

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER

PROJETO DE ENGENHARIA PARA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA PR-323 km 174+200 ao km 180+500

LOCAL: DOUTOR CAMARGO/PR
TRECHO: km 174+200 AO km 180+500
FASE: PROJETO EXECUTIVO
EXTENSÃO: 6,30 km

VOLUME 3D
MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS
TOMO ÚNICO



FEVEREIRO/2020

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER

PROJETO DE ENGENHARIA PARA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA PR-323 km 174+200 ao km 180+500

LOCAL: DOUTOR CAMARGO/PR
TRECHO: km 174+200 AO km 180+500
FASE: PROJETO EXECUTIVO
EXTENSÃO: 6,30 km

VOLUME 3D
MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS
TOMO ÚNICO

| Revisão | Data | Descrição |
|---------|------------|-----------------|
| 00 | 14/02/2020 | Emissão inicial |
| | | |
| | | |
| | | |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | APRESENTAÇÃO | 2 |
| 2 | MAPA DE SITUAÇÃO | 3 |
| 3 | MEMORIAL DESCRITIVO E JUSTIFICATIVO | 4 |
| 4 | MEMÓRIA DE CALCULO | 6 |
| 4.1 | DADOS GERAIS DE PROJETO | 6 |
| 4.2 | GEOMETRIA..... | 6 |
| 4.2.1 | SEÇÃO LONGITUDINAL..... | 6 |
| 4.2.2 | SEÇÃO TRANSVERSAL..... | 7 |
| 4.2.3 | CONTENÇÕES..... | 7 |
| 4.2.4 | CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS..... | 8 |
| 4.3 | METODOLOGIA DE CÁLCULO – “PROGRAMA MIDAS/CIVIL” | 9 |
| 4.4 | COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO..... | 11 |
| 4.5 | CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA..... | 11 |
| 4.5.1 | CARREGAMENTOS NA SUPERESTRUTURA..... | 11 |
| 4.5.2 | LONGARINAS..... | 14 |
| 4.5.3 | TRANSVERSINAS DE APOIO..... | 23 |
| 4.5.4 | LAJES..... | 25 |
| 4.5.5 | LAJE DE TRANSIÇÃO..... | 27 |
| 4.6 | CÁLCULO DA MESO E INFRAESTRUTURA..... | 28 |
| 4.6.1 | CONTENÇÕES..... | 28 |
| 4.6.2 | NEOPRENE | 35 |
| 4.6.3 | ESTACAS..... | 36 |
| 5 | ANEXOS | 38 |
| 5.1 | ANEXO 1 – LONGARINAS..... | 38 |
| 5.2 | ANEXO 2 – TRANSVERSINAS..... | 43 |
| 6 | TERMO DE ENCERRAMENTO | 49 |

1 APRESENTAÇÃO

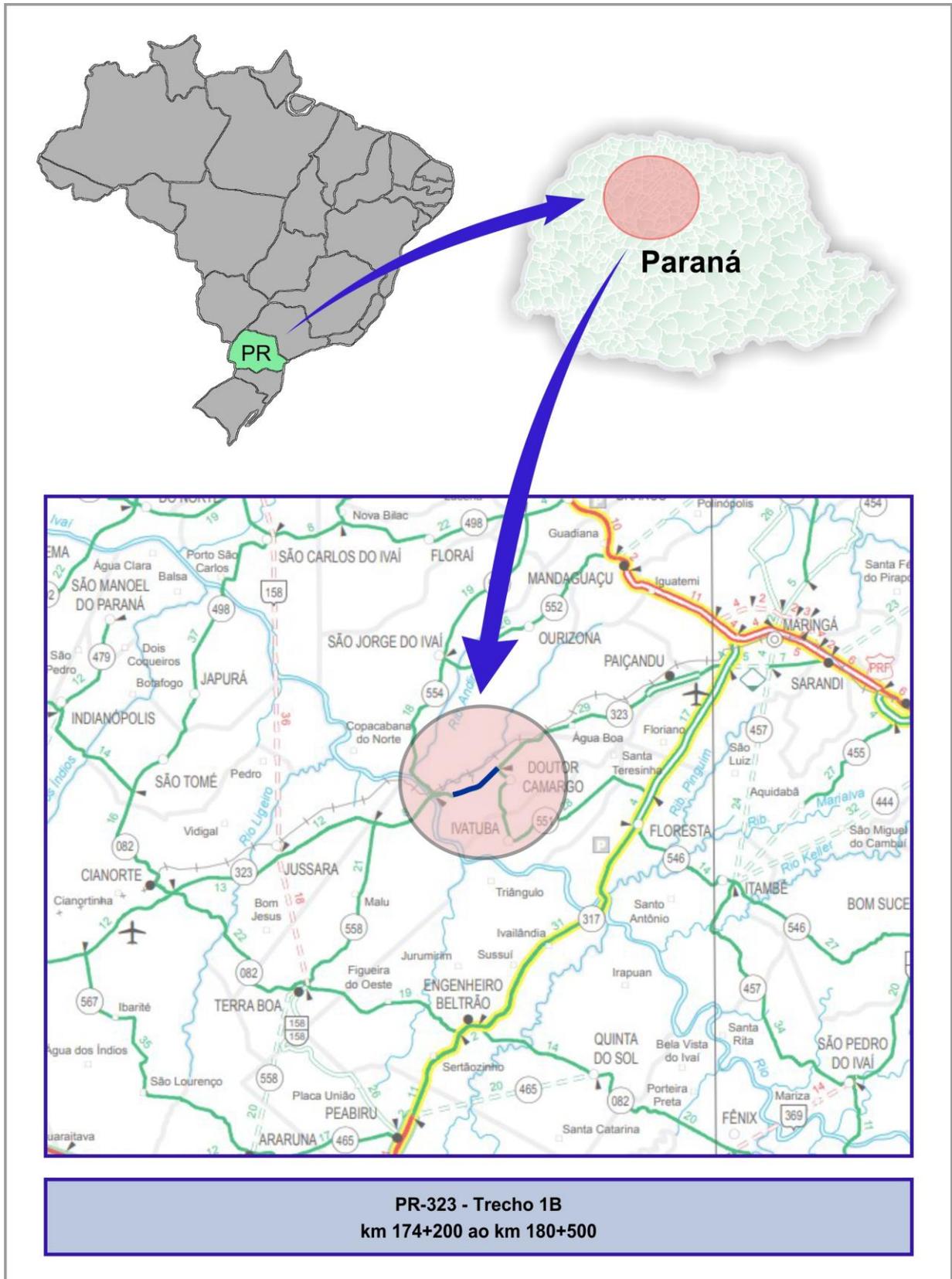
O presente volume tem por objetivo a apresentação do Projeto Executivo para duplicação da rodovia PR-323, através da duplicação da pista existente, implantação de interseção em desnível, implantação de vias marginais, acostamentos, passeios e demais intervenções necessárias no seguinte trecho:

- **Trecho 1B – Duplicação de 6,30 km da PR-323 (km 174,200 ao km 180,500), entre Dr. Camargo e Futura Variante do Rio Ivaí.**

Neste volume, denominado “Volume 3D – Memória de Cálculo de Estruturas” é apresentada a memória de cálculo para o Dispositivo 04.

Os estudos e projetos foram desenvolvidos seguindo o estabelecido nas normas e manuais de DER/PR e normas da ABNT, e quando não contemplados pelos anteriores, foram seguidos normas e manuais do DNIT.

2 MAPA DE SITUAÇÃO



3 MEMORIAL DESCRITIVO E JUSTIFICATIVO

Passagem superior localizada na estaca 8731 da rodovia PR323.

Com esconsidade de 65,4° possui um comprimento total de 30,50m e sua largura, de 13,50m, permite a incorporação de duas pistas de rolagem com respectivos acostamentos além das barreiras de proteção.

A superestrutura do viaduto, do tipo grelha plana, tem como estrutura principal cinco longarinas pré-moldadas em concreto protendido, as quais serão solidarizadas na obra através da concretagem "in loco" de transversinas e lajes do tabuleiro. Para a execução das lajes usar-se-ão pré-lajes pré-moldadas, apoiadas sobre as longarinas, eliminando-se a necessidade de formas. Nas extremidades da obra estão previstas juntas de dilatação do tipo Jeene.

Devido as cotas do terreno natural estarem no nível da superestrutura optou-se pela utilização de cortinas de contenções nas extremidades da obra. Estas contenções, que servirão também de apoio para a superestrutura, são constituídas pela associação de estacas $\phi 600\text{mm}$, placas de concreto para vedação e vigas de coroamento atirantadas no terreno natural. Com essa solução, considerando o gabarito vertical da rodovia, conseguiu-se uma redução de aproximadamente 10m na obra, além de deixa-la mais esbelta e reduzir seu custo/m².

Nos acessos da obra foram previstas placas de aproximação para evitar possíveis recalques diferenciais entre o aterro e a estrutura, evitando-se possíveis desconfortos para os usuários.

- Classe da obra: trem tipo Classe 45 da NBR7188.
- Classe de agressividade ambiental II NBR6118/2014.
- Cobrimento da armação: vigas = 30mm
lajes = 25mm
estacas = 70mm
- Concreto estrutural: superestrutura fck = 30Mpa
Contenção fck = 25Mpa

- Aço: CA-50 / CP190-RB ϕ 12,7mm / DYWIDAGST85/105

Todo o projeto foi desenvolvido obedecendo as Normas Brasileiras preconizadas pela ABNT.

Bibliografia consultada:

- Construções de Concreto: F. Leonhardt/ E. Monnig
- Cálculo de Concreto Armado: Lauro M. dos Santos
- Fundações – Teoria e Prática: ABMS / ABEF
- Técnica de Armar das Estruturas de Concreto: Péricles Fusco
- Fundações, Estruturas de Arrimo e Obras de Terra: Tschebotarioff
- Hormigon Pretensado: F. Leonhardt
- Curso de Concreto Armado: José Carlos Sússekind
- Pontes de Concreto Armado: Oswaldemar Marcheti
- Concreto Armado: Carvalho e Figueiredo Filho
- Normas ABNT:
 - NBR6118/14: Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado
 - NBR7187/03: Projeto de Pontes de Concreto Armado e Protendido
 - NBR7188/85: Carga Móvel em Ponte Rodoviária
 - NBR 6122/96: Projeto e Execução de Fundações
 - NBR6123/88: Forças Devido ao Vento em Edificações
 - NBR7480/08: Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado

4 MEMÓRIA DE CALCULO

4.1 DADOS GERAIS DE PROJETO

Classe da obra: Veículo padrão TB-450 (NBR7188:2014)

Agressividade ambiental: Classe II (NBR 6118:2014)

Aço: CA-50 ; CP-190RB

Concreto:

Superestrutura: $f_{ck} = 30\text{MPa}$

$E_{cs} = 27\text{GPa}$

Meso e Infraestrutura: $f_{ck} = 25\text{MPa}$

$E_{cs} = 24\text{GPa}$

Cobrimentos:

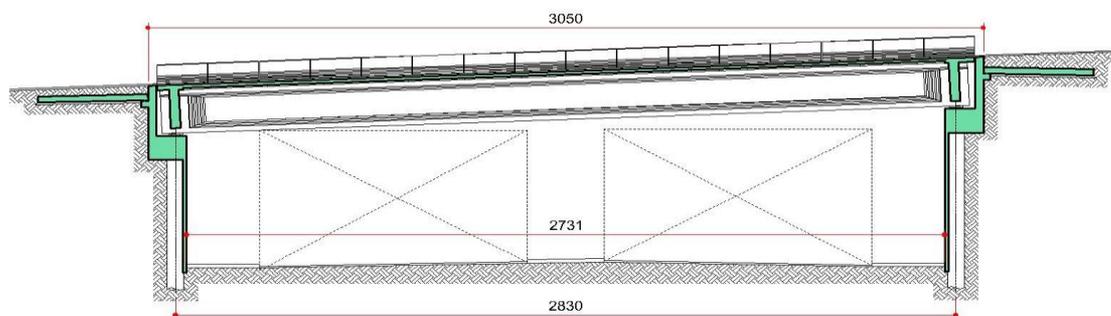
Lajes = 25mm

Vigas = 30mm

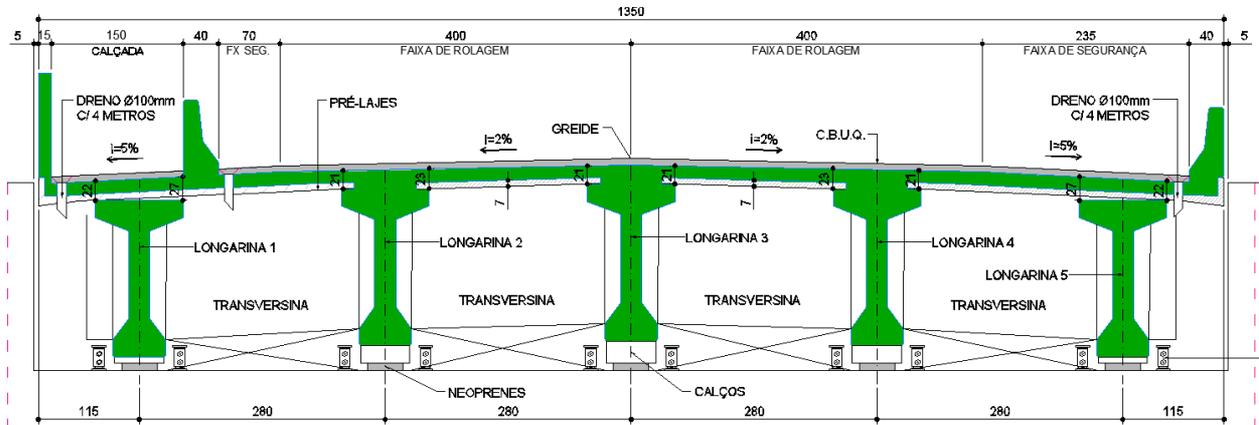
Estacas = 70mm

4.2 GEOMETRIA

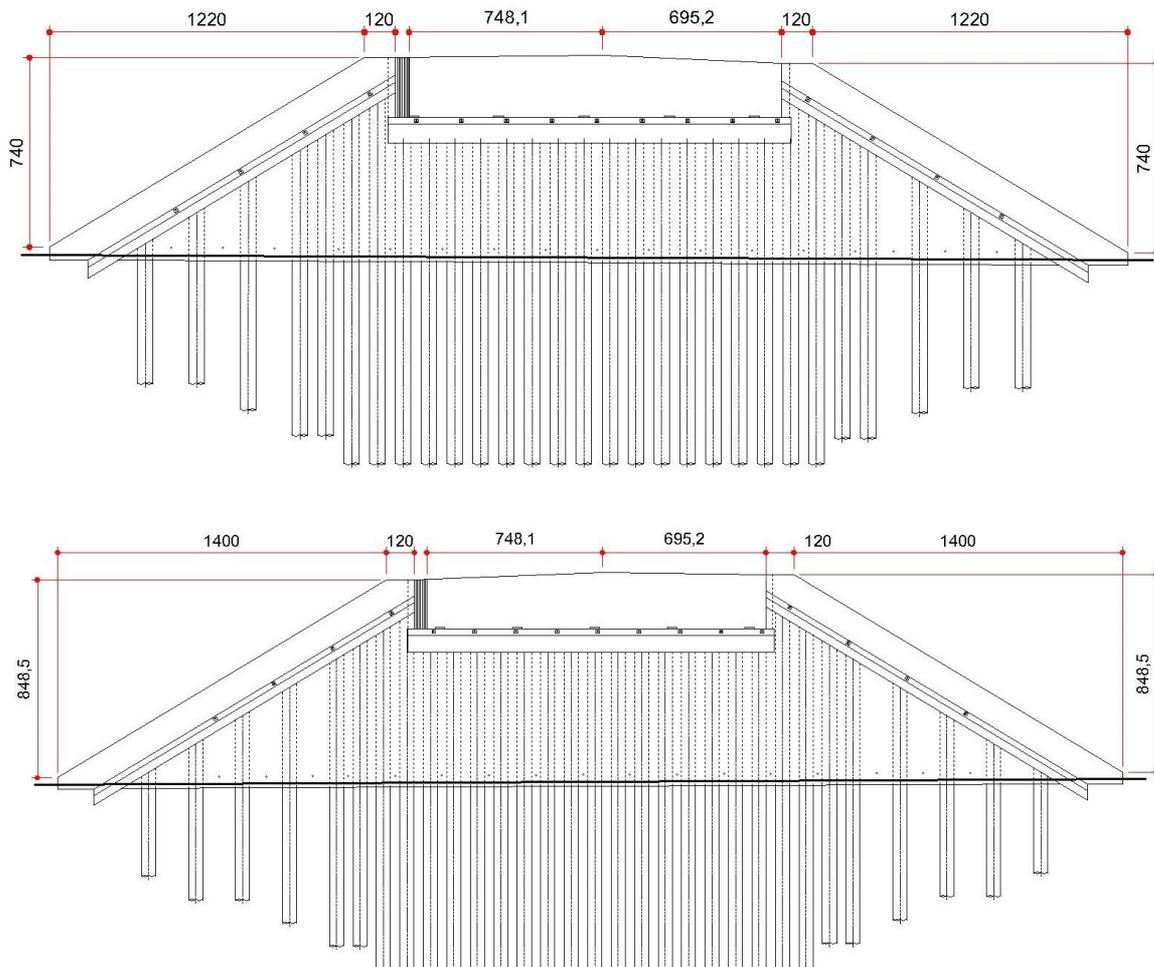
4.2.1 SEÇÃO LONGITUDINAL



4.2.2 SEÇÃO TRANSVERSAL

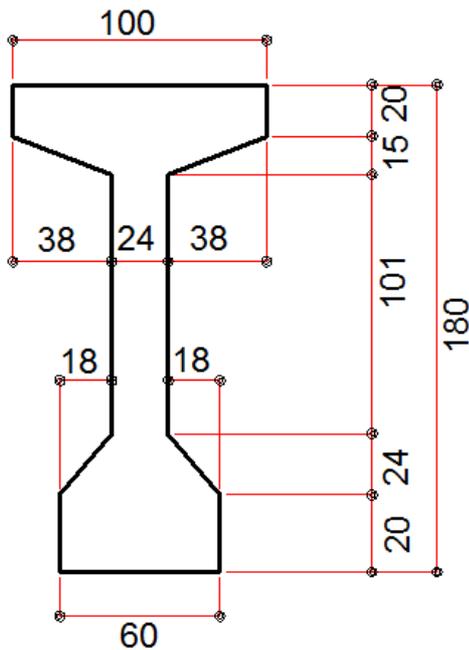


4.2.3 CONTENÇÕES



4.2.4 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

LONGARINAS - PERFIL SIMPLES



$$A = 0,7562\text{m}^2$$

$$y_s = 0,8018\text{m}$$

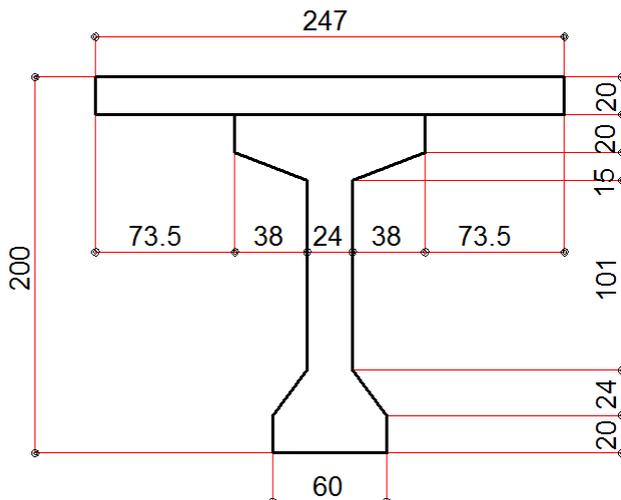
$$y_i = 0,9982\text{m}$$

$$I = 0,2944\text{m}^4$$

$$W_s = 0,3671\text{m}^3$$

$$W_i = 0,2949\text{m}^3$$

LONGARINAS - PERFIL COMPOSTO



$$A = 1,2754\text{m}^2$$

$$y_s = 0,6426\text{m}$$

$$y_i = 1,3674\text{m}$$

$$I = 0,5494\text{m}^4$$

$$W_s = 0,85495\text{m}^3$$

$$W_i = 0,40180\text{m}^3$$

4.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO – “Programa MIDAS/CIVIL”

Para a determinação dos esforços solicitantes será utilizado o software de análise estrutural MIDAS CIVIL (Midas Technology Co, Ltda), versão 2015 v2.2.

Trata-se de um programa onde a partir da geração de um modelo geométrico, as cargas são aplicadas em um tabuleiro ou elemento específico. Os cálculos são feitos por elementos finitos para todos os carregamentos que poderão ser combinados ou ter envoltórias definidas para qualquer solicitação desejada.

O programa está subdividido em:

- Estrutura de nós e elementos;
- Propriedades, onde o tipo de materiais que farão parte de cada elemento será definido;
- Seções de cada peça é definida de acordo com a respectiva geometria adotada;
- Apoios e contornos dos elementos fixos ou articulados, é adotado de acordo com o grau de liberdade restrito de cada nó;
- Carregamentos estáticos (mortos ou vivos);
- Cargas móveis (trem tipo);
- Elementos que geram seções de laje;
- Otimização da distribuição transversal de cargas móveis nas linhas de influência.

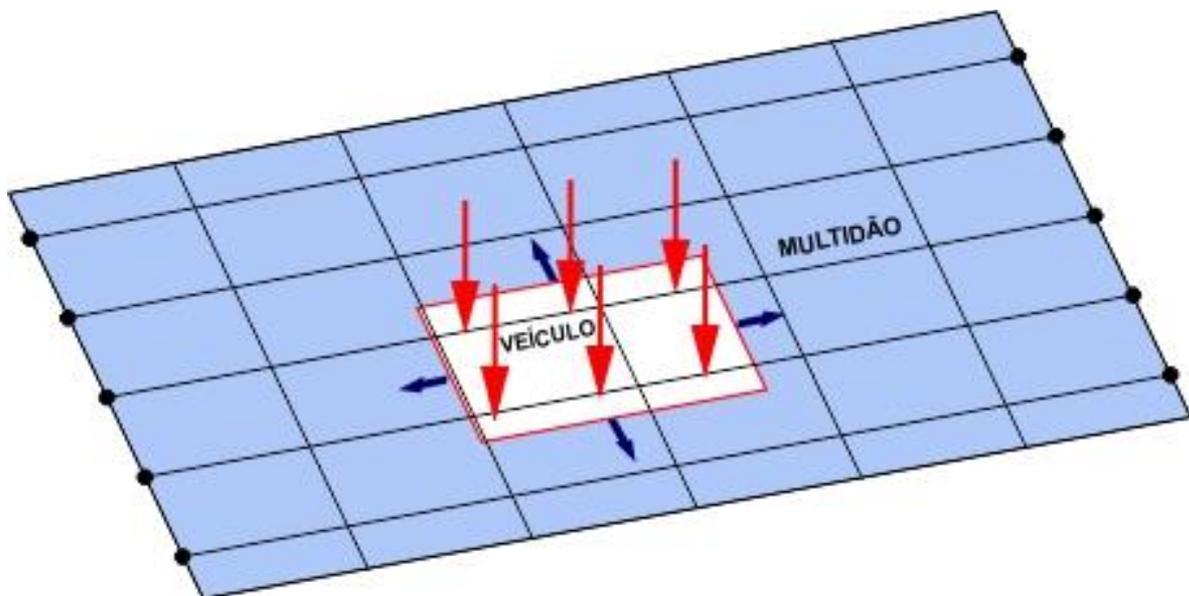
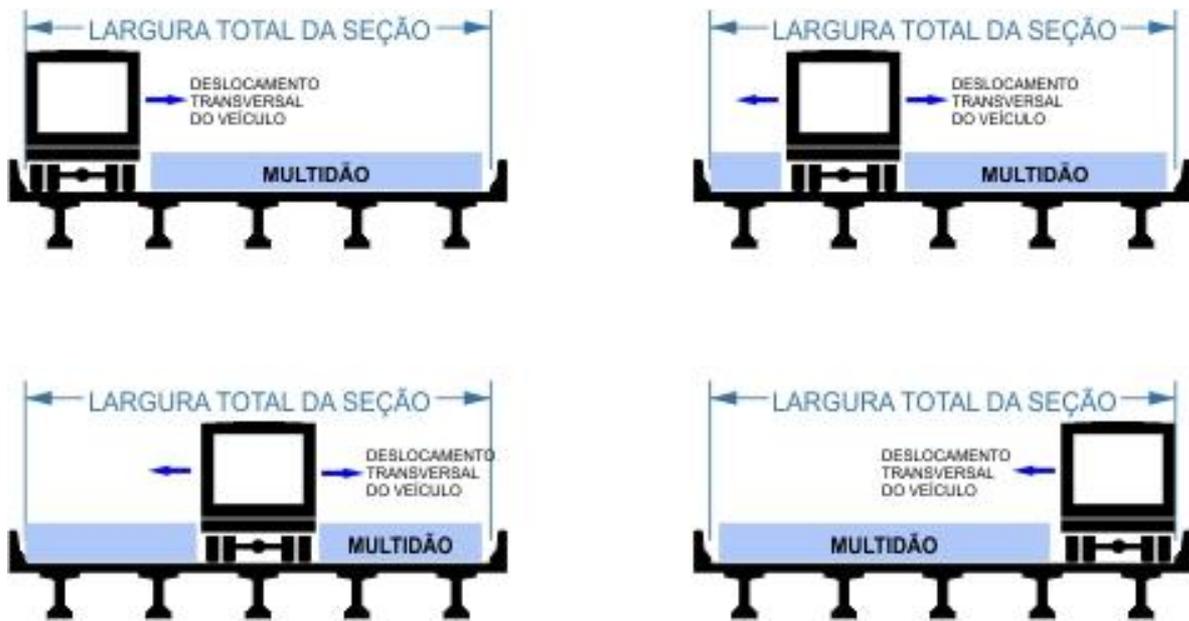
Através da opção “TRAFFIC LANE OPTIMIZATION”, o software MIDAS CIVIL 2015 v2.2, faz com que o trem de cargas flutue transversalmente enquanto percorre a linha de influência obtendo desta forma o pior efeito de posicionamento do veículo para cada elemento de barra ou placa que tenha sido discretizado no modelo.

No sistema convencional, diversas linhas são lançadas e percorrem longitudinalmente a obra de acordo com as matrizes de rigidez que estabelecem o posicionamento da pior situação para o elemento a ser analisado.

Com essa função, uma só linha lançada sobre toda a largura da seção transversal e, à medida que o trem desenvolve longitudinalmente ele flutua transversalmente com

incrementos mínimos de tal forma que todas as peças são carregadas para produzir o máximo efeito gerador de esforços.

As figuras abaixo ilustram o deslocamento transversal do veículo e na planta o desenvolvimento para os lados enquanto percorre a linha de influência longitudinalmente.



4.4 COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO

φ = coeficiente de impacto do elemento estudado

a) Estado Limite Último (E.L.U.):

$$F_d = 1,35 \cdot F_g + 1,5 \cdot \varphi \cdot F_q$$

b) Estado Limite de Serviço (E.L.S.):

$$F_d = F_g + 0,5 \cdot \varphi \cdot F_q$$

c) Estado Limite de Serviço (E.L.S.) – Verificação da fadiga:

Longarinas: $F_{dser} = F_g + 0,50 \cdot \varphi \cdot F_q$

Transversinas: $F_{dser} = F_g + 0,70 \cdot \varphi \cdot F_q$

Lajes: $F_{dser} = F_g + 0,80 \cdot \varphi \cdot F_q$

4.5 CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA

4.5.1 CARREGAMENTOS NA SUPERESTRUTURA

4.5.1.1 Permanentes

a) Peso próprio

Será definido, para cada elemento estrutural, pelo programa MIDAS CIVIL, em função da geometria ($\gamma = 2,5 \text{ tf/m}^3$)

g1 = longarinas, perfil simples

g2 = laje + transversinas

g3 = defensas e guarda corpo

b) Sobrecargas

$$g_3 = \text{pavimentação} = 0,07 * 2,40 = 0,072 \text{tf/m}^2$$

$$g_3 = \text{recapeamento (NBR 7187)} = \underline{0,200 \text{tf/m}^2}$$

$$\Sigma = 0,272 \text{tf/m}^2$$

c) Retração

$A_c = 67500 \text{cm}^2$ (área da seção transversal – laje + viga) ; $u = 4260 \text{cm}$ (perímetro)

Espessura fictícia:

$$e_{\text{fict}} = 2 * \frac{A_c}{u} = 2 * \frac{67500}{4260} = 31,7 \text{cm}$$

Para umidade ambiente = 75% e $t_0 = 60 \text{dias}$

Pela tabela 8.2 da NBR 6118, teremos:

$$\varepsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0) = -0,30\text{‰}$$

$$\Delta t_{\text{eq}} = \frac{\varepsilon_{cs}}{\alpha} = \frac{-0,30\text{‰}}{10^{-5}} = -30^{\circ}\text{C}$$

4.5.1.2 Acidentais

a) Veículo: trem tipo TB450 – NBR 7188

- Trem homogeneizado: $P = 6,00 \text{tf/roda}$

$$p = 0,50 \text{tf/m}^2$$

- Coeficiente de impacto vertical:

$$CIV = 1 + 1,06 * \frac{20}{l_{\text{iv}} + 50} = 1 + 1,06 * \left[\frac{20}{28,3 + 50} \right] = 1,27$$

- Coeficiente do número de faixas:

$$CNF = 1 - 0,05 * (n - 2) = 1 - 0,05 * (2 - 2) = 1,00$$

- Coeficiente de impacto adicional:

$$CIA = 1,25$$

Obs: coeficiente a ser aplicado em seções próximas as juntas de dilatação, distância inferior a 5m.

- Para as longarinas: $\varphi = CIV = 1,27$
- Para extremidades das longarinas: $\varphi = CIV \cdot CIA = 1,59$
- Para as lajes: $\varphi = 1,35$
- Para transversinas extremas: $\varphi = CIV \cdot CIA = 1,69$

b) Frenagem e, ou aceleração:

$$H_f = 0,025 \cdot B \cdot L \cdot CNF > 13,5tf$$

B = largura total

L = comprimento total

CNF = calculado anteriormente no item "a" desta seção

$$H_f = 0,025 \cdot 12,7 \cdot 29,90 = 9,49tf$$

Será adotado $H_f = 13,50tf$

c) Temperatura:

$$\Delta t = \pm 15^\circ C ; \alpha = 10^{-5}/^\circ C$$

d) Vento (NBR 6123):

$$V_0 = 45m/s$$

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$S_1 = 1,00 ; S_2 = 0,92 ; S_3 = 1,00$$

$$V_k = 45 \cdot 1,0 \cdot 0,92 \cdot 1,0 = 41,40m/s$$

Pressão dinâmica do vento:

$$q_v = \frac{V_k^2}{16} = \frac{41,4^2}{16} = 107kgf/m^2$$

Coeficiente de força: $C_f = 2,0$

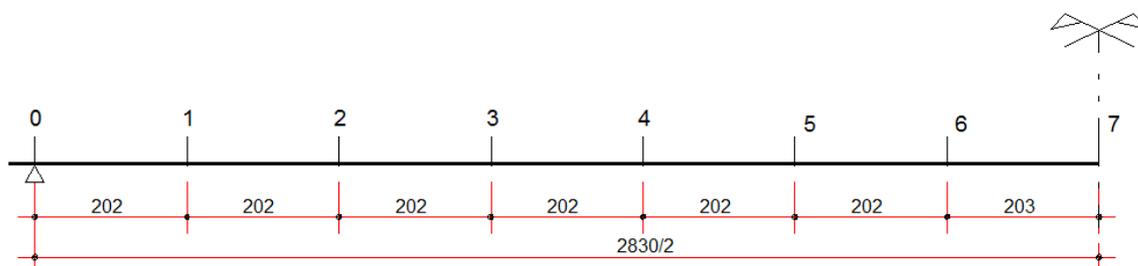
Força do vento: $F_v = C_f \cdot q_v \cdot A = 2,0 \cdot 0,107 \cdot 4 = 0,86 \text{ tf/m}$

Onde; A = área da face atingida

4.5.2 LONGARINAS

4.5.2.1 Esforços

Os esforços serão calculados com a utilização do programa MIDAS CIVIL (Ver anexo 01) e avaliados nas seções indicadas abaixo.



| MOMENTOS FLETORES | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| P. Simples - Mg1 (tfm) | 0,000 | 50,179 | 92,644 | 127,396 | 154,433 | 173,756 | 185,365 | 189,260 |
| P. Composto - Mg1 (tfm) | -0,400 | 49,400 | 92,200 | 126,900 | 153,700 | 172,500 | 183,400 | 186,700 |
| Mg2 (tfm) | -0,100 | 35,200 | 68,100 | 93,700 | 113,400 | 127,400 | 135,500 | 137,900 |
| Mg3 (tfm) | -0,300 | 26,400 | 51,500 | 71,600 | 87,100 | 98,000 | 104,400 | 106,600 |
| Mp1 (tfm) | 1,129 | 123,548 | 232,258 | 316,612 | 378,870 | 423,225 | 451,128 | 457,902 |
| Mp2 (tfm) | -2,742 | -4,435 | -6,129 | -9,032 | -11,452 | -13,064 | -13,710 | -13,710 |

| ESFORÇOS CORTANTE | | | | | | | | |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Vg1 (tf) | -26,800 | -23,000 | -19,000 | -15,100 | -11,200 | -7,300 | -3,500 | 0,000 |
| Vg2 (tf) | -18,300 | -15,600 | -12,600 | -9,700 | -6,900 | -4,000 | -1,200 | 0,000 |
| Vg3 (tf) | -14,500 | -12,300 | -9,900 | -7,600 | -5,300 | -3,100 | -1,000 | 0,000 |
| Vp1 (tf) | 49,530 | 43,053 | 37,846 | 33,274 | 28,956 | 25,019 | 21,082 | 17,272 |
| Vp2 (tf) | -50,927 | -44,577 | -38,608 | -33,274 | -28,575 | -24,257 | -21,082 | -16,891 |

4.5.2.2 Avaliação da Protensão Necessária

$$M_g = 433,76 \text{tfm} ; \varphi \cdot M_q = 457,9 \text{tfm}$$

$$M_d = 1,35 \cdot 433,76 + 1,50 \cdot 457,9 = 1272,43 \text{tfm}$$

$$z = 2,01 - 0,105 - 0,20 = 1,705 \text{m}$$

$$C = T = 1272,43 / 1,705 = 746,29 \text{tf}$$

$$A_s = 746,29 / 14,76 = 50,56 \text{cm}^2$$

Adotaremos inicialmente: 3 ϕ 16 cord. ϕ 12,7mm

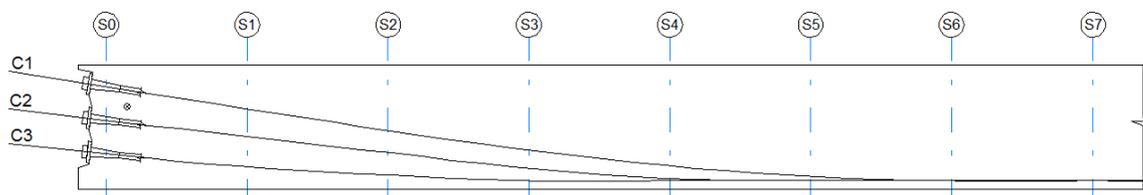
$$A_{sp} = 16,00 \text{cm}^2/\text{cabo}$$

Bainha semi-rígida galvanizada (ϕ_{inf}) = 80mm

Os cabos serão tensionados com super protensão provisória: $\sigma_{pi} = 1,05 \cdot 0,74 \cdot 19 = 14,76 \text{tf/cm}^2$

$$P_i = 14,763 \cdot 16,00 = 236,2 \text{tf}$$

ELEVAÇÃO DOS CABOS DE PROTENSÃO



4.5.2.3 Dados

| MATERIAIS | |
|---------------------------------------|----------|
| Concreto fck (Mpa) | 30 |
| Ec28 (Mpa) | 26838,41 |
| CP190 RB - fptk (tf/cm ²) | 19 |
| Ep (tf/cm ²) | 1950 |
| Asp (cm ²) | 14,000 |
| FORÇA NO MACACO (tf) | 206,682 |
| m | 0,1600 |
| k (/m) | 0,0008 |

| GEOMETRIA - PERFIL SIMPLES | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| A (m ²) | 1,1758 | 0,7562 | 0,7562 | 0,7562 | 0,7562 | 0,7562 | 0,7562 | 0,7562 |
| ys (m) | 0,8365 | 0,8018 | 0,8018 | 0,8018 | 0,8018 | 0,8018 | 0,8018 | 0,8018 |
| yi (m) | 0,9635 | 0,9982 | 0,9982 | 0,9982 | 0,9982 | 0,9982 | 0,9982 | 0,9982 |
| Ws=l/ys (m ³) | 0,413 | 0,367 | 0,367 | 0,367 | 0,367 | 0,367 | 0,367 | 0,367 |
| Wi=l/yi (m ³) | 0,359 | 0,295 | 0,295 | 0,295 | 0,295 | 0,295 | 0,295 | 0,295 |
| Mest(m ³) | 0,279 | 0,215 | 0,215 | 0,215 | 0,215 | 0,215 | 0,215 | 0,215 |
| bw (m) | 0,600 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 |
| l (m4) | 0,3455 | 0,2944 | 0,2944 | 0,2944 | 0,2944 | 0,2944 | 0,2944 | 0,2944 |

| GEOMETRIA - PERFIL COMPOSTO | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| A (m ²) | 1,6945 | 1,2754 | 1,2754 | 1,2754 | 1,2754 | 1,2754 | 1,2754 | 1,2754 |
| ys (m) | 0,7583 | 0,6426 | 0,6426 | 0,6426 | 0,6426 | 0,6426 | 0,6426 | 0,6426 |
| yi (m) | 1,2517 | 1,3674 | 1,3674 | 1,3674 | 1,3674 | 1,3674 | 1,3674 | 1,3674 |
| Ws=l/ys (m ³) | 0,879 | 0,855 | 0,855 | 0,855 | 0,855 | 0,855 | 0,855 | 0,855 |
| Wi=l/yi (m ³) | 0,532 | 0,402 | 0,402 | 0,402 | 0,402 | 0,402 | 0,402 | 0,402 |
| Mest(m ³) | 0,751 | 0,363 | 0,363 | 0,363 | 0,363 | 0,363 | 0,363 | 0,363 |
| bw (m) | 0,600 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 |
| l (m4) | 0,6665 | 0,5494 | 0,5494 | 0,5494 | 0,5494 | 0,5494 | 0,5494 | 0,5494 |

| CABO 1 | | | | | | | | |
|------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| x (m) | 0,000 | 2,020 | 4,040 | 6,060 | 8,080 | 10,100 | 12,120 | 14,150 |
| Da(gr) | 0,0000 | 0,0900 | 0,6300 | 1,7900 | 3,5900 | 6,0100 | 9,0000 | 9,0000 |
| y (m) | 1,48500 | 1,16400 | 0,85200 | 0,57000 | 0,34100 | 0,18700 | 0,13000 | 0,13000 |
| eSIMPLES (m) | -0,52150 | -0,16580 | 0,14620 | 0,42820 | 0,65720 | 0,81120 | 0,86820 | 0,86820 |
| eCOMPOSTO (m) | -0,23331 | 0,20340 | 0,51540 | 0,79740 | 1,02640 | 1,18040 | 1,23740 | 1,23740 |
| a (graus) | 9,000 | 8,910 | 8,370 | 7,210 | 5,410 | 2,990 | 0,000 | 0,000 |
| trecho curvo (m) | 12,120 | | | | | | | |

| CABO 2 | | | | | | | | |
|------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| x (m) | 0,000 | 2,020 | 4,040 | 6,060 | 8,080 | 10,100 | 12,120 | 14,150 |
| Da(gr) | 0,00000 | 0,48000 | 0,48000 | 1,72000 | 4,56000 | 7,00000 | 7,00000 | 7,00000 |
| y (m) | 1,00000 | 0,76400 | 0,53300 | 0,30200 | 0,16000 | 0,13000 | 0,13000 | 0,13000 |
| eSIMPLES (m) | -0,03650 | 0,23420 | 0,46520 | 0,69620 | 0,83820 | 0,86820 | 0,86820 | 0,86820 |
| eCOMPOSTO (m) | 0,25169 | 0,60340 | 0,83440 | 1,06540 | 1,20740 | 1,23740 | 1,23740 | 1,23740 |
| a (graus) | 7,000 | 6,520 | 6,520 | 5,280 | 2,440 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| trecho curvo (m) | 10,100 | | | | | | | |

| CABO 3 | | | | | | | | |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| x (m) | 0,000 | 2,020 | 4,040 | 6,060 | 8,080 | 10,100 | 12,120 | 14,150 |
| Da(gr) | 0,00000 | 1,68000 | 3,24000 | 6,00000 | 6,00000 | 6,00000 | 6,00000 | 6,00000 |
| y (m) | 0,51500 | 0,32700 | 0,21000 | 0,13000 | 0,13000 | 0,13000 | 0,13000 | 0,13000 |
| eSIMPLES (m) | 0,44850 | 0,67120 | 0,78820 | 0,86820 | 0,86820 | 0,86820 | 0,86820 | 0,86820 |
| eCOMPOSTO (m) | 0,73669 | 1,04040 | 1,15740 | 1,23740 | 1,23740 | 1,23740 | 1,23740 | 1,23740 |
| a (graus) | 6,000 | 4,320 | 2,760 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| trecho curvo (m) | 6,060 | | | | | | | |

4.5.2.4 Perdas Imediatas

| CABO 1 | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 |
| $\Delta\alpha(\text{rd})$ | 0,00000 | 0,00157 | 0,01100 | 0,03124 | 0,06266 | 0,10489 | 0,15708 | 0,15708 |
| Força P_0 devido perdas na ancoragem 4% (tf) | 198,415 | | | | | | | |
| Perda por atrito: $f=e^{(-\Sigma\alpha*\mu-k*x)}$ | 1,000 | 0,998 | 0,995 | 0,990 | 0,984 | 0,975 | 0,966 | 0,964 |
| Força P devido perda por atrito (tf) | 198,415 | 198,045 | 197,427 | 196,471 | 195,170 | 193,542 | 191,623 | 191,312 |
| Perda por recuo das cunhas ($x > l/2$): $\Delta P_{x,\delta}=(P_0-P_{anc})-\frac{x}{l/2}(P_0+P_c'-P_{anc}-P_c)$ (tf) | 18,947 | 16,982 | 15,017 | 13,052 | 11,086 | 9,121 | 7,156 | 5,181 |
| Perda por encurtamento: $\Delta P_x = \Delta\sigma_{p,m}*A_{sp}$ (tf) | 1,356 | 2,320 | 2,887 | 3,713 | 4,352 | 4,667 | 4,744 | 4,758 |
| Força P devido perdas imediatas (tf) | 178,112 | 178,743 | 179,523 | 179,706 | 179,731 | 179,754 | 179,723 | 181,372 |

| CABO 2 | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 |
| $\Delta\alpha(\text{rd})$ | 0,00000 | 0,00838 | 0,00838 | 0,03002 | 0,07959 | 0,12217 | 0,12217 | 0,12217 |
| Força P_0 devido perdas na ancoragem 4% (tf) | 198,415 | | | | | | | |
| Perda por atrito: $f=e^{(-\Sigma\alpha*\mu-k*x)}$ | 1,000 | 0,997 | 0,995 | 0,990 | 0,981 | 0,973 | 0,971 | 0,970 |
| Força P devido perda por atrito (tf) | 198,415 | 197,829 | 197,510 | 196,509 | 194,642 | 193,008 | 192,696 | 192,384 |
| Perda por recuo das cunhas ($x > l/2$): $\Delta P_{x,\delta}=(P_0-P_{anc})-\frac{x}{l/2}(P_0+P_c'-P_{anc}-P_c)$ (tf) | 18,324 | 16,657 | 14,990 | 13,323 | 11,656 | 9,989 | 8,322 | 6,647 |
| Perda por encurtamento: $\Delta P_x/\text{cabo}$ (tf) | 1,356 | 2,320 | 2,887 | 3,713 | 4,352 | 4,667 | 4,744 | 4,758 |
| Força P devido perdas imediatas (tf) | 178,736 | 178,852 | 179,633 | 179,473 | 178,634 | 178,352 | 179,631 | 180,979 |

| CABO 3 | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 |
| $\Delta\alpha(\text{rd})$ | 0,00000 | 0,02932 | 0,05655 | 0,10472 | 0,10472 | 0,10472 | 0,10472 | 0,10472 |
| Força P_0 devido perdas na ancoragem 4% (tf) | 198,415 | | | | | | | |
| Perda por atrito: $f=e^{(-\Sigma\alpha*\mu-k*x)}$ | 1,000 | 0,994 | 0,988 | 0,979 | 0,977 | 0,975 | 0,974 | 0,972 |
| Força P devido perda por atrito (tf) | 198,415 | 197,167 | 195,993 | 194,174 | 193,861 | 193,548 | 193,235 | 192,922 |
| Perda por recuo das cunhas ($x > l/2$): $\Delta P_{x,\delta}=(P_0-P_{anc})-\frac{x}{l/2}(P_0+P_c'-P_{anc}-P_c)$ (tf) | 18,584 | 17,069 | 15,554 | 14,039 | 12,524 | 11,009 | 9,493 | 7,971 |
| Perda por encurtamento: $\Delta P_x = \Delta\sigma_{p,m}*A_{sp}$ (tf) | 1,356 | 2,320 | 2,887 | 3,713 | 4,352 | 4,667 | 4,744 | 4,758 |
| Força P devido perdas imediatas (tf) | 178,475 | 177,778 | 177,552 | 176,422 | 176,985 | 177,872 | 178,998 | 180,192 |

4.5.2.5 Perdas Progressivas

| PERDAS PROGRESSIVAS | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| e_R (m) | 0,252 | 0,615 | 0,835 | 1,032 | 1,157 | 1,218 | 1,237 | 1,237 |
| $\epsilon_{cs}(t,t_0)$ (‰) | 0,330 | | | | | | | |
| Retração: $\Delta\sigma_{p,s}=\epsilon_{cs}(t,t_0)*E_p$ (tf/cm ²) | 0,644 | | | | | | | |
| $\varphi(t,t_0)$ | 2,500 | | | | | | | |
| σ_{cgp} (tf/m ²) | 364,125 | 658,364 | 772,659 | 903,522 | 974,366 | 984,994 | 969,085 | 966,259 |
| Fluência: $\Delta\sigma_{pc}(t,t_0)=\alpha_p*\sigma_{cgp}*\varphi(t,t_0)$ (tf/cm ²) | 0,579 | 1,046 | 1,228 | 1,436 | 1,549 | 1,566 | 1,540 | 1,536 |
| σ_{pi} (tf/cm ²) | 12,638 | 12,655 | 12,699 | 12,699 | 12,723 | 12,755 | 12,818 | 12,918 |
| σ_{pi}/f_{ptk} | 0,665 | 0,666 | 0,668 | 0,668 | 0,670 | 0,671 | 0,675 | 0,680 |
| ψ_{1000} | 2,082 | 2,093 | 2,121 | 2,121 | 2,136 | 2,156 | 2,196 | 2,259 |
| $\chi(t,t_0)$ | 0,053 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,055 | 0,055 | 0,056 | 0,058 |
| Relaxação da armadura: $\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)=\chi(t,t_0)*\sigma_{pi}$ (tf/cm ²) | 0,675 | 0,680 | 0,692 | 0,692 | 0,698 | 0,707 | 0,724 | 0,751 |
| β | 1,095 | 1,142 | 1,178 | 1,218 | 1,248 | 1,265 | 1,271 | 1,273 |
| ΔP (tf/cm ²) | 1,734 | 2,075 | 2,176 | 2,275 | 2,315 | 2,305 | 2,287 | 2,302 |
| Perda total/cabo (tf): | 72,812 | 87,143 | 91,412 | 95,556 | 97,247 | 96,822 | 96,073 | 96,696 |
| Perda total/cabo (%): | 13,718 | 16,395 | 17,138 | 17,915 | 18,199 | 18,073 | 17,846 | 17,823 |

4.5.2.6 Esforços de Protensão

| ESFORÇOS INICIAIS DE PROTENSÃO - PERFIL SIMPLES | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 |
| N_{pi} (tf) | 530,786 | 531,505 | 533,376 | 533,373 | 534,363 | 535,727 | 538,352 | 542,543 |
| M_{pi} (tfm) | -19,364 | 131,569 | 249,743 | 355,052 | 421,496 | 455,087 | 467,397 | 471,036 |
| V_{pi} (tf) | 68,301 | 61,384 | 55,079 | 39,070 | 24,550 | 9,376 | 0,000 | 0,000 |
| ESFORÇOS INICIAIS DE PROTENSÃO - PERFIL COMPOSTO | | | | | | | | |
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 |
| N_{pi} (tf) | 530,786 | 531,505 | 533,376 | 533,373 | 534,363 | 535,727 | 538,352 | 542,543 |
| M_{pi} (tfm) | 133,766 | 326,863 | 445,139 | 550,527 | 618,025 | 652,669 | 666,157 | 671,343 |
| V_{pi} (tf) | 68,301 | 61,384 | 55,079 | 39,070 | 24,550 | 9,376 | 0,000 | 0,000 |

| ESFORÇOS FINAIS DE PROTENSÃO - PERFIL SIMPLES | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 |
| Npf (tf) | 457,973 | 444,362 | 441,963 | 437,817 | 437,116 | 438,905 | 442,279 | 445,847 |
| Mpf (tfm) | -16,707 | 109,998 | 206,941 | 291,443 | 344,789 | 372,838 | 383,987 | 387,085 |
| Vpf (tf) | 58,932 | 51,320 | 45,639 | 32,070 | 20,083 | 7,682 | 0,000 | 0,000 |

| ESFORÇOS FINAIS DE PROTENSÃO - PERFIL COMPOSTO | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SEÇÃO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 |
| Npf (tf) | 457,973 | 444,362 | 441,963 | 437,817 | 437,116 | 438,905 | 442,279 | 445,847 |
| Mpf (tfm) | 115,416 | 273,272 | 368,850 | 451,898 | 505,553 | 534,712 | 547,276 | 551,692 |
| Vpf (tf) | 58,932 | 51,320 | 45,639 | 32,070 | 20,083 | 7,682 | 0,000 | 0,000 |

4.5.2.7 Tensões

| TENSÕES NORMAIS INICIAIS | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SEÇÃO | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| PERFIL SIMPLES | (g ₁ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 49,83 | 48,12 | 27,75 | 8,53 | -2,07 | -5,78 | -5,62 | -5,00 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 39,74 | 97,88 | 123,80 | 147,72 | 161,22 | 166,23 | 166,82 | 167,29 |
| | (g ₁ +g ₂ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 49,81 | 57,71 | 46,29 | 34,05 | 28,81 | 28,92 | 31,28 | 32,56 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 39,77 | 85,95 | 100,71 | 115,95 | 122,77 | 123,04 | 120,88 | 120,53 |
| PERFIL COMPOSTO | (g ₁ +g ₂ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 16,05 | 13,34 | 8,50 | 3,23 | 0,85 | 0,74 | 1,59 | 1,98 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 56,54 | 101,97 | 112,71 | 123,94 | 129,24 | 129,81 | 128,64 | 128,84 |
| | (g+prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 16,01 | 16,43 | 14,53 | 11,61 | 11,04 | 12,21 | 13,80 | 14,45 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 56,60 | 95,40 | 99,90 | 106,12 | 107,56 | 105,41 | 102,66 | 102,31 |
| | (g+p ₁ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 16,10 | 26,54 | 33,54 | 37,53 | 42,06 | 46,86 | 50,74 | 51,94 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 56,45 | 73,87 | 59,43 | 50,95 | 41,55 | 31,68 | 24,06 | 22,53 |
| | (g+p ₂ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 15,79 | 16,06 | 14,03 | 10,87 | 10,10 | 11,14 | 12,68 | 13,33 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 56,96 | 96,17 | 100,96 | 107,69 | 109,56 | 107,69 | 105,04 | 104,70 |

Limite para compressão: $0,6f_{ck} = 24,00\text{Mpa}$

Limite para tração: $0,21f_{ck}^{2/3} = -2,46\text{Mpa}$

| SEÇÃO | | TENSÕES NORMAIS FINAIS | | | | | | | | |
|-----------------|--|---|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| PERFIL SIMPLES | (g ₁ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 42,99 | 42,47 | 27,32 | 13,22 | 5,96 | 3,82 | 4,39 | 5,08 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 34,29 | 79,04 | 97,20 | 113,52 | 122,35 | 125,54 | 125,83 | 126,03 |
| | (g ₁ +g ₂ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 42,97 | 57,75 | 56,59 | 53,49 | 54,71 | 58,61 | 62,70 | 64,46 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 34,32 | 67,11 | 74,11 | 81,75 | 83,90 | 82,35 | 79,89 | 79,28 |
| PERFIL COMPOSTO | (g ₁ +g ₂ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 13,84 | 12,77 | 10,26 | 7,27 | 6,38 | 6,95 | 7,97 | 8,40 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 48,80 | 81,80 | 86,56 | 91,90 | 93,62 | 92,86 | 91,52 | 91,48 |
| | (g+prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 13,80 | 15,86 | 16,28 | 15,65 | 16,57 | 18,41 | 20,18 | 20,86 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 48,85 | 75,23 | 73,74 | 74,07 | 71,94 | 68,46 | 65,53 | 64,95 |
| | (g+p ₁ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 13,89 | 25,98 | 35,30 | 41,57 | 47,59 | 53,06 | 57,11 | 58,35 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 48,71 | 53,70 | 33,28 | 18,91 | 5,94 | -5,27 | -13,06 | -14,83 |
| | (g+p ₂ +prot) | σ _{sup} (kgf/cm ²) | 13,59 | 15,50 | 15,78 | 14,91 | 15,63 | 17,34 | 19,05 | 19,74 |
| | | σ _{inf} (kgf/cm ²) | 49,21 | 76,00 | 74,81 | 75,65 | 73,94 | 70,74 | 67,92 | 67,34 |

Limite para compressão: $0,6f_{ck} = 24,00\text{Mpa}$

Limite para tração: $0,21f_{ck}^{2/3} = -2,46\text{Mpa}$

4.5.2.8 Verificação de Ruptura

| SEÇÃO | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|--------------------------------------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| DADOS | Md (tfm) | 5,193 | 335,172 | 634,316 | 869,388 | 1046,475 | 1172,002 | 1248,147 | 1268,973 |
| | h (m) | 2,010 | 2,010 | 2,010 | 2,010 | 2,010 | 2,010 | 2,010 | 2,010 |
| | ds (m) | 1,960 | 1,960 | 1,960 | 1,960 | 1,960 | 1,960 | 1,960 | 1,960 |
| | dp (m) | 1,010 | 1,258 | 1,477 | 1,675 | 1,799 | 1,861 | 1,880 | 1,880 |
| | er (m) | 0,252 | 0,615 | 0,835 | 1,032 | 1,157 | 1,218 | 1,237 | 1,237 |
| | bf (m) | 2,470 | 2,470 | 2,470 | 2,470 | 2,470 | 2,470 | 2,470 | 2,470 |
| | hf (m) | 0,210 | 0,210 | 0,210 | 0,210 | 0,210 | 0,210 | 0,210 | 0,210 |
| | fcd (tf/cm ²) | 0,214 | 0,214 | 0,214 | 0,214 | 0,214 | 0,214 | 0,214 | 0,214 |
| | σ _{pd} (tf/m ²) | 16,522 | 16,522 | 16,522 | 16,522 | 16,522 | 16,522 | 16,522 | 16,522 |
| | σ _{sd} (tf/m ²) | 4,348 | 4,348 | 4,348 | 4,348 | 4,348 | 4,348 | 4,348 | 4,348 |
| | Asp (cm ²) | 42,000 | 42,000 | 42,000 | 42,000 | 42,000 | 42,000 | 42,000 | 42,000 |
| | Para As (cm ²) | 12,560 | 12,560 | 12,560 | 12,560 | 12,560 | 12,560 | 18,840 | 18,840 |
| | VERIFICAÇÃO | Rpd (tf) | 624,522 | 624,522 | 624,522 | 624,522 | 624,522 | 624,522 | 624,522 |
| Rcd (tf) | | 679,130 | 679,130 | 679,130 | 679,130 | 679,130 | 679,130 | 706,435 | 706,435 |
| x (cm) | | 18,869 | 18,869 | 18,869 | 18,869 | 18,869 | 18,869 | 19,628 | 19,628 |
| Verificação | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| Rsd (tf) | | 54,609 | 54,609 | 54,609 | 54,609 | 54,609 | 54,609 | 81,913 | 81,913 |
| M _{Rd} (tfm) | | 686,745 | 841,158 | 978,299 | 1101,699 | 1179,391 | 1217,938 | 1279,187 | 1279,187 |
| Verificação | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

4.5.2.9 Verificação E.L.U. para esforços cortantes

$$V_{sd} = 1,35 \cdot V_g + 1,50 \cdot V_q - 1,0 V_p$$

$$V_{sw} = V_{sd} - V_c$$

$$V_c = V_{c0} \cdot \beta ; \beta = (1 + M_0 / M_{sd \max}) \leq 2$$

$$V_{c0} = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sw}}{0,9 \cdot f_{ywd} \cdot d}$$

Considerando o trecho compreendido entre as seções 0-1 e estendendo para todos os trechos:

$$V_{sd} = (97,92 + 84,26) \cdot 0,5 = 91,09 \text{ tf}$$

$$\beta = 1 \therefore V_c = 40,67 \text{ tf}$$

$$V_{sw} = 91,09 - 40,67 = 50,42 \text{ tf}$$

$$A_{sw} = 6,60 \text{ cm}^2/\text{m}$$

4.5.2.10 Verificação da deformação

$$\Sigma M = 433,76 + 0,5 \cdot 457,9 - 551,692 = 111,02 \text{ tfm}$$

$$f_0 = \frac{M \cdot l^2}{9,6 \cdot EI} = \frac{111,02 \cdot 28,3^2}{9,6 \cdot 1474770,63} = 0,00628 \text{ m}$$

$$f_\infty = f_0(1 + \varphi) = 0,00628 \cdot (1 + 2,5) = 0,022 \text{ m}$$

$$\frac{l}{f_\infty} = \frac{28,3}{0,022} = 1286,36 \rightarrow \text{OK}$$

4.5.2.11 Armadura na zona de regularização de tensões

Tensão de compressão exercida pela força de protensão na ancoragem:

$$\sigma_c = \frac{206,682}{0,285 \cdot 0,285} = 2544,56 \text{ tf/m}^2$$

$$\sigma_c \leq 0,85 \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_c / A_0}$$

$$A_0 = 0,285 * 0,285 = 0,081 \text{m}^2$$

$$A_c = 0,60 * 0,46 = 0,276 \text{m}^2$$

Logo:

$$0,85 * f_{cd} * \sqrt{A_c/A_0} = 1,569 f_{cd}$$

Para:

$$\sigma_c = 1,569 f_{cd} \rightarrow f_{cd} = \frac{2544,56}{1,569} = 1621,77 \text{tf/m}^2$$

$$f_{cd} = \frac{f_{cj}}{1,4} \therefore f_{cj} \geq 1621,77 * 1,4 = 2270,48 \text{tf/m}^2$$

$$\text{Como } f_{ck} = 3000 \text{tf/m}^2 \rightarrow \frac{f_{cj}}{f_{ck}} = 0,757 \rightarrow j \approx 10 \text{dias}$$

Armaduras para evitar fendilhamento:

a) Na direção vertical:

$$A_{s_v} = 1,1 * 0,3 * 206,682 * \left(1 - \frac{28,5}{46}\right) * \frac{1}{4,35} = 5,97 \text{cm}^2$$

$$A_{s_v} = \frac{5,97}{0,70} = 8,52 \text{cm}^2/\text{m}$$

b) Na direção horizontal:

$$A_{s_H} = 1,1 * 0,3 * 206,682 * \left(1 - \frac{28,5}{60}\right) * \frac{1}{4,35} = 8,23 \text{cm}^2$$

c) Armadura superficial, na face junto às ancoragens:

$$A_s = \frac{1,5\% * \gamma_f * P}{f_{yd}} = \frac{0,015 * 1,1 * 206,682}{4,35} = 0,784 \text{cm}^2$$

4.5.2.12 Ligação longarinas – laje

$$Hd = Vd * \frac{M_{est,laje}}{I}$$

$$Vd_{m\acute{a}x} = 1,35*59,6+1,50*44,577 = 147,33tf$$

$$M_{est,laje} = 0,20*2,47*0,543 = 0,268m^3$$

$$I = 0,5494m^4$$

$$Hd = 147,33 * \frac{0,268}{0,5494} = 71,87tf/m$$

$$A_{sw} = 10,47cm^2/m$$

$$A_{sf} = \frac{Hd}{f_{yd}} - A_{sw} = \frac{71,87}{4,35} - 10,47 = 6,05cm^2/m$$

Será adotado 4 conectores $\phi 10$ c/15cm.

4.5.3 TRANSVERSINAS DE APOIO

Os esforços serão calculados com a utilização do programa MIDAS CIVIL (ver anexo 02).

4.5.3.1 Esforços e dimensionamento

$$B_w = 30cm ; d = 174cm$$

$$f_{ctm} = 2,90Mpa$$

$$A_{smín} = b_w * h * 0,15\% = 8,1cm^2 ; A_{swmín} = 1,2*10^{-4} * f_{ck}^{2/3} * b_w * 100 = 3,48cm^2/m$$

a) Flexão:

| ESFORÇOS CARACTERÍSTICOS | | | Coef. Impacto | ELS | | ELU | |
|--------------------------|-----------|-----------|---------------|------------|------------|--------------|--------------|
| Mg (tfm) | Mq+ (tfm) | Mq- (tfm) | | Mmáx (tfm) | Mmín (tfm) | Mdmáx (tf.m) | Mdmín (tf.m) |
| -11,20 | 44,40 | -38,60 | 1,690 | 41,15 | -56,86 | 97,43 | -112,97 |
| -9,90 | 54,70 | -41,40 | 1,690 | 54,81 | -58,88 | 125,30 | -118,31 |

| ARMADURA INFERIOR | | | | | | |
|------------------------|--------|----------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|----------|
| DIMENSIONAMENTO | | | VERIFICAÇÃO DA FISSURAÇÃO | | | |
| As+ (cm ²) | Fadiga | As+*fad (cm ²) | x (cm) | leq (cm ⁴) | ssi (kgf.cm ²) | Wk1 (mm) |
| 16,80 | 1,346 | 22,61 | 38,68 | 7578688,14 | 972,81 | 0,03 |

| ARMADURA SUPERIOR | | | | | | |
|------------------------|--------|----------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|----------|
| DIMENSIONAMENTO | | | VERIFICAÇÃO DA FISSURAÇÃO | | | |
| As- (cm ²) | Fadiga | As-*fad (cm ²) | x (cm) | leq (cm ⁴) | ssi (kgf.cm ²) | Wk1 (mm) |
| 16,22 | 1,382 | 22,42 | 52,24 | 14819363,23 | 1561,38 | 0,09 |

b) Cisalhamento:

| ESFORÇOS CARACTERÍSTICOS | | | Coef. Impacto | ELS | | ELU | | DIMENSIONAMENTO | | | |
|--------------------------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|------------|------------|--|---|--------|------------------------------|
| Vg (tf) | Vq+ (tf) | Vq- (tf) | | Vmáx (tf) | Vmín (tf) | Vdmáx (tf) | Vdmín (tf) | t _{wd} (kgf/cm ²) | Asw _{mín} (cm ² /m) | Fadiga | Asw*fad (cm ² /m) |
| 3,80 | 13,50 | -6,90 | 1,690 | 15,21 | -2,03 | 39,35 | -12,36 | 7,539 | 3,48 | - | - |

c) Verificação da transversina para a substituição dos neoprenes:

Reação das longarinas: $R_q = 64,07tf$

$R_p = 50,93tf$

Carga aplicada a considerar: $P = 1,20 \cdot (64,07 + 50,93) = 138 \text{tf}$

Reação máxima = 99,90tf

Cortante máximo = 98,54tf

De acordo com os critérios de dimensionamento de vigas-parede recomendados por F. Leonhardt temos:

$$Z_i = \frac{1,4 \cdot 24}{0,45 \cdot 1,0} = 74,67 \text{tf} \therefore A_s = \frac{74,67}{3,5} = 21,33 \text{cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

$$Z_s = \frac{1,4 \cdot 7,99}{0,45 \cdot 1,0} = 24,86 \text{tf} \therefore A_s = \frac{24,86}{3,5} = 7,10 \text{cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

4.5.4 LAJES

4.5.4.1 Esforços e dimensionamento

Os esforços foram obtidos com a utilização do programa MIDAS CIVIL (ver anexo 03).

Fadiga calculada por flutuação de tensões.

| BALANÇOS | ESFORÇOS | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|-----------|-----------|---------|--------|--------------|------------|------------------|------------|--------------|--------------|
| | VALORES CARACTERÍSTICOS | | | IMPACTO | d (cm) | ELS (fadiga) | | ELS (fissuração) | | ELU | |
| | Mg (tfm) | Mq+ (tfm) | Mq- (tfm) | | | Mmáx (tfm) | Mmín (tfm) | Mmáx (tfm) | Mmín (tfm) | Mdmáx (tf.m) | Mdmín (tf.m) |
| SENTIDO Y CENTRO | -1,00 | 0,50 | -3,10 | 1,35 | 16,5 | -0,46 | -4,35 | -0,66 | -3,09 | -0,34 | -7,63 |
| SENTIDO Y EXTREMOS | -1,30 | 0,50 | -4,40 | 1,35 | 16,5 | -0,76 | -6,05 | -0,96 | -4,27 | -0,74 | -10,67 |
| SENTIDO X | -0,70 | 1,20 | -2,20 | 1,35 | 10,0 | 0,60 | -3,08 | 0,11 | -2,19 | 1,49 | -5,40 |

| BALANÇOS | DIMENSIONAMENTO | | | | | | VERIFICAÇÃO DA FISSURAÇÃO | | |
|--------------------|-------------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|--|----------------------------|----------------------|
| | As (cm ² /m) | | fad+ | As+*fad+ (cm ² /m) | fad- | As-*fad- (cm ² /m) | x _{ret} (cm) p/ As _{máx} | ssi (kgf.cm ²) | Wk ₁ (mm) |
| | As+ | As- | | | | | | | |
| SENTIDO Y CENTRO | 3,00 | 11,62 | - | - | 1,332 | 15,48 | 6,734 | 1401,67 | 0,04 |
| SENTIDO Y EXTREMOS | 3,00 | 16,98 | - | 3,00 | 1,484 | 25,20 | 8,011 | 1225,05 | 0,03 |
| SENTIDO X | 3,56 | 14,69 | 1,000 | 3,56 | 1,000 | 14,69 | 2,778 | 1639,19 | 0,06 |

| VÃOS CENTRAIS | | | ESFORÇOS | | | | | | | | | | |
|---------------|---|--------|-------------------------|-----------|-----------|----------|--------|--------------|------------|------------------|--------------|------|-------|
| | | | VALORES CARACTERÍSTICOS | | | IMPACT O | d (cm) | ELS (fadiga) | | ELS (fissuração) | | ELU | |
| | | | Mg (tfm) | Mq+ (tfm) | Mq- (tfm) | | | Mmáx (tfm) | Mmín (tfm) | Mdmáx (tf.m) | Mdmín (tf.m) | | |
| SENTIDO | Y | APOIOS | -1,00 | 1,00 | -2,60 | 1,350 | 17,50 | 0,08 | -3,81 | -0,33 | -2,76 | 0,68 | -6,62 |
| | | CENTRO | -0,20 | 3,20 | -1,30 | 1,350 | 18,50 | 3,26 | -1,60 | 1,96 | -1,08 | 6,75 | -2,90 |
| SENTIDO | X | APOIOS | -0,30 | 1,70 | -1,30 | 1,350 | 12,00 | 1,54 | -1,70 | 0,85 | -1,18 | 3,04 | -3,04 |
| | | CENTRO | -0,40 | 1,60 | -1,50 | 1,350 | 12,00 | 1,33 | -2,02 | 0,68 | -1,41 | 3,24 | -3,58 |

| VÃOS CENTRAIS | | | DIMENSIONAMENTO | | | | | | VERIF. DA FISSURAÇÃO | | |
|---------------|---|--------|-----------------|------|-------|----------------|-------|----------------|----------------------|---------------|----------|
| | | | As (cm²) | | fad+ | As+*fad+ (cm²) | fad- | As-*fad- (cm²) | xret (cm) p/ Asmáx | ssi (kgf.cm²) | Wk1 (mm) |
| | | | As+ | As- | | | | | | | |
| SENTIDO | Y | APOIOS | 3,00 | 9,01 | 1,000 | 3,00 | 1,592 | 14,35 | 6,791 | 1259,66 | 0,03 |
| | | CENTRO | 8,15 | 3,65 | 1,557 | 12,69 | 1,840 | 6,72 | 6,701 | 949,77 | 0,02 |
| SENTIDO | X | APOIOS | 6,20 | 6,20 | 1,503 | 9,32 | 1,637 | 10,15 | 4,711 | 1112,56 | 0,02 |
| | | CENTRO | 5,48 | 7,41 | 1,000 | 5,48 | 1,000 | 7,41 | 3,695 | 1770,72 | 0,06 |

Pré-laje (h = 7cm):

$$\text{Peso próprio; } 0,07 \cdot 2,50 = 0,175 \text{tf/m}^2$$

$$\text{Laje: } 0,14 \cdot 2,50 = 0,350 \text{tf/m}^2$$

$$\text{Sobrecarga: } = 0,500 \text{tf/m}^2$$

$$g+q = 1,025 \text{tf/m}^2$$

$$X = 1,15^2 \cdot 1,025 \cdot 0,50 = 0,68 \text{tfm/m}$$

$$p/d=5,5 \text{cm} \rightarrow As = 4,45 \text{cm}^2/\text{m}$$

Verificação de levantamento:

$$\frac{\Delta X}{l} = 0,75^2 \cdot 1,025 \cdot \frac{0,5}{2,8} = 0,10$$

$$R = 0,175 \cdot 1,40 = 0,245 \text{tfm}$$

$$\text{Coef. de segurança} = \frac{R}{\left(\frac{\Delta X}{l}\right)} = \frac{0,245}{0,10} = 2,45 \rightarrow \text{OK}$$

Defensas:

$$M = \frac{P * h}{(0,50 + 2 * h)} = \frac{10 * 0,87}{2,24} = 3,88 \text{tfm/m}$$

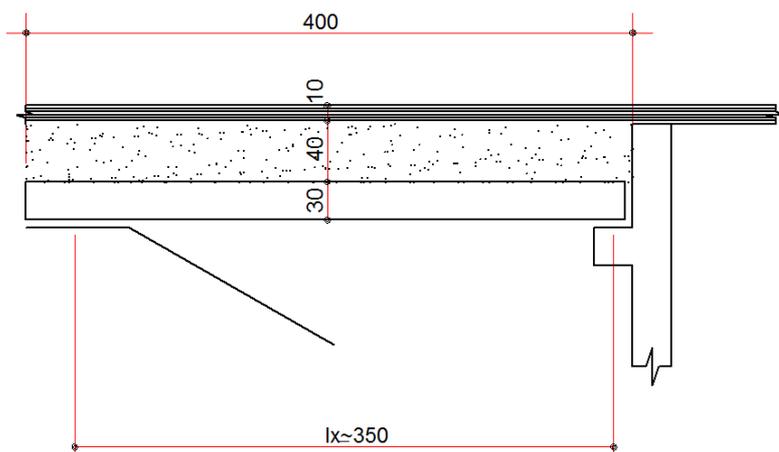
Lateral: $d = 28\text{cm} \rightarrow A_s = 4,60\text{cm}^2/\text{m}$ ($1\phi 10$ c/15 – adotado)

Guarda-corpo:

$$M = 0,20 \times 1,0 + 0,15 \times 2,5 \times 1,0^2 / 2 = 0,39 \text{tfm/m} \rightarrow M_d = 0,547 \text{tfm/m}$$

$d = 12\text{cm} \rightarrow A_s = 1,16\text{cm}^2/\text{m}$ ($1\phi 8$ c/15 – adotado)

4.5.5 LAJE DE TRANSIÇÃO



Carga permanente: $pp = 0,30 * 2,50 = 0,750 \text{tf/m}^2$

Lastró = $0,40 * 1,80 = 0,720 \text{tf/m}^2$

Pavimento = $0,10 * 2,40 = 0,240 \text{tf/m}^2$

Carga móvel: $P = 7,50 \text{tf/roda}$

$p = 0,50 \text{tf/m}^2$

Impacto: CIV = 1,35

Rüsch tab.1: $l_y/l_x = \infty$

$t = 32 + 2 * 50 + 30 = 162\text{cm}$; $a = 200\text{cm}$

$$l_x/a = 1,75 ; t/a = 0,81$$

$$M_{gx} = 0,125 * 1,62 * 3,50^2 = 2,48 \text{tfm/m}$$

$$M_{gy} = 0,0208 * 1,62 * 3,50^2 = 0,41 \text{tfm/m}$$

$$M_{px} = (7,50 * 0,325 + 0,50 * 0,75) * 1,35 = 3,80 \text{tfm/m}$$

$$M_{py} = (7,50 * 0,152 + 0,50 * 0,14) * 1,35 = 1,63 \text{tfm/m}$$

Sentido x:

$$M_{d\text{m}\acute{a}\text{x}} = 1,35 * 2,48 + 1,50 * 3,80 = 9,05 \text{tfm/m}$$

$$\rho / f_{ck} = 25 \text{Mpa} \rightarrow A_{sx} = 8,45 \text{cm}^2/\text{m} (\phi 12,5 \text{ c}/14 \text{cm})$$

Sentido y:

$$M_{d\text{m}\acute{a}\text{x}} = 1,35 * 0,41 + 1,50 * 1,63 = 3,00 \text{tfm/m}$$

$$A_{sy} = 2,83 \text{cm}^2/\text{m} (\phi 10 \text{ c}/20 \text{cm})$$

Consolo do apoio:

$$V_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = (1,71 + 1,35 * 45/3 * 6) * 1,75 = 8,90 \text{tf/m}$$

$$Z = \frac{8,90 * 0,25}{0,8 * 0,26} = 10,34 \text{tf}$$

$$A_s = \frac{1,4 * 10,34}{4,35} = 3,33 \text{cm}^2/\text{m} (\phi 8 \text{ c}/15)$$

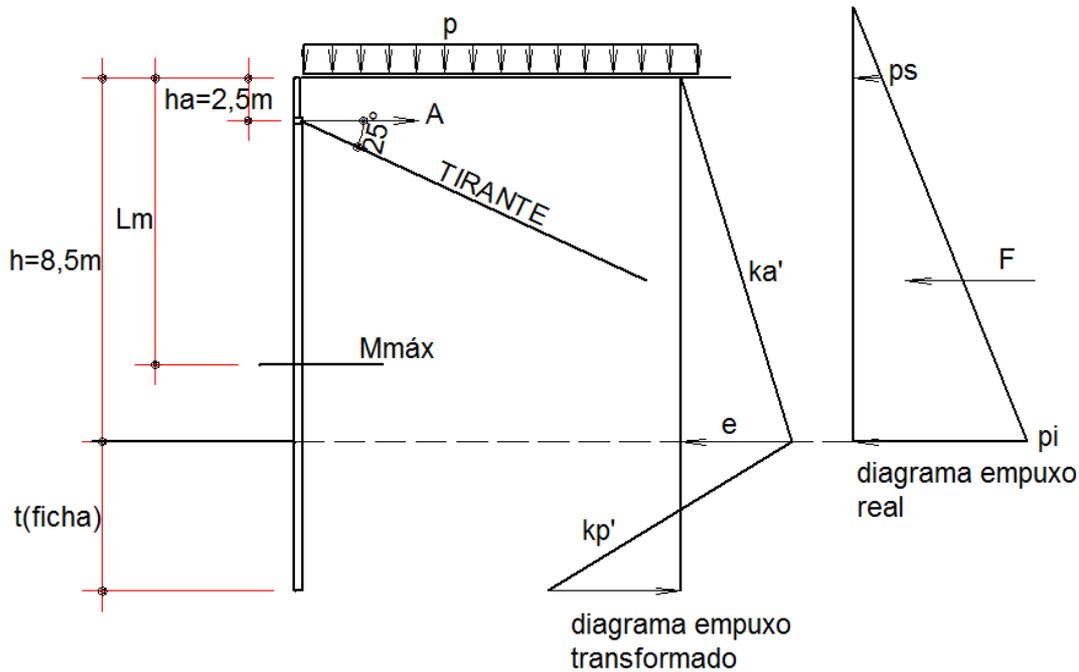
4.6 CÁLCULO DA MESO E INFRAESTRUTURA

4.6.1 CONTENÇÕES

4.6.1.1 Apoios do Tabuleiro

a) Esforços nos tirantes:

Serão determinados com a utilização dos diagramas de G. König-Aachen. A contenção será definida por uma cortina de estacas com espaçamentos de 1m, tendo em seu topo uma viga de coroamento atirantada.



Parâmetros adotados para o solo:

$$\varphi = 25^\circ ; \delta = 2/3\varphi ; \gamma = 1,80\text{tf/m}^3 ; c=0$$

Para terrapleno horizontal temos:

$$k_a = 0,37 \therefore k_a \cdot \gamma = 0,67\text{tf/m}^3$$

$$k_p = 3,00 \therefore k_p \cdot \gamma = 5,40\text{tf/m}^3$$

$$p = 45,00/6 \cdot 3 = 2,50\text{tf/m}^2 \therefore h_0 = p/\gamma = 1,39\text{m}$$

$$p_s = 0,67 \cdot 1,39 = 0,93\text{tf/m}^2$$

$$p_i = 0,67 \cdot 8,50 = 5,70\text{tf/m}^2$$

$$F = (p_s + p_i) \cdot 0,5 \cdot h = (0,93 + 5,70) \cdot 0,5 \cdot 8,5 = 28,18\text{tf}$$

$$e = 2F/h \therefore k_a' = e/h$$

$$e = 2 \cdot 28,18/8,5 = 6,63\text{tf/m}^2 \therefore k_a' = 0,78$$

$$k_p' = k_p \cdot \gamma \cdot b = 5,40 \cdot 1,0 = 5,40\text{tf/m}^2$$

com $h_a/h = 2,5/8,5 = 0,294$ e $k_p'/k_a' = 6,9 \rightarrow f, m, h_m, a$

ficha: $t=f \cdot h$

momento máximo : $M_{\text{máx}} = m \cdot ka' (0,1h)^3$

posição momento máximo : $L_m = hm \cdot h$

força na ancoragem: $A = a \cdot ka' (0,1 \cdot h)^2$

$f = 0,75 \therefore t = 6,3\text{m}$

$m = 65 \therefore M_{\text{máx}} = 31,14\text{tfm/m}$

$hm = 0,8 \therefore L_m = 6,0\text{m}$

$a = 32 \therefore A = 18,00\text{tf/m}$

$(A+H/3,08)\cos\alpha = 21,40\text{tf/m}$; $A \cdot \text{tg}\alpha = 8,39\text{tf/m}$

Definição dos tirantes:

Será utilizada a fórmula proposta por Bustamante, para tirantes re-injetáveis:

$T = \pi \cdot D_s \cdot L_b \cdot q_s$, com:

T = capacidade de carga do bulbo

L_b = comprimento do bulbo

q_s = aderência na ruptura

$D_s = \alpha \cdot D$, sendo D o diâmetro da perfuração.

Considerando as sondagens podemos considerar:

$\alpha = 1,40 \therefore D_s = 1,40 \cdot 10 = 14\text{cm}$

$q_s = 2,20\text{kgf/cm}^2$

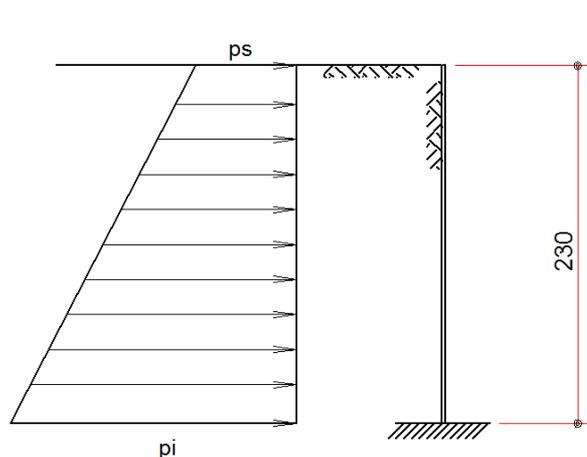
$T = 1,75 \cdot 21,40 \cdot 1,75 = 65,54\text{tf}$

$L_b = 65540 / \pi \cdot 14 \cdot 2,20 = 566,5\text{cm} \cong 700\text{cm}$

Comprimento livre dos tirantes:

$L = 11,00 / \text{sen}25^\circ \cong 26\text{m}$

b) Cortinas dos acessos:



Solo: $\gamma = 1,80 \text{tf/m}^3$; $\varphi = 30^\circ$;

$k_a = 0,333$

$h_0 = 2,50/1,80 = 1,39 \text{m}$

$p_s = 1,39 * 0,333 * 1,80 = 0,83 \text{tf/m}^2$

$p_i = (2,30 + 1,39) * 0,333 * 1,80 = 2,21 \text{tf/m}^2$

Reação da laje de transição = $8,68 \text{tf/m}$

$M = 0,83 * 2,30^2 * 0,5 + (2,21 - 0,83) * 2,30^2 / 6 = 3,41 \text{tfm/m}$

$p / d = 26,5 \text{cm}$; $f_{ck} = 25 \text{Mpa}$ $\rightarrow A_s = 4,25 \text{cm}^2/\text{m}$ ($\phi 8 \text{c}/10$)

Armadura superior:

Será adotado: $A_s = 0,15\% * 30 * 230 = 10,35 \text{cm}^2$ ($4\phi 20$)

c) Vigas de coroamento:

- Carregamento horizontal:

$q_{\text{máx}} = 65,54 / 1,75 = 37,45 \text{tf/m}$

$M_{\text{máx}} = 37,45 * 1,75^2 / 9,3 = 12,33 \text{tfm}$

$(100 * 145) \text{cm}^2 \rightarrow A_{s\text{mín}} = 21,75 \text{cm}^2$ ($7\phi 20$)

Fretagem: $Z = 0,30 * 65,54 * (1 - 20/32) = 7,37 \text{tf}$

$A_s = 1,4 * 7,37 / 4,35 = 2,37 \text{cm}^2$

- Carregamento vertical:

Devido ao espaçamento de 1m entre as estacas teremos para as vigas de coroamento

Armadura mínima: $A_{s\text{mín}} = 0,15\% * 100 * 145 = 21,75 \text{cm}^2$

Fretagem: $R_{\text{máx}} = 164,30\text{tf}$

$$Z = 0,30 \cdot 164,30(1 - 40/86) = 26,36\text{tf}$$

$$A_s = 1,4 \cdot 26,36/4,35 = 8,48\text{cm}^2$$

- Cisalhamento:

$$A_{s\text{mín}} = 0,10 \cdot 100 = 10,00\text{cm}^2/\text{m} (\phi 8 \text{ c}/15 - \text{duplo, adotado})$$

4.6.1.2 Nas Laterais

4.6.1.2.1 Tirante T03:

$$h = 7,00\text{m} ; h_A = 1,25\text{m}$$

$$k_a \cdot \gamma = 0,67\text{tf}/\text{m}^3$$

$$k_p' = k_p \cdot \gamma \cdot b = 5,40 \cdot 1,0/1,5 = 3,60\text{tf}/\text{m}^3$$

$$k_p'/k_a \cdot \gamma = 3,60/0,67 = 5,40 ; h_A/h = 1,25/7,0 = 0,18$$

$$f = 0,95 \therefore t = 7,0\text{m}$$

$$m = 85 \therefore M_{\text{máx}} = 19,53\text{tfm}/\text{m}$$

$$h_M = 0,76 \therefore L_M = 5,32\text{m}$$

$$a = 31 \therefore A = 9,85\text{tf}/\text{m}$$

$$T = 1,75 \cdot 2,50 \cdot 9,85/\cos 25^\circ = 47,55\text{tf}$$

$$L_b = 47550/\pi \cdot 14 \cdot 2,20 = 491\text{cm} \cong 400\text{cm}$$

$$\text{Comprimento livre do tirante} = L = 11,0/\sin 25^\circ \cong 26\text{m}$$

4.6.1.2.2 Tirante T02:

$$h = 5,50\text{m} ; h_A = 1,25\text{m}$$

$$k_a \cdot \gamma = 0,67\text{tf}/\text{m}^3 ; k_p' = 2,70\text{tf}/\text{m}^3$$

$$k_p'/k_a \cdot \gamma = 4,03 ; h_A/h = 1,25/5,5 = 0,23$$

$$f = 1,10 \therefore t = 6,0\text{m}$$

$$m = 100 \therefore M_{\text{máx}} = 11,15\text{tfm}/\text{m}$$

$$h_M = 0,80 \therefore L_M = 4,40\text{m}$$

$$a = 35 \therefore A = 7,10\text{tf/m}$$

$$T = 1,75 \cdot 2,50 \cdot 7,10 / \cos 25^\circ = 34,27\text{tf}$$

$$L_b = 34270 / \pi \cdot 14 \cdot 2,20 = 354\text{cm}$$

$$\text{Comprimento livre do tirante} = L = 9,50 / \sin 25^\circ \cong 22,5\text{m}$$

4.6.1.2.3 Tirante T01:

$$h = 4,00\text{m} ; h_A = 1,25\text{m}$$

$$k_a \cdot \gamma = 0,67\text{tf/m}^3 ; k_p' = 2,70\text{tf/m}^3$$

$$k_p' / k_a \cdot \gamma = 4,03 ; h_A / h = 0,31$$

$$f = 1,15 \therefore t = 4,60\text{m}$$

$$m = 85 \therefore M_{\text{máx}} = 3,64\text{tfm/m}$$

$$h_M = 0,87 \therefore L_M = 3,48\text{m}$$

$$a = 36 \therefore A = 3,86\text{tf/m}$$

$$T = 1,75 \cdot 1,90 \cdot 3,86 / \cos 25^\circ = 14,16\text{tf}$$

$$L_b = 14160 / \pi \cdot 14 \cdot 2,20 = 146\text{cm}$$

$$\text{Comprimento livre do tirante} = L = 8,0 / \sin 25^\circ \cong 19\text{m}$$

4.6.1.2.4 Estacas extremas:

$$h = 2,50\text{m} ; k_a \cdot \gamma = 0,67\text{tf/m}^3 ; k_p' = 2,70\text{tf/m}^3$$

$$k_p' / k_a \cdot \gamma = 4,0$$

$$m = 530 \therefore M_{\text{máx}} = 5,55\text{tfm/m}$$

$$h_M = 1,80 \therefore L_M = 4,50\text{m}$$

$$f = 1,65 \therefore t = 4,10\text{m}$$

4.6.1.2.5 Vigas de coroamento:

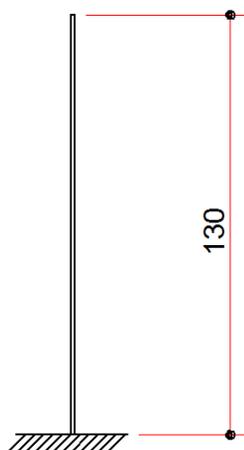
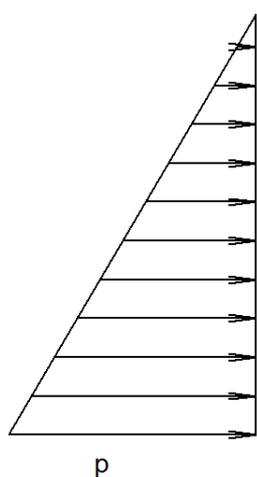
Carga máxima por tirante = $9,85 \cdot 2,50 \cdot 1,75 = 43,09 \text{tf}$

$l \approx 3,00 \text{m} \rightarrow q = 43,09/3,00 = 14,36 \text{tfm}$

$M_{\text{máx}} = 3,0^2 \cdot 14,36/12 = 10,77 \text{tfm}$

$(70 \times 74) \rightarrow A_{\text{smín}} = 7,77 \text{cm}^2 (4\phi 16)$

4.6.1.2.6 Cortina superior da viga de coroamento:



$$p = 0,333 \cdot 1,80 \cdot 1,30 = 0,78 \text{tf/m}^2$$

$$X = 0,78 \cdot 1,30^2/6 = 0,22 \text{tfm/m}$$

$$H = 14 \text{cm} \rightarrow A_{\text{smín}} = 2,10 \text{cm}^2/\text{m}$$

4.6.1.2.7 Painéis de fechamento:

- Sob o tabuleiro:

$$\text{Para } p_{\text{máx}} = 0,333 \cdot 1,80 \cdot (7,8 + 2,50/1,80) = 5,51 \text{tf/m}^2$$

$$M = 1,0^2 \cdot 5,51/12 = 0,46 \text{tfm/m}$$

$$h = 13 \text{cm} \rightarrow A_{\text{smín}} = 1,95 \text{cm}^2/\text{m} (\phi 6,3 \text{c}/15)$$

- Nos taludes:

$$p_{\text{máx}} = 0,333 \cdot 1,80 \cdot 3,00 = 1,80 \text{tfm/m}$$

$$M = 2,0^2 \cdot 1,80/12 = 0,60 \text{tfm/m}$$

$$A_s = 2,10 \text{cm}^2/\text{m} (\phi 6,3 \text{c}/15)$$

4.6.2 NEOPRENE

$$V_{\max} = 148,50\text{tf}$$

$$V_{\min} = 65,50\text{tf}$$

$$H_L = 8,80\text{tf}$$

$$H_T = 5,80\text{tf}$$

$$\delta_{g+q} = 1,10\text{cm}$$

Dimensões: (40x50x8,9)cm³

a) Tensões:

$$\sigma_{\max} = \frac{148500}{40 * 50} = 74,25\text{kgf/cm}^2 \rightarrow OK$$

$$\sigma_{\min} = \frac{65500}{40 * 50} = 32,75\text{kgf/cm}^2 \rightarrow OK$$

b) Deslocamento:

$$\text{tg}\alpha = \frac{1,10}{6,5} = 0,17 \rightarrow OK$$

c) Deslizamento:

$$H \leq 0,70 * 10 * 39,2 * 49,2 = 13,50\text{tf} \rightarrow OK$$

d) Chapas de aço:

$$k_f = \frac{(40 - 0,8) * (50 - 0,8)}{2 * 1,2 * (40 + 50 - 1,6)} = 9,1$$

$$t_s \geq \frac{39,2 * 74,25}{9,1 * 1500} = 0,21\text{cm} \rightarrow OK$$

4.6.3 ESTACAS

4.6.3.1 Sob o tabuleiro

$$V_{\text{máx/est}} = 164,3/3 + 6,88 + 2,16 * 2,50 + 8,90 \approx 76,00\text{tf}$$

$$V_{\text{mín/est}} = 87,9/3 + 6,88 + 2,16 * 2,50 \approx 41,58\text{tf}$$

$$M = 20,12\text{tfm}$$

$$V_d = 1,40 * 76,00 = 106,40\text{tfm}$$

$$M_d = 1,40 * 20,12 = 28,17\text{tfm}$$

$$\rho / f_{ck} = 25\text{Mpa} ; \phi = 60\text{cm}$$

$$A_s = 14,84\text{cm}^2$$

$$V_d = 1,40 * 41,58 = 58,21\text{tf}$$

$$M_d = 28,17\text{tfm}$$

$$A_s = 21,71\text{cm}^2$$

Verificações geotécnicas: Método de Décourt e Quaresma

$$k = 20\text{tf/m}^2 ; \alpha = 0,30 ; \beta = 1,0$$

$$l = 6\text{m (definido no cálculo dos tirantes)} ; N = 36$$

$$A_s = 1,885\text{m}^2/\text{m} ; A_p = 0,283\text{m}^2$$

$$Q_u = \alpha * q_p * A_p + \beta * q_s * A_s$$

$$Q_u = 0,30 * 20 * 40 * 0,283 + 1,0 * 50,33 * 1,885 = 162,79\text{tf}$$

$$Q_{adm} = 162,79/2 = 81,4\text{tf} > 76\text{tf} \rightarrow \text{OK}$$

4.6.3.2 Nos Taludes

- Junto ao T03:

$$N_d = 1,4 * (1,5 * 9,85 * \text{tg}25^\circ + 3,70) = 9,65\text{tf}$$

$$M_d = 1,4 * 1,5 * 19,53 = 41,01\text{tfm}$$

$$A_s = 48,62\text{cm}^2$$

- Junto ao T02:

$$N_d = 1,4 \cdot (2,0 \cdot 4,90 \cdot \text{tg}25^\circ + 3,10) = 9,27\text{tf}$$

$$M_d = 1,4 \cdot 2,0 \cdot 5,19 = 31,22\text{tfm}$$

$$A_{S_{\min}} = 33,76\text{cm}^2$$

- Junto ao T01:

$$N_d = 1,4 \cdot (2,0 \cdot 2,61 \cdot \text{tg}25^\circ + 2,0) = 5,04\text{tf}$$

$$M_d = 1,4 \cdot 2,0 \cdot 1,14 = 10,19\text{tfm}$$

$$A_{S_{\min}} = 11,31\text{cm}^2$$

5 ANEXOS

5.1 ANEXO 1 – LONGARINAS

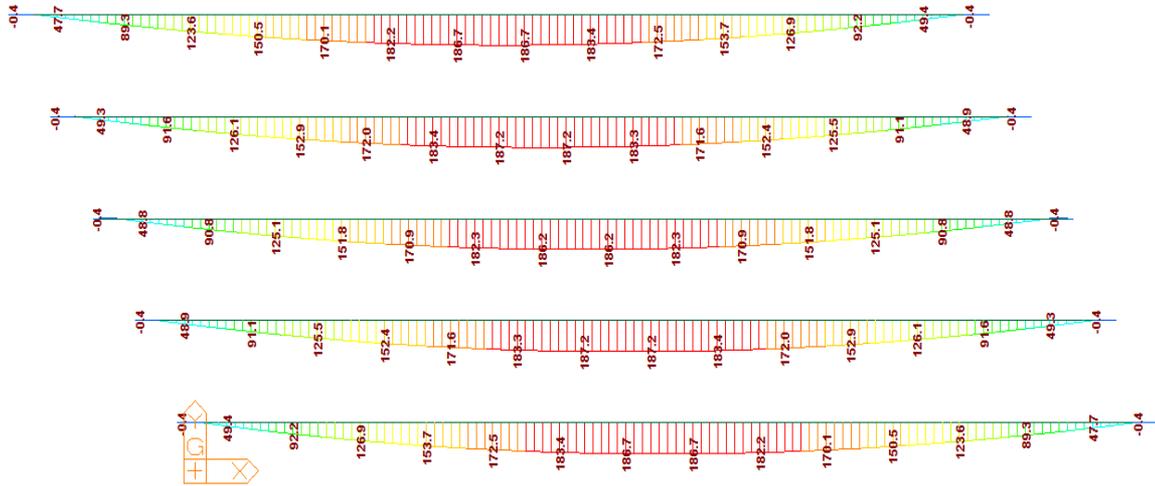


Figure 1 My devido à g1

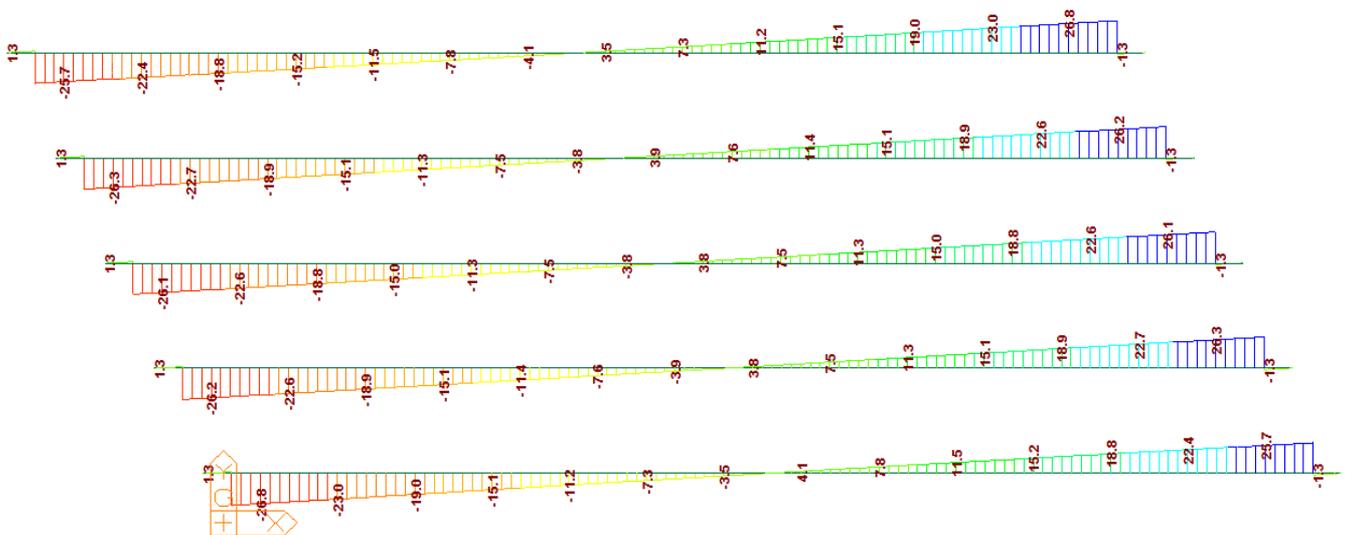


Figure 2 Fz devido à g1

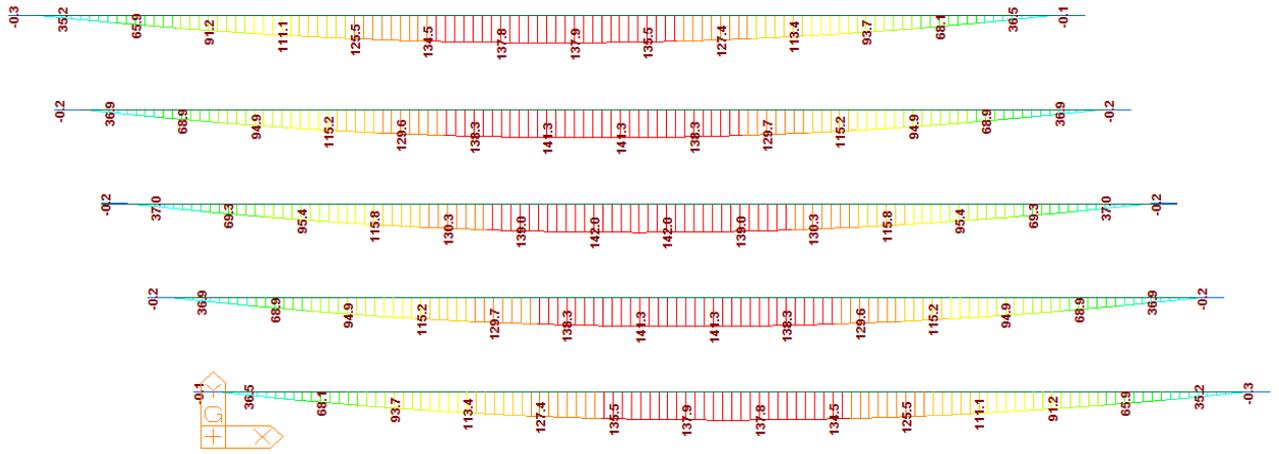


Figure 3 My devido à g2

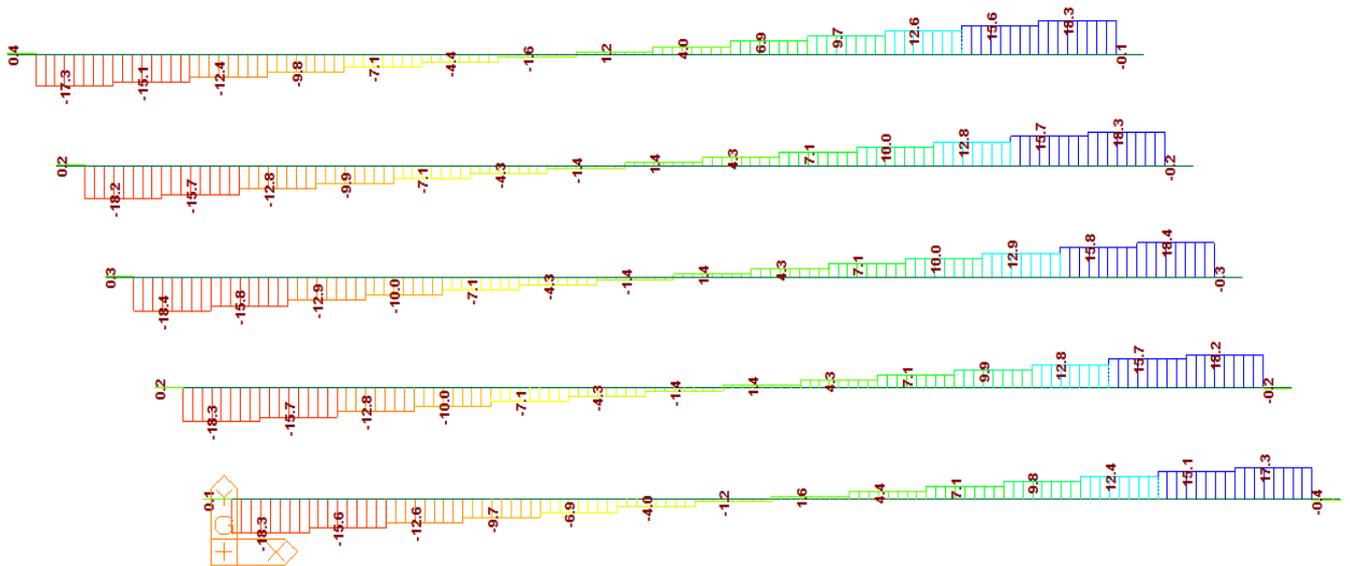


Figure 4 Fz devido à g2

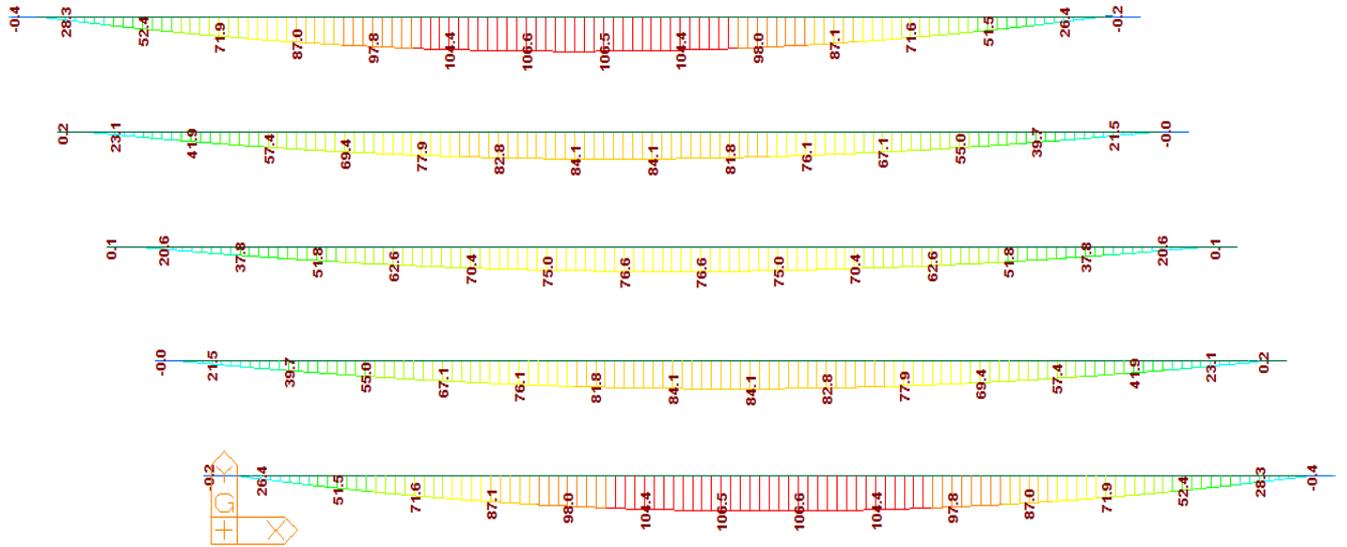


Figure 5 My devido à g3

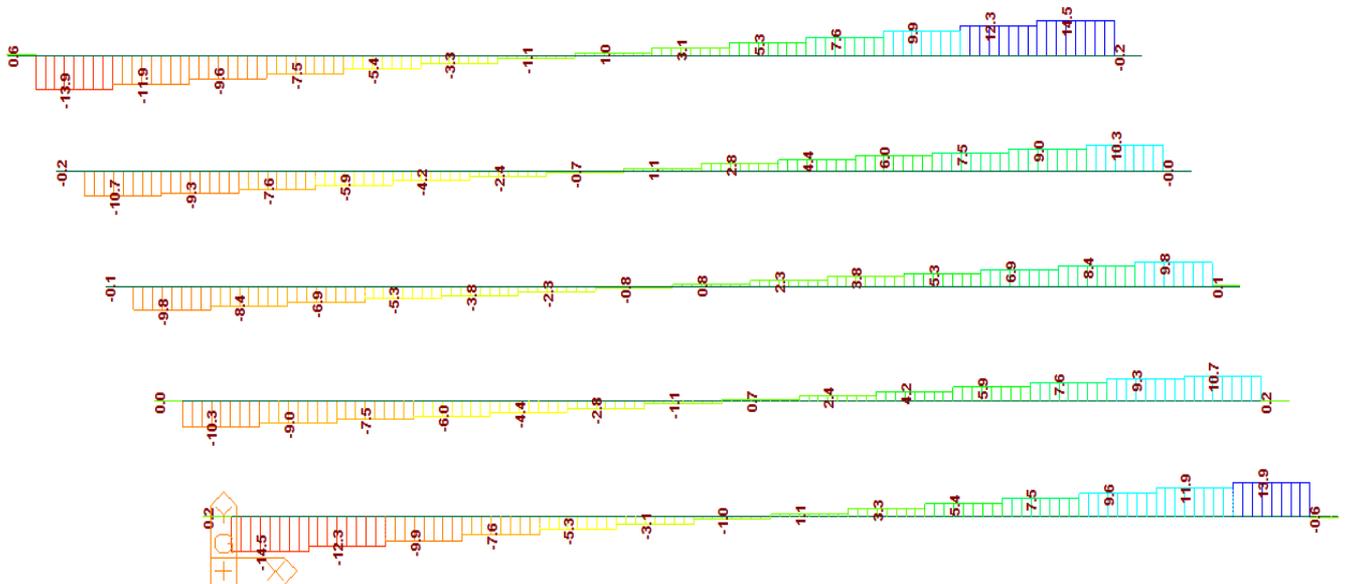


Figure 6 Fz devido à g3

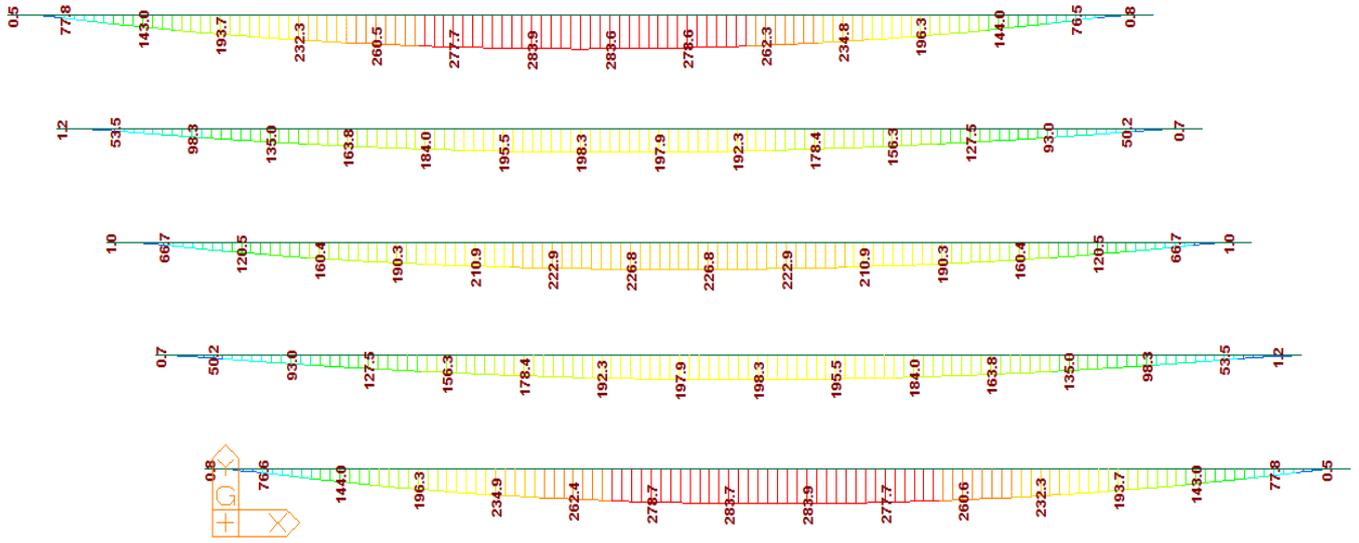


Figure 7 M_y devido à Móvel máx

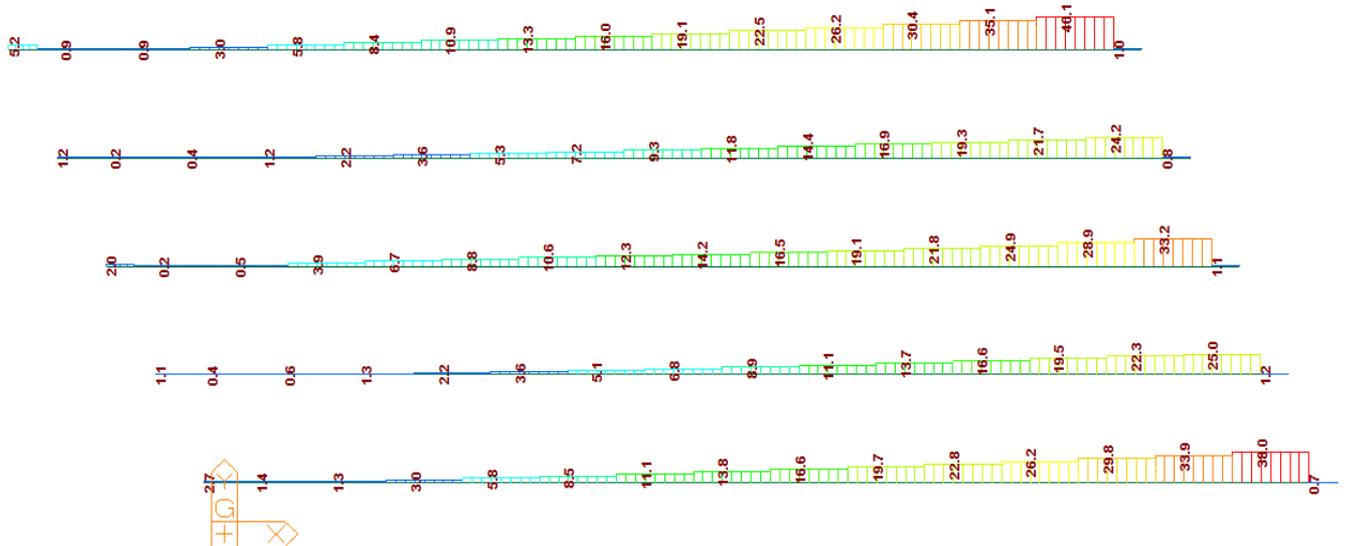


Figure 8 F_z devido à Móvel máx

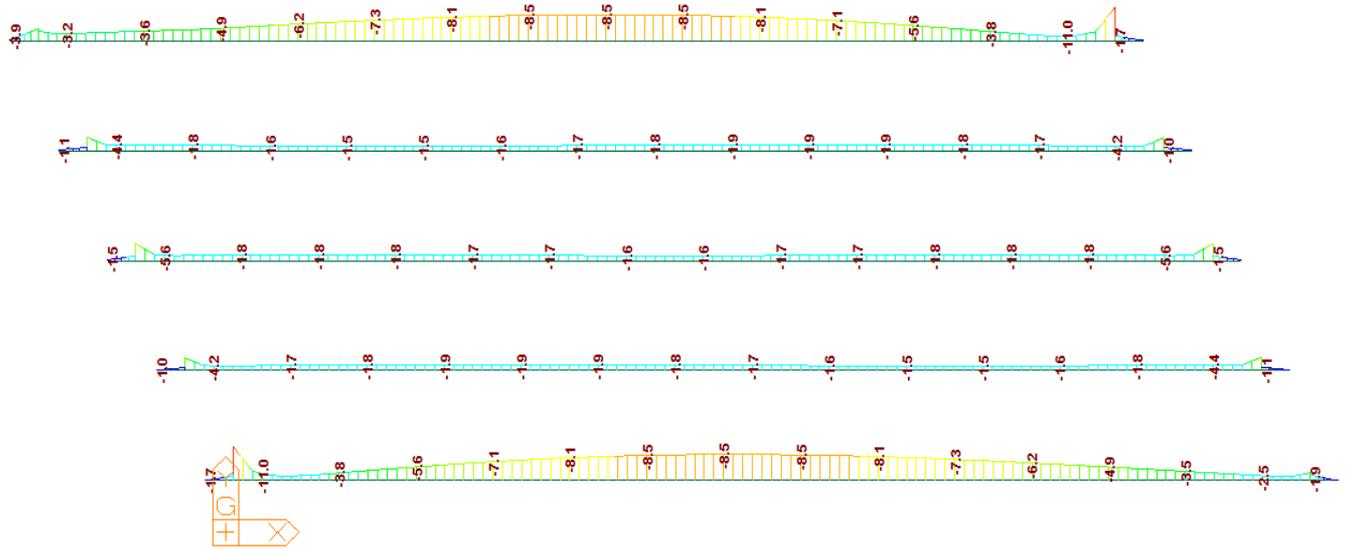


Figure 9 My devido à Móvel mín

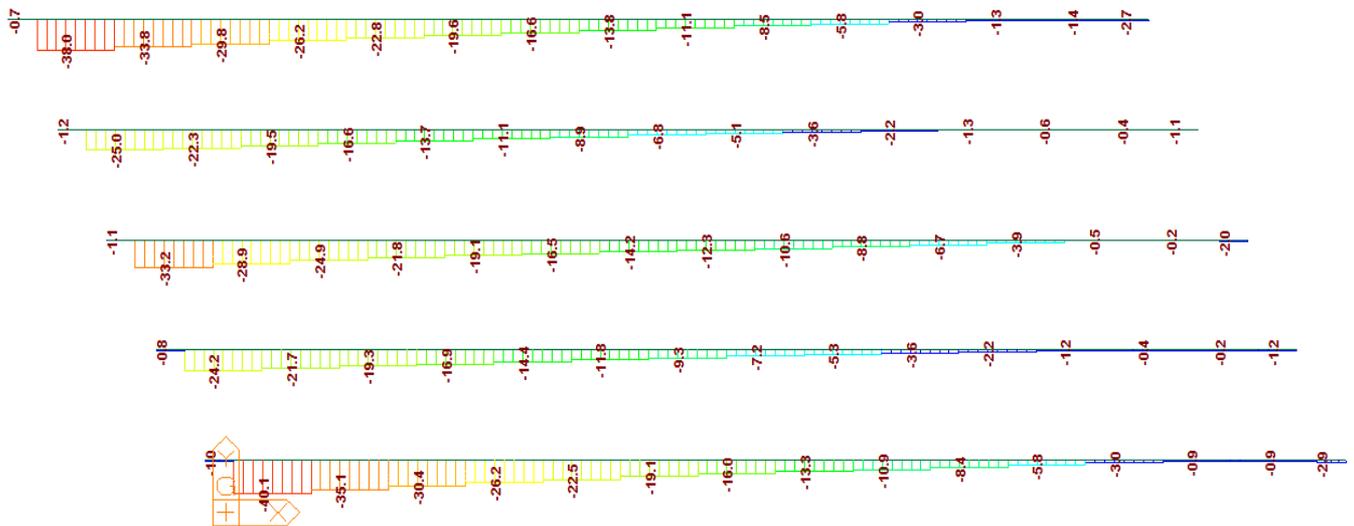
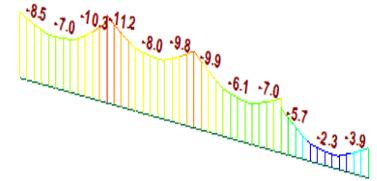
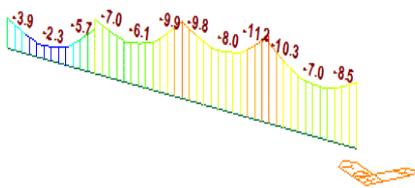
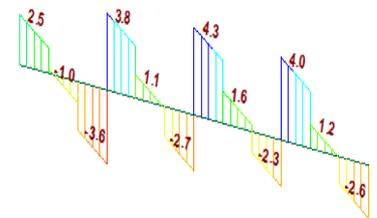
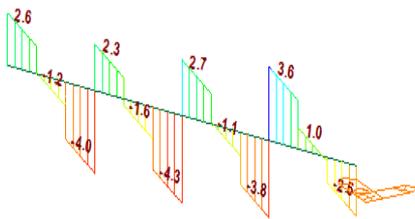


Figure 10 Fz devido à Móvel mín

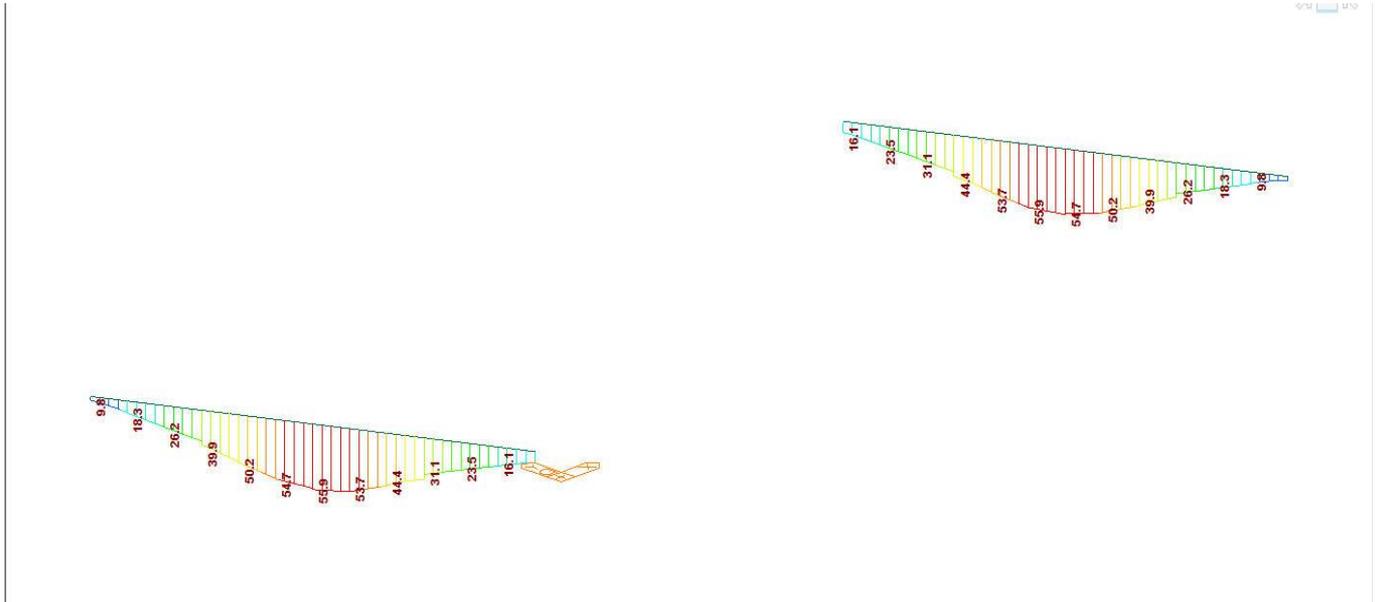
5.2 ANEXO 2 – TRANSVERSINAS



Transversinas My devido à g



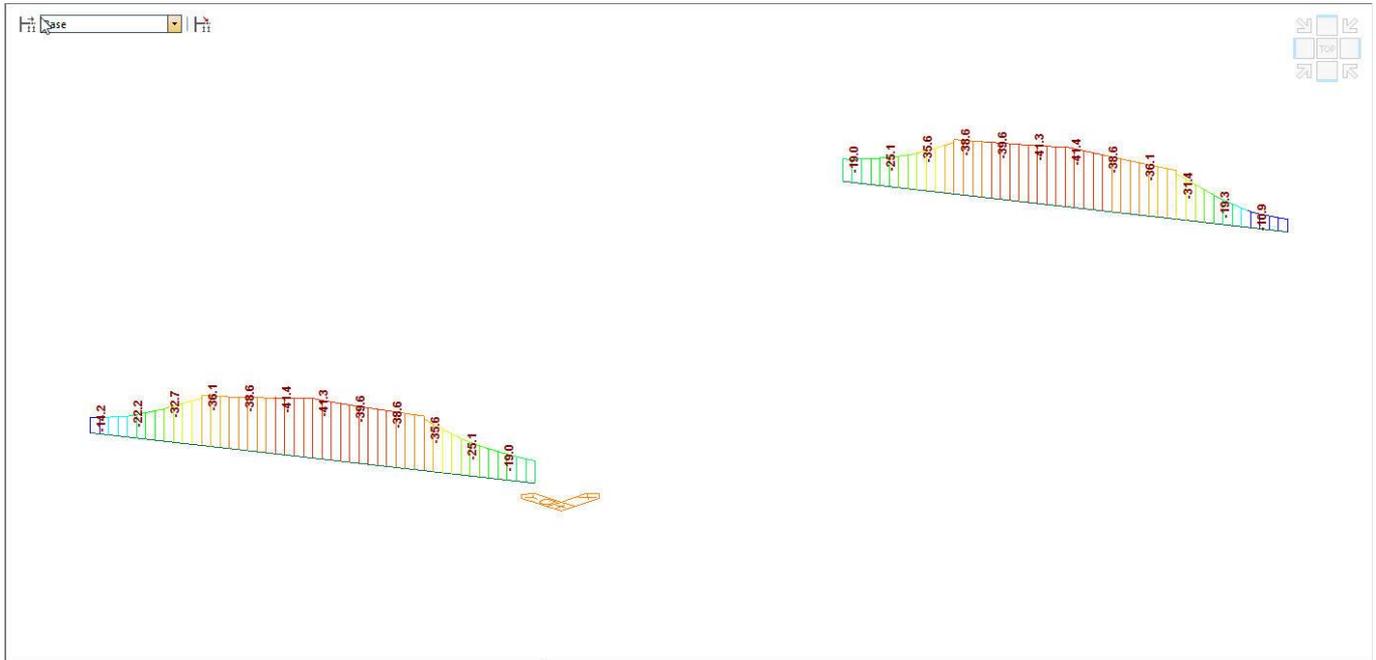
Transversinas Fz devido à g



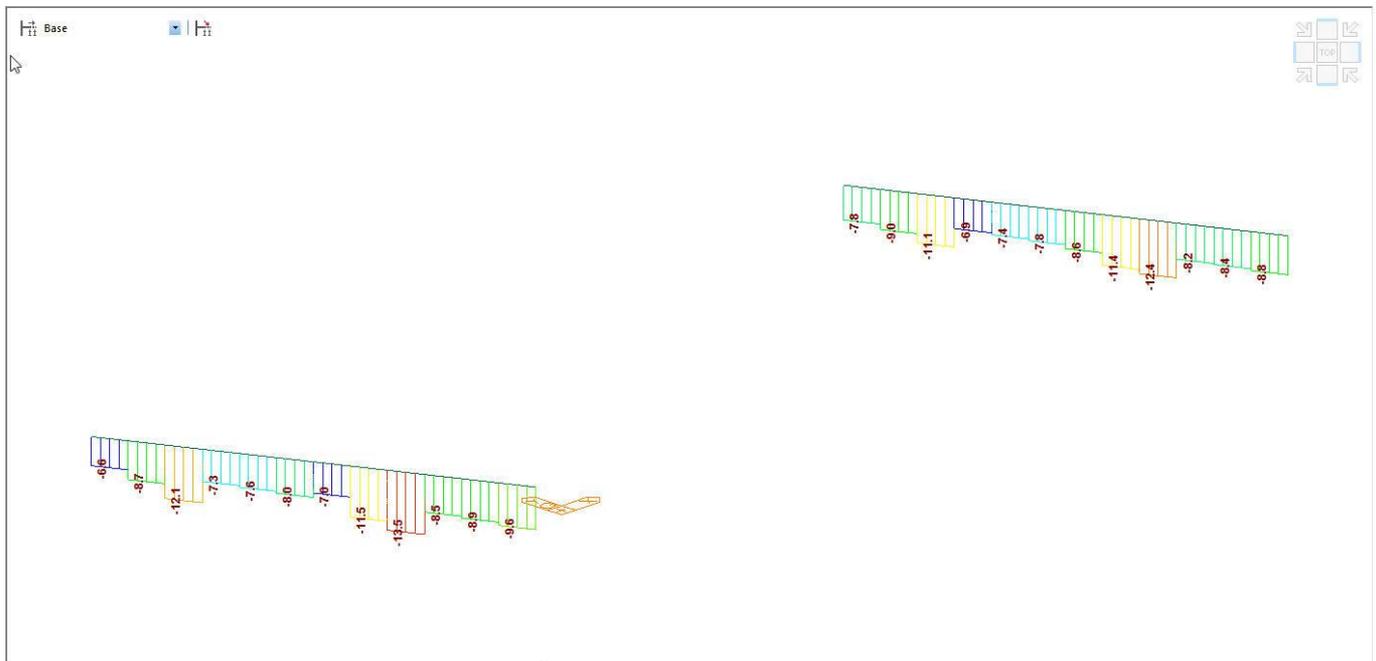
Transversinas My devido à Móveis máx



Transversinas Fz devido à Móveis máx



Transversinas My devido à Móveis mín



Transversinas Fz devido à Móveis mín

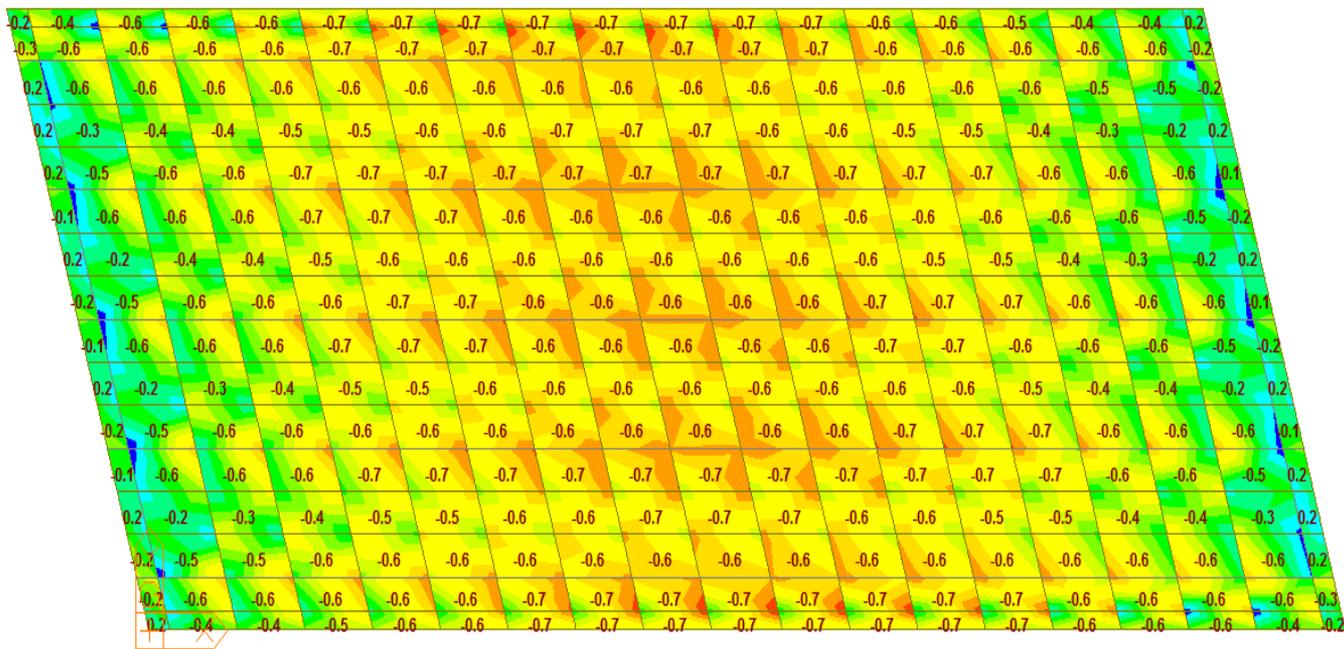


Figure 11 Mxx g laje global

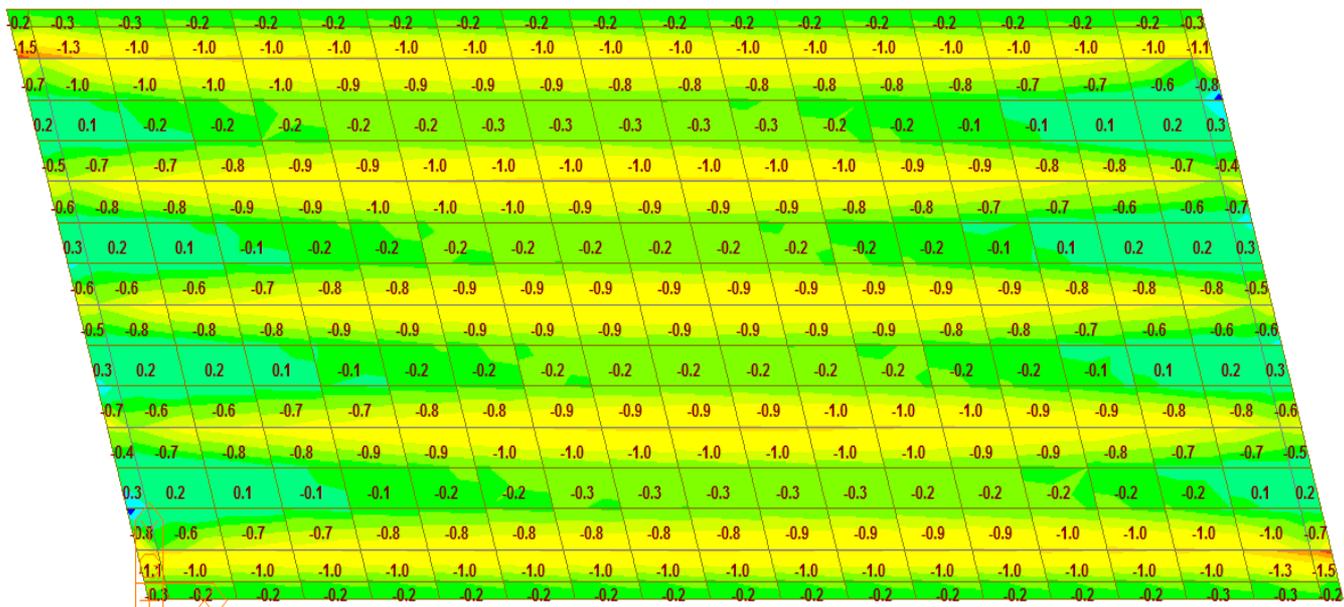


Figure 12 Myy g laje global

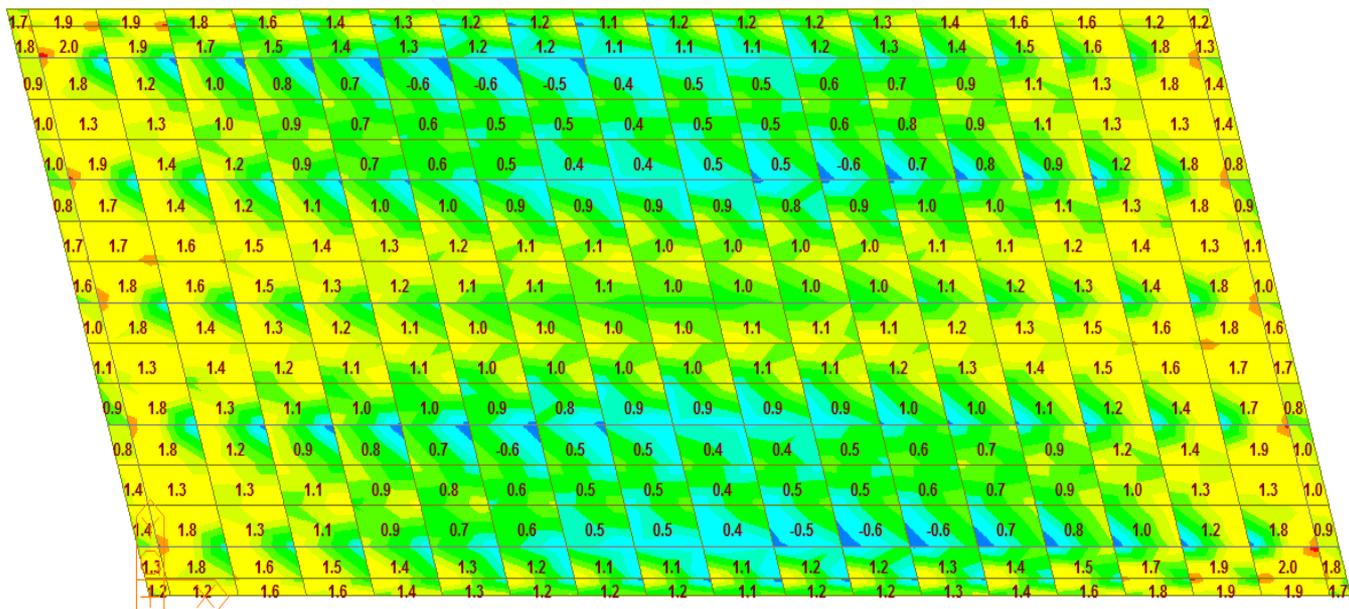


Figure 13 Mxx q laje global máx

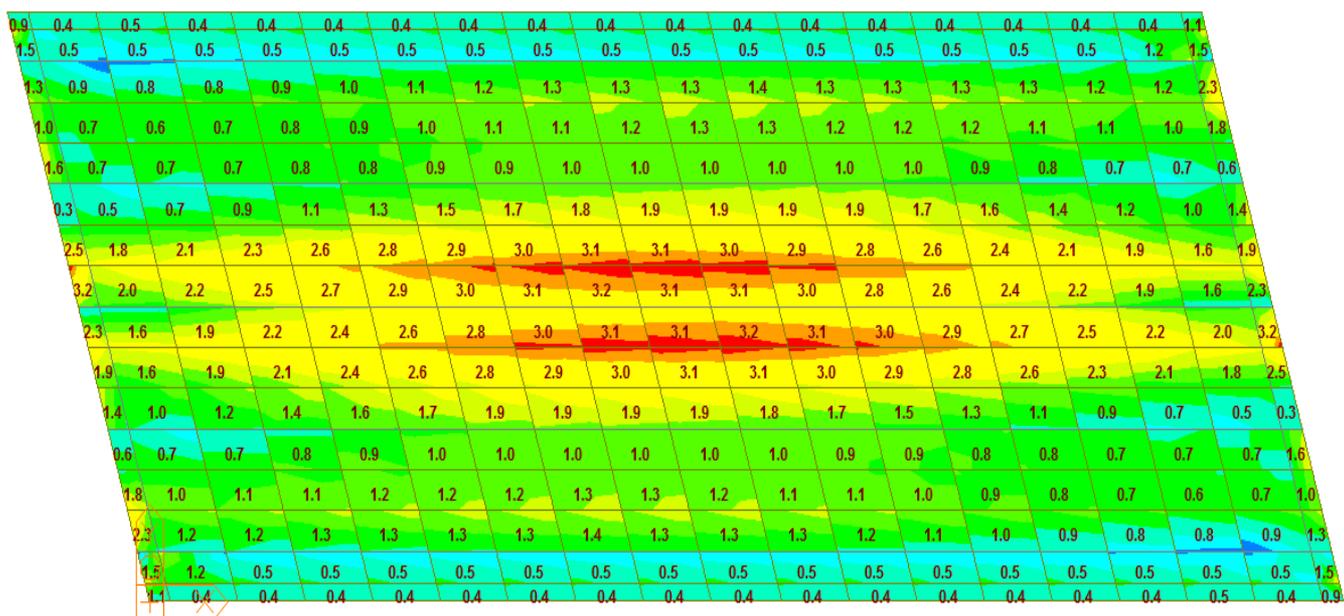


Figure 14 Myy q laje global máx

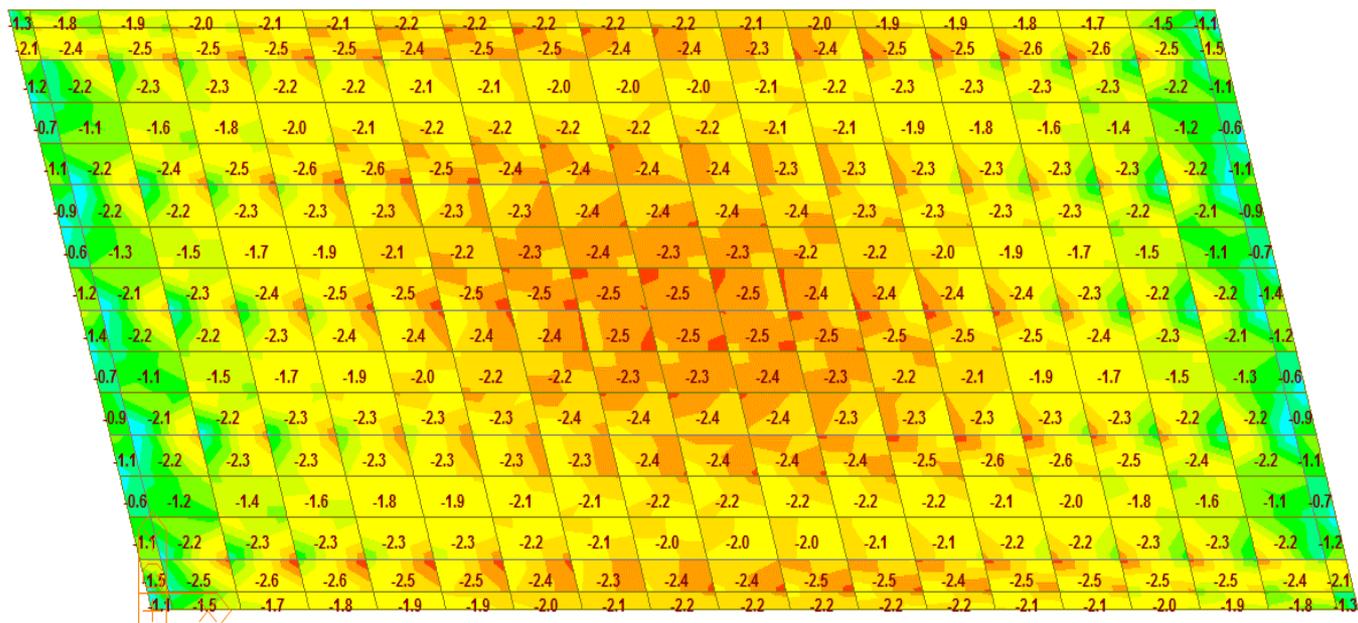


Figure 15 Mxx qlaje global mín

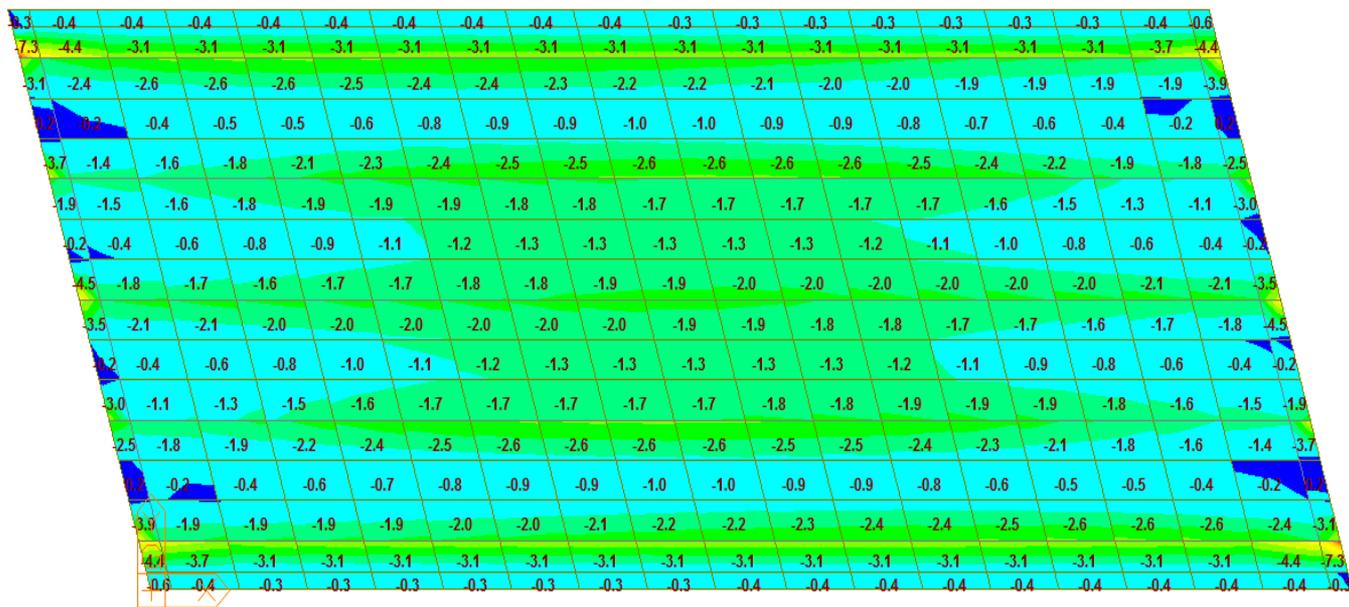


Figure 16 Myy qlaje global mín

6 TERMO DE ENCERRAMENTO

O Volume 3D – Memória de Cálculo de Estruturas – Tomo Único, parte integrante do PROJETO DE ENGENHARIA PARA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA PR-323 - km 174,200 ao km 180,500, é composto por 49 páginas, numeradas sequencialmente a partir do sumário, sendo esta a última página do relatório.

Curitiba, 14 de fevereiro de 2020.

Djalma R. A. Martins Pereira – CREA PR-6259/D