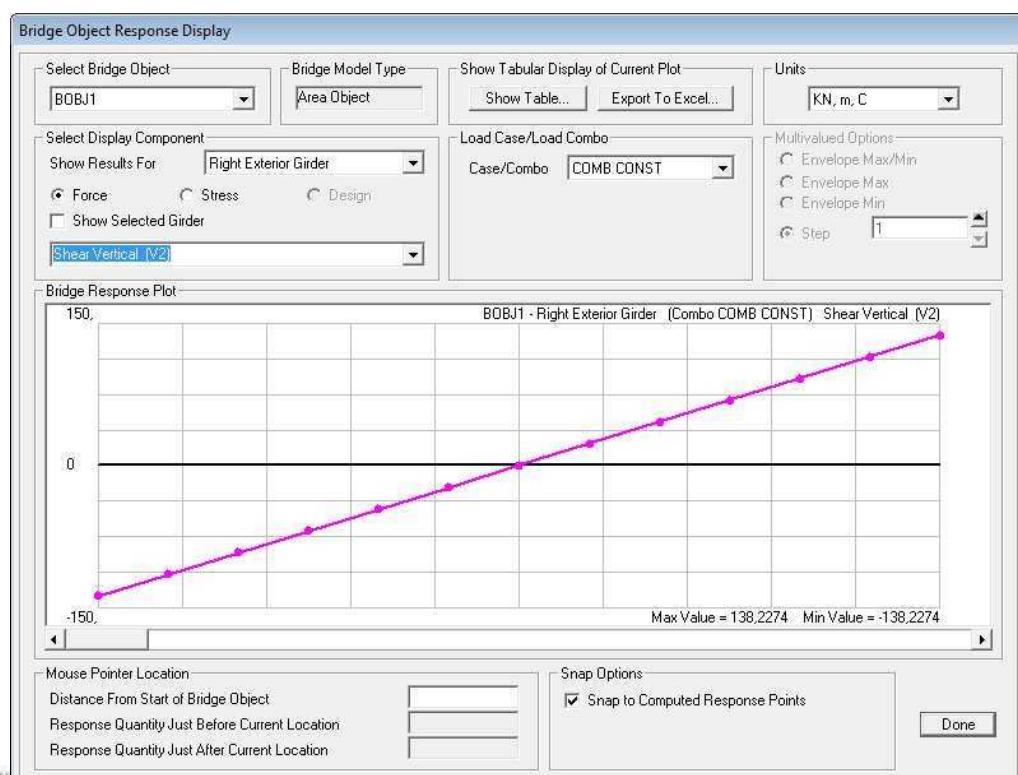
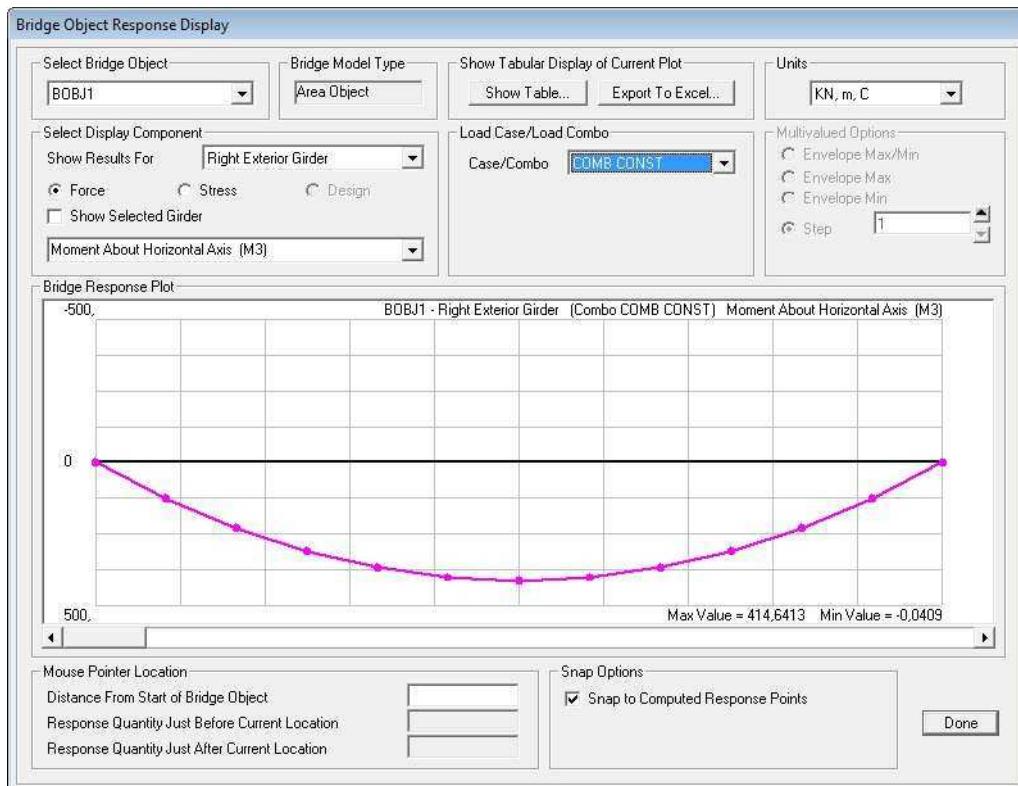
$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

8. VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS

8.1. VERIFICAÇÃO DO PERFIL – FASE DE CONSTRUÇÃO

8.1.1. GRÁFICOS DOS ESFORÇOS



$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então } M_{Rk} = C_b \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLT} = 1322,37 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLT}$$

3.2. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{t} = 8,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9,15 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 23,89 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$M_{cr} = \frac{0,69 \cdot E}{\lambda^2} \cdot W_c = 4025,90 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem elástica}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } M_{Rk} = \frac{M_{pl}}{1,10}$$

$$M_{Rk}^{FLM} = 1616,94 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

3.3. FLA - Flambagem Local da Alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 45,12 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137,24 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$M_r = W \cdot f_y = 1463,38 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } M_{Rk} = \frac{M_{pl}}{1,10}$$

$$M_{Rk}^{FLA} = 1616,94 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA}$$

$$M_{Rk} = 1322,37 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

$$M_{xRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 1202,15 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,34 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4 Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

$\sigma_r = 103500,00 \text{ kN/m}^2$ Tensão residual
 $W = 0,00 \text{ m}^3$ Módulo resistente elástico
 $Z = 0,00 \text{ m}^3$ Módulo resistente plástico
 $M_{pl} = Z \cdot f_y = 352,03 \text{ kN.m}$ Momento fletor de plastificação da seção

4.1. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 71051,83 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 5912,44 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 9481,06 \text{ kN}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 1,00$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 9481,06 \text{ kN}$$

$$N_e = 5912,44 \text{ kN}$$

$Q = 0,94$ Fator de redução associado à instabilidade local

$$N_{pl} = A \cdot f_y = 6834,45 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} = 1,04$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 \cdot (\lambda_0)^2 = 0,63$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 3704,33 \text{ kN}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3 Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

$$\sigma_r = 103500,00 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Tensão residual}$$

$$W = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo resistente elástico}$$

$$Z = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo resistente plástico}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y = 1616,94 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de plastificação da seção}$$

3.1. FLT - Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{81,30}{81,30} \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{205000}{235}} = 42,38 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\beta_1 = 0,03$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \cdot \sqrt{I_y \cdot I_t}}{r_y \cdot I_t \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} = \frac{1,38 \cdot \sqrt{1000 \cdot 1000}}{81,30 \cdot 1000 \cdot 0,03} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot 1,00 \cdot 0,03^2}{1000}}} = 120,68 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente}$$

ao início do escoamento

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \cdot W = 1024,36 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento}$$

$$C_b = 1,00 \quad \text{Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left(1 + 0,039 \cdot \frac{I_t \cdot L_b^2}{C_w}\right)} \leq M_{pl} = \frac{1024,36}{120,68^2} \cdot \sqrt{\frac{1,00}{1000} \cdot \left(1 + 0,039 \cdot \frac{1000 \cdot 120,68^2}{1,00}\right)} = 1616,94 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem elástica}$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = 8,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9,15 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 23,89 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } M_{Rk} = \frac{M_{pl}}{1,10}$$

$M_{Rk}^{FLM} = 352,03 \text{ kN.m}$ Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM

$M_{Rk} = 352,03 \text{ kN.m}$ Momento fletor resistente característico

$M_{yRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 320,03 \text{ kN.m}$ Momento fletor resistente de cálculo

$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{yRd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 8,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$k_v = 1,20$ Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 29,01 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 36,13 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento}$$

$A_w = 0,01 \text{ m}^2$ Área efetiva de cisalhamento

$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 2548,58 \text{ kN}$ Força cortante correspondente à plastificação

$\lambda \leq \lambda_p$ então $V_{Rk} = V_{pl}$

$V_{xRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 2316,89 \text{ kN}$ Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X

$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{xRd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 45,12 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

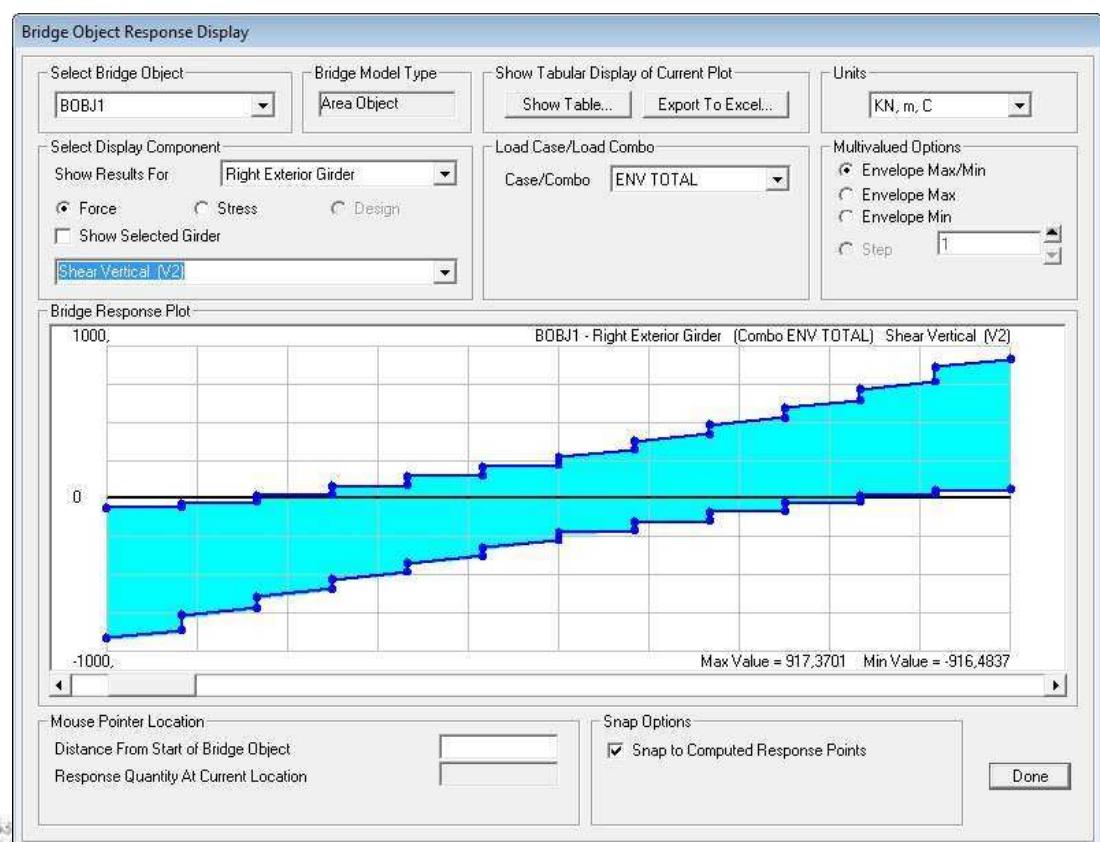
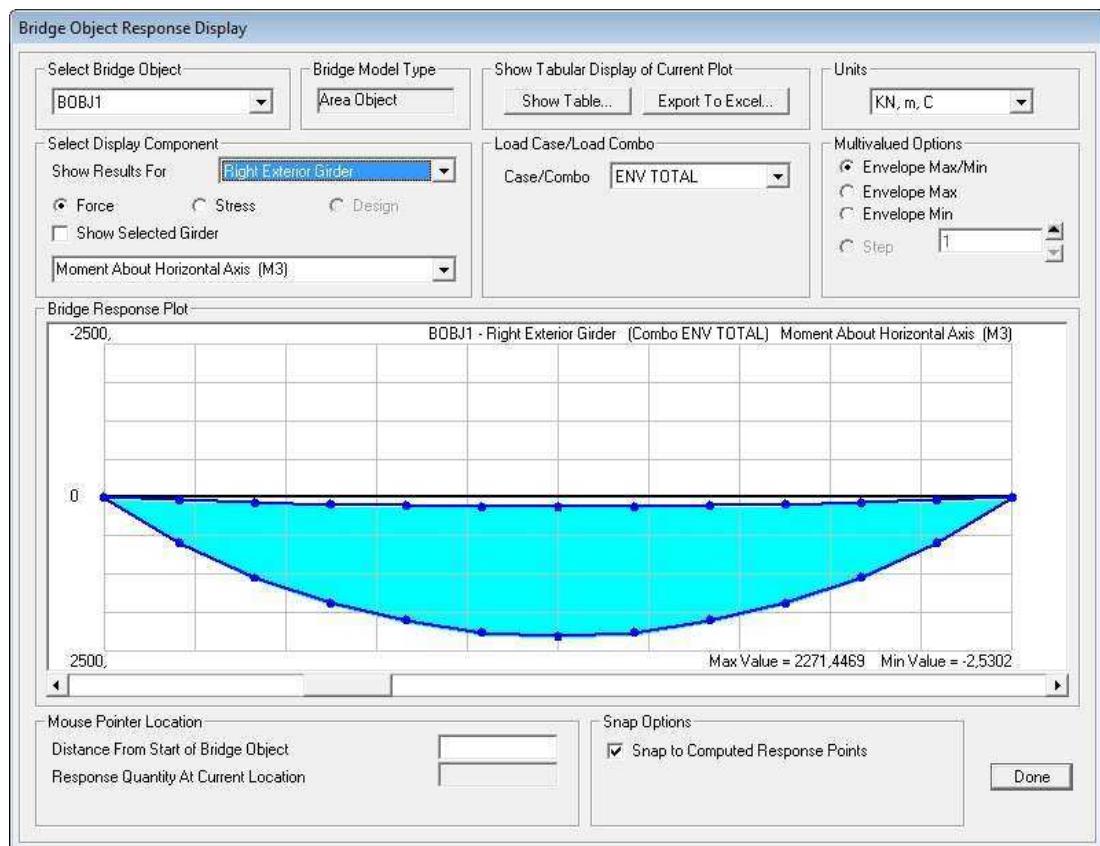
$k_v = 5,00$ Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 59,22 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 73,76 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

8.2. VERIFICAÇÃO DO PERFIL – COMBINAÇÃO ULTIMA

8.2.1. GRÁFICOS DOS ESFORÇOS



$$A_w = 0,01 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 1606,26 \text{ kN} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } V_{Rk} = V_{pl}$$

$$V_{yRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 1460,23 \text{ kN} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,09 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{tSd}}{2 \cdot N_{tRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,34$$

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,34$$

8.2.3. VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO

| Verificação ao Cisalhamento com Enrijecedor | | |
|---|-------------|-----------------|
| Vd | 917,4 | KN |
| a/h | 5,038394415 | |
| Kv | 5 | |
| Aw | 77,597 | cm ² |
| Ve(nomina) | 3516,49095 | KN |
| Vr(escome) | 1285,00632 | kN |
| Vpl | 1606,2579 | KN |
| Vrd | 1460,234455 | KN |
| Vrd > Vd | OK! | |

| Verificação Esbeltez | |
|----------------------|----------|
| $\lambda(h/t_w)$ | 45,11811 |
| λ_p | 59,96 |
| λ_r | 74,67 |

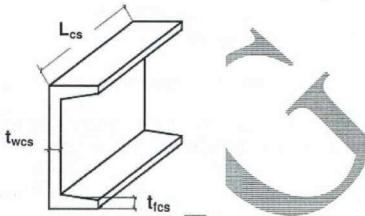
8.2.4. VERIFICAÇÃO DOS CONECTORES

| | | |
|---------------------|-------------|-----|
| f _{ycs} | 250 | MPa |
| f _{ucs} | 400 | MPa |
| C _{cd} | 5737,5 | KN |
| T _{ad} | 5596,276364 | KN |
| F _{hd} | 5596,276364 | KN |
| n | 23 | |
| n total | 46 | |
| vâo | 12 | m |
| n conect/fileira | 1 | |
| c/ | 26,7 | cm |
| b _f | 4 | cm |
| L _{cs} | 18 | cm |
| t _{wcs} | 0,457 | cm |
| t _{fcs} | 0,75 | cm |
| Q _{rd(kN)} | α | |
| 373,8427771 | 1,536447329 | OK |

(número de conectores entre o apoio e o ponto de M_{max})

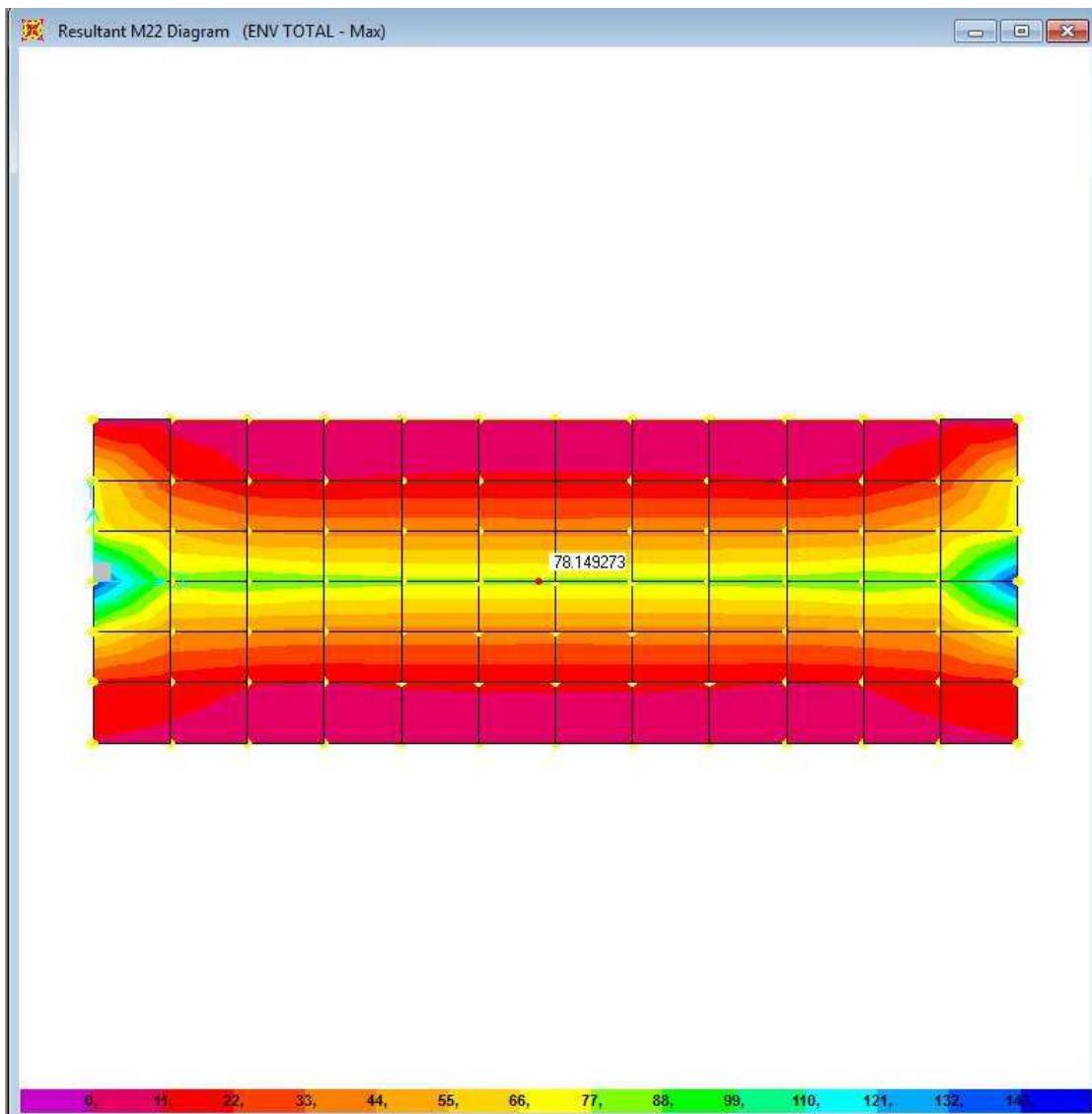
$$Q_{Rd} = \frac{0,3(t_{fcs} + 0,5t_{wcs})L_{cs}\sqrt{f_{ck}E_c}}{\gamma_{cs}} \quad (13.5)$$

onde t_{fcs} é a espessura da mesa do conector, tomada a meia distância entre a borda livre e a face adjacente da alma; t_{wcs} é a espessura da alma do conector e L_{cs} é o comprimento do perfil U, figura 13.13.

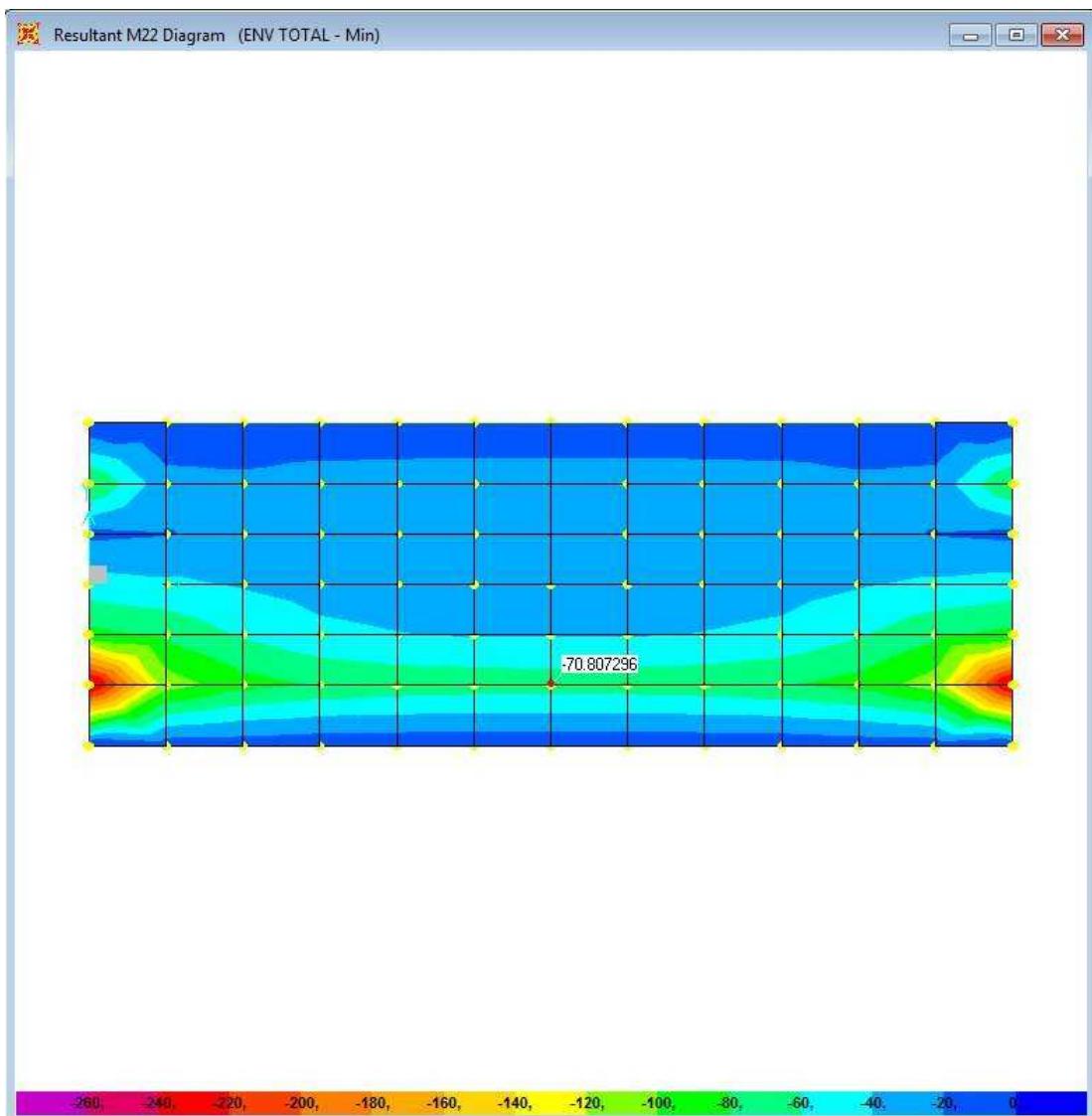


9. TABULEIRO

9.1. ARMAÇÃO POSITIVA PRINCIPAL

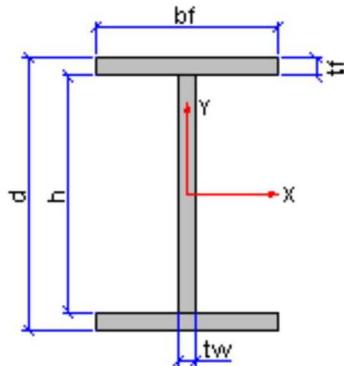


9.2. ARMAÇÃO NEGATIVA PRINCIPAL



8.2.2. VERIFICAÇÃO À FLEXÃO DO CONJUNTO PERFIL/TABULEIRO

| PROPRIEDADES DA VIGA | |
|-------------------------|-----------------------------|
| PERFIL | W610x155 |
| d | 611 mm |
| tw | 12,7 mm |
| bf sup | 324 mm |
| bf inf | 324 mm |
| tf sup | 19 mm |
| tf inf | 19 mm |
| h | 573 mm |
| Area (cm ²) | 198,1 cm ² |
| Zx | 4689,884628 cm ³ |
| yg | 302,0933897 mm |
| Iperfil | 127843,2823 cm ⁴ |
| Aço | A572 gr50 |
| fy | 345 MPa |
| fu | 450 MPa |
| Es | 20500 KN/cm ² |
| PROPRIEDADES DA LAJE | |
| Concreto | 30 MPa |
| B | 150 cm |
| e | 21 cm |
| Ec | 2607,16 KN/cm ² |
| αe | 7,86 |
| btr | 19,08 cm |
| hf | 0 cm |
| A'c | 400,61 cm ² |

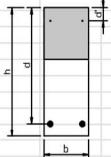


| Verificação Esbeltez | | |
|---|----------------------|---------------|
| h/tw | 45,12 | |
| FLA | 91,65 | Plastificação |
| FLA,lim | 138,94 | |
| PARA INTERAÇÃO COMPLETA E REGIME PLÁSTICO | | |
| Posição da LNP | | |
| Ccd | 5737,5 kN | |
| Tad | 6213,136364 kN | |
| LN está na viga | | |
| POSIÇÃO DA LN NA VIGA: | LNP NA MESA SUPERIOR | |
| PARA LNP NA MESA SUPERIOR | | |
| Yp | 0,234031133 cm | |
| Yc | 0,117015566 cm | |
| Yt | 29,32455587 cm | |
| Mrd | 250084,3106 kN.cm | OK |

| | | | |
|----|--------|------|--|
| Md | 227145 | KNcm | |
|----|--------|------|--|

9.3. DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO

| ELU - Ruptura | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| fck | 30 | MPa | | | | | | | | | | | |
| fyd | 500 | MPa | | | | | | | | | | | |
| b | 100,00 | cm | | | | | | | | | | | |
| h | 20,00 | cm | | | | | | | | | | | |
| d' | 2,50 | cm | | | | | | | | | | | |
| d | 17,50 | cm | | | | | | | | | | | |
| fc | 1,821428571 | kN/cm ² | | | | | | | | | | | |
| CAA | II | | | | | | | | | | | | |
| wk | 0,3 | mm | | | | | | | | | | | |



| Flexão | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------|-------|-------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|--------|-------------|--------|-------------|-------------------------------|-------------|----|
| Seção | Md (kN.m) | k | k' | As1 (cm ²) | As2 (cm ²) | As (cm ²) | As' (cm ²) | As,min (cm ²) | Ø (mm) | Espaçamento | Ø (mm) | Espaçamento | As,adotado (cm ²) | Verificação | |
| M22(+) | 78,15 | 0,140 | 0,140 | 11,11 | 0,00 | 11,11 | 0,00 | 3,00 | 12,5 | 12,5 | * | 6,3 | 12,5 | 12,31 | OK |
| M22(-) | 70,80 | 0,127 | 0,127 | 9,99 | 0,00 | 9,99 | 0,00 | 3,00 | 12,5 | 10 | | | | 12,27 | OK |

| Fissuração | | | | | | | | |
|------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|------|------|-------------|
| Seção | As,calc (cm ²) | As,efe (cm ²) | osi (kN/cm ²) | Acr (cm ²) | p _{cr} | w1 | w2 | Verificação |
| M22(+) | 11,11 | 12,31 | 28,05 | 1187,50 | 0,010 | 0,17 | 0,26 | OK |
| M22(-) | 9,99 | 12,27 | 25,28 | 1187,50 | 0,010 | 0,14 | 0,23 | OK |

9.4. ARMAÇÃO SECUNDÁRIA

$As_{necessário}$ é o maior valor entre:

$$\begin{aligned} & -0,9\text{cm}^2 \\ & -0,2 \times As \text{ principal} = 2,46\text{cm}^2 \\ & -0,5 \times As \text{ min} = 1,50\text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$As_{necessário} = 2,46\text{cm}^2/m$$

$$As, adotada = Ø8 c/15 = 3,35\text{cm}^2/m$$

É o relatório.

Catuji-MG, 13 de março de 2025