



Prefeitura de
FRANCISCO BELTRÃO



PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

PONTES SOBRE CÓRREGO URUTAGO

FRANCISCO BELTRÃO – RUA BOLÍVIA – PR

JANEIRO/2020



Prefeitura de
FRANCISCO BELTRÃO



PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	3
2.	OBJETIVO	3
3.	DOCUMENTOS CONSULTADOS	3
4.	MODELO DE CÁLCULO	4
5.	VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS	15
6.	VERIFICAÇÃO DAS FUNDAÇÕES	18
7.	VERIFICAÇÃO DAS CORTINAS	21
8.	VERIFICAÇÃO DAS LAJES DO TABULEIRO	21
9.	VERIFICAÇÃO DAS TRANSVERSINAS	26
10.	APARELHOS DE APOIO	26

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

1. INTRODUÇÃO

Esse documento contém todos os procedimentos de cálculo realizados para a concepção dos projetos estruturais executivos das pontes sobre o Córrego Urutago, na rua Bolívia em Francisco Beltrão-PR.

Tratam-se de pontes com superestrutura composta por longarinas e pré-lajes pré-moldadas, transversinas e lajes moldadas *in loco*. Já a infraestrutura é moldada *in loco* e formada por blocos de coroamento e estacas, nos dois lados da ponte. As longarinas são de concreto protendido e são bi apoiadas nos blocos de coroamento através de aparelhos de apoio com dimensões e características conforme projeto. Nas extremidades, são previstas cortinas com alas laterais, moldadas *in loco*, promovendo a contenção do solo nos encontros.

Outros elementos previstos são as barreiras tipo New Jersey (moldadas *in loco*) em todo comprimento da ponte, entre as faixas de rolamento e as áreas de passeio de pedestres, que garantem a segurança dos usuários.

Uma via com duas faixas de rolamento é considerada, bem como regiões de passeio para pedestres em ambos os lados da seção transversal. A via foi projetada com carregamento móvel equivalente ao trem tipo da norma TB-450.

2. OBJETIVO

O objetivo deste relatório é descrever todo o roteiro de análise e dimensionamento estrutural da ponte na Rua Bolívia sobre o Córrego Urutago.

3. DOCUMENTOS CONSULTADOS

Os seguintes documentos serviram como base para a elaboração dos projetos estruturais e de fundação:

- Relatório de Sondagem Mista realizado e de responsabilidade da empresa Fundatti cujo responsável técnico é o Engenheiro Eduardo Henrique Gallas.

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

Foram consideradas nos cálculos as instruções das seguintes normas:

- NBR 6118 (2014): Projeto de estruturas de Concreto – procedimentos;
- NBR 6122 (2010): Projeto e execução de fundações;
- NBR 7187 (2003) Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – procedimento;
- NBR 7188 (2013) Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- NBR 12655:2015- Concreto de Cimento Portland- Preparo, controle e recebimento- Procedimento;
- NBR 14931:2004- Execução de Estruturas de Concreto- Procedimento;
- NBR 9062:2017- Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado;
- NBR 6120:1980- Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 7480:2007- Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação;
- NBR 8681:2003- Ações e segurança nas estruturas - Procedimento;
- NBR 14859-2:2016: Lajes pré-fabricadas de concreto- Elementos inertes para enchimento e forma- Requisitos;
- NBR 5739:2007- Concreto- Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;
- NBR 5738:2015- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

4. MODELO DE CÁLCULO

A superestrutura da ponte é modelada em 3D com o auxílio do software SAP 2000 e submetida à análise linear pelo Método dos Elementos Finitos (MEF). Sendo assim, longarinas e transversinas são discretizadas em elementos de barra e as lajes são discretizadas em elementos de casca fina (teoria de Kirchhoff), assim como ilustram as figuras 1 e 2.

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

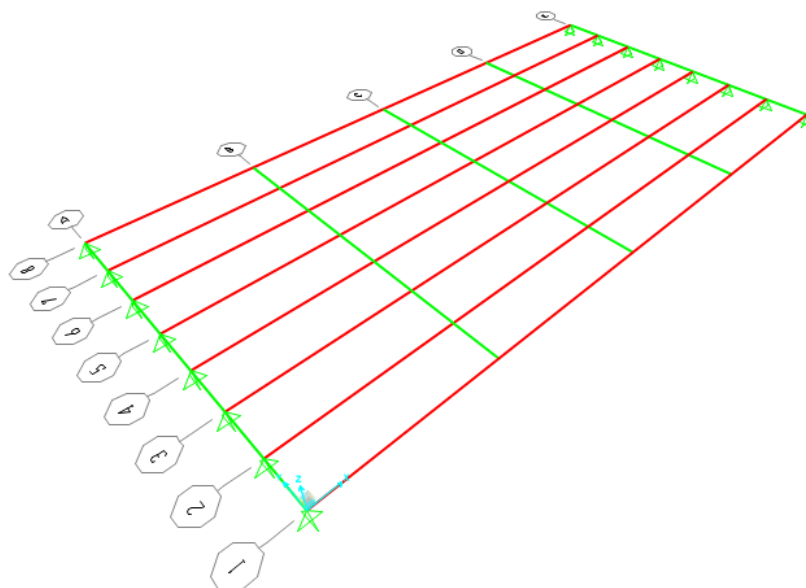


Figura 1 – Longarinas e transversinas discretizadas em elementos finitos de barras.

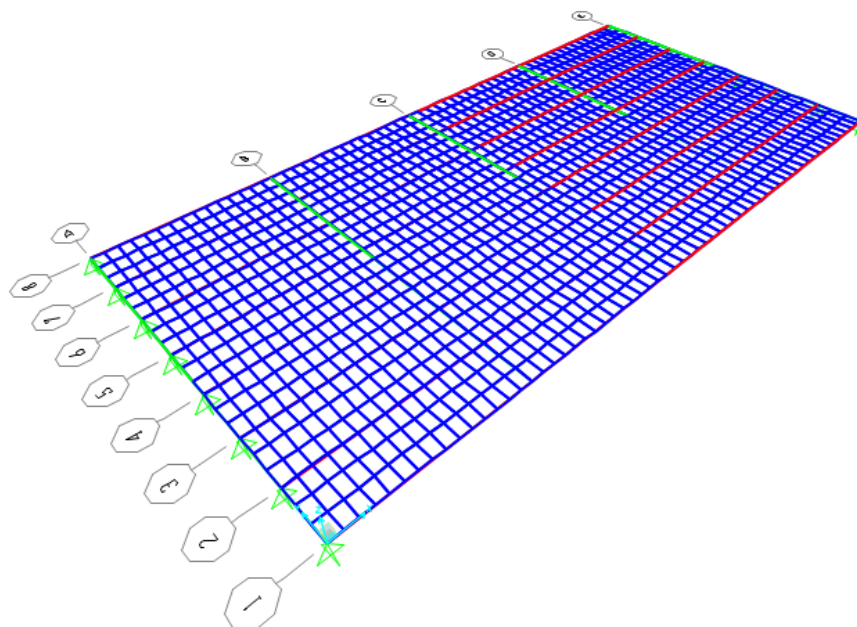


Figura 2 – Lajes discretizadas em elementos finitos de casca fina.

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

4.1. CARGAS VERTICAIS

Os carregamentos permanentes considerados na superestrutura são o peso próprio das longarinas, das transversinas, das lajes, das barreiras, dos guarda-corpos e do pavimento. No caso das longarinas, transversinas e lajes, o peso próprio é incorporado automaticamente ao modelo quando as propriedades de seção transversal e materiais são inseridas no software. Quanto às barreiras, guarda-corpos e pavimento, as cargas estimadas são calculadas a partir da área de seção transversal das peças, conforme é descrito a seguir.

$\gamma_{con} = 2.50$ # peso específico do concreto (tf/m³)
 $\gamma_{pav} = 2.20$ # peso específico do pavimento (tf/m³)

$h_{pav} = 0.07$ # altura do pavimento (m)
 $h_{rec} = 0.05$ # altura do recapeamento (m)

$A_{bar} = 0.20$ # área da seção transversal da barreira (m²)
 $A_{gc} = 0.17$ # área da seção transversal do guarda corpo (m²)

$g_{pav} = (h_{pav} + h_{rec}) * \gamma_{pav}$ # carga permanente devida ao pavimento (tf/m²)
 $g_{bar} = A_{bar} * \gamma_{con}$ # carga permanente devida à barreira de concreto (tf/m)
 $g_{gc} = A_{gc} * \gamma_{con}$ # carga permanente devida ao guarda-corpo (tf/m)

$g_{pav} = 0.26$ tf/m² (pavimento)
 $g_{bar} = 0.50$ tf/m (barreira)
 $g_{gc} = 0.43$ tf/m (guarda-corpo)

Com os valores dos carregamentos calculados, insere-se tais informações no modelo de elementos finitos, de acordo com a figuras 3, 4 e 5.

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES



Figura 3 – Carga permanente das barreiras aplicada sobre os elementos de casca (kgf/m²).



Figura 4 – Carga permanente dos guarda-corpos aplicada sobre os elementos de casca (kgf/m²).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES



Figura 5 - Carga permanente do pavimento aplicada sobre os elementos de casca (kgf/m²).

No que se refere aos carregamentos móveis, adota-se os parâmetros preconizados pela NBR 7188/2018, assumindo o TB-450 como trem-tipo. À vista disso, as cargas móveis são determinadas de acordo com o que está a seguir.

$L = 20.00$ # vão da ponte (m)
 $nf = 2$ # número de faixas de rodagem
 $CIA = 1.00$ #coef. de impacto adicional (1.00 para o dimensionamento das longarinas)

$P = 7.50$ # carga por roda do trem tipo (tf/roda)
 $p = 0.50$ # carga distribuída na pista (tf/m²)
 $p_{linha} = 0.30$ # carga distribuída nos passeios (tf/m²)

$CIV = (L < 10.) * 1.35 + (L \geq 10.) * (1. + 1.06 * (20. / (L + 50)))$ # coeficiente de impacto vertical
 $CNF = \min(\max(1 - 0.05 * (nf - 2.), 0.9), 1.)$ # coeficiente do número de faixas

$Q = CIV * CNF * CIA * P$ # carga por roda majorada pelos coeficientes (tf/roda)
 $q = CIV * CNF * CIA * p$ # carga distribuída na pista majorada pelos coeficientes (tf/m²)

$CIV = 1.27$ (impacto vertical)
 $CNF = 1.00$ (número de faixas)
 $CIA = 1.00$ (impacto adicional)
 $Q = 9.49$ tf/roda
 $q = 0.63$ tf/m²
 $p_{linha} = 0.30$ tf/m²

Cabe então aplicar os carregamentos Q , q e p_{linha} do trem tipo nas diversas

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

posições possíveis de atuação sobre o tabuleiro da ponte. O carregamento Q foi distribuído em uma área de contato ampliada, considerando a área de contato das rodas e um ângulo de 45° até a superfície média da laje. Com isso, escolhem-se 6 posições diferentes de atuação para a atuação do trem-tipo, de forma a gerar uma envoltória com as situações mais críticas. Tais posições são ilustradas nas figuras 6 a 11.

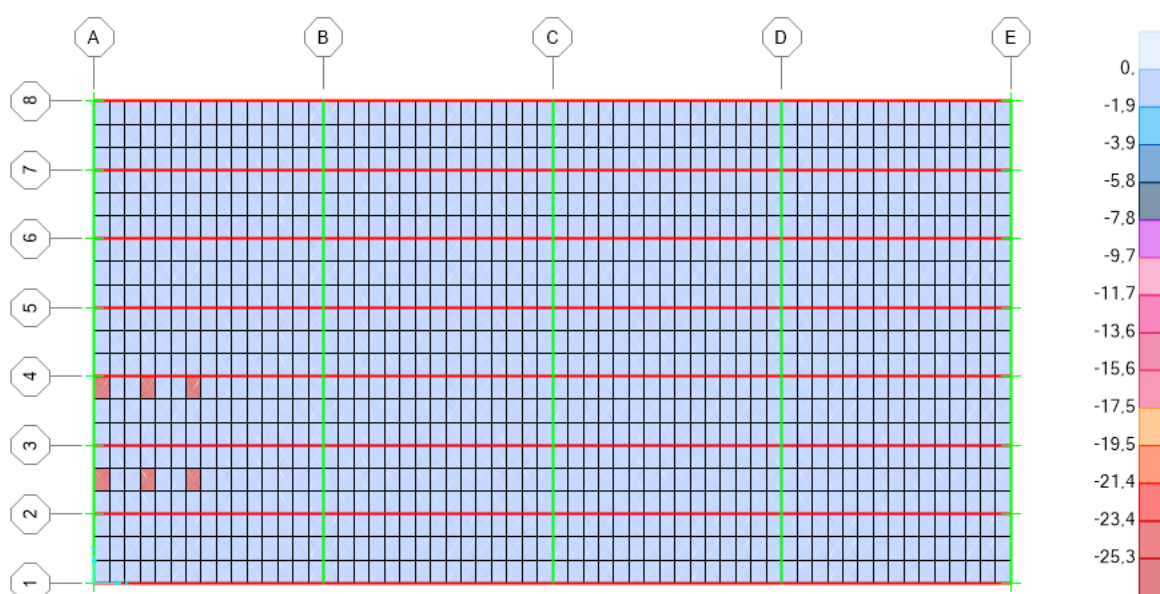


Figura 6 – Carga do veículo na posição Q1 (tf/m²).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

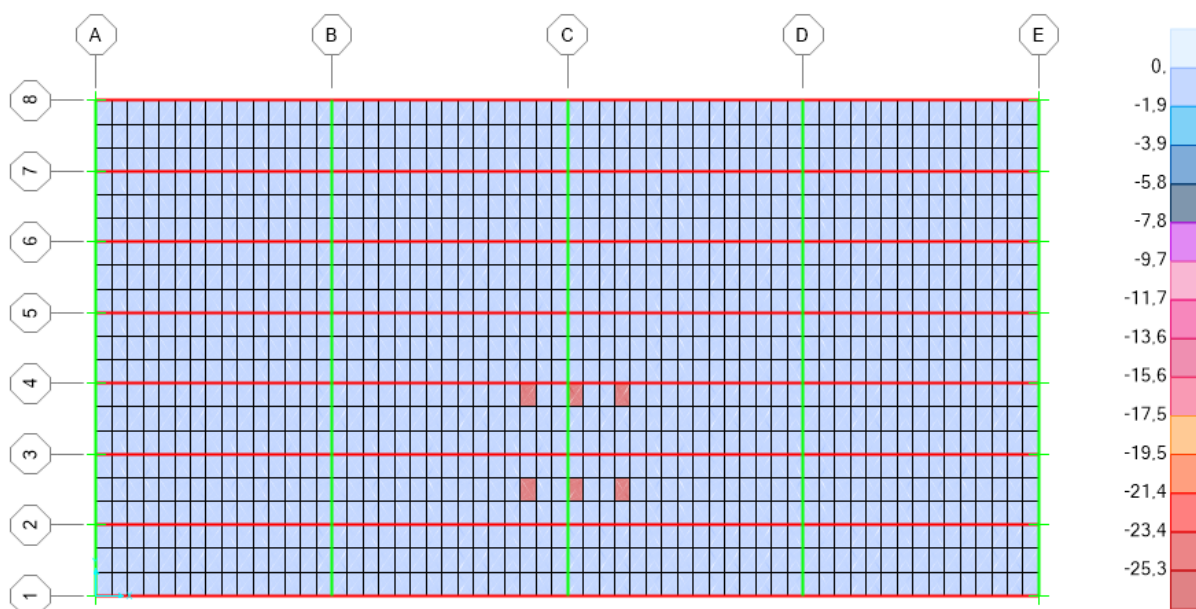


Figura 7 – Carga do veículo na posição Q2 (tf/m^2).

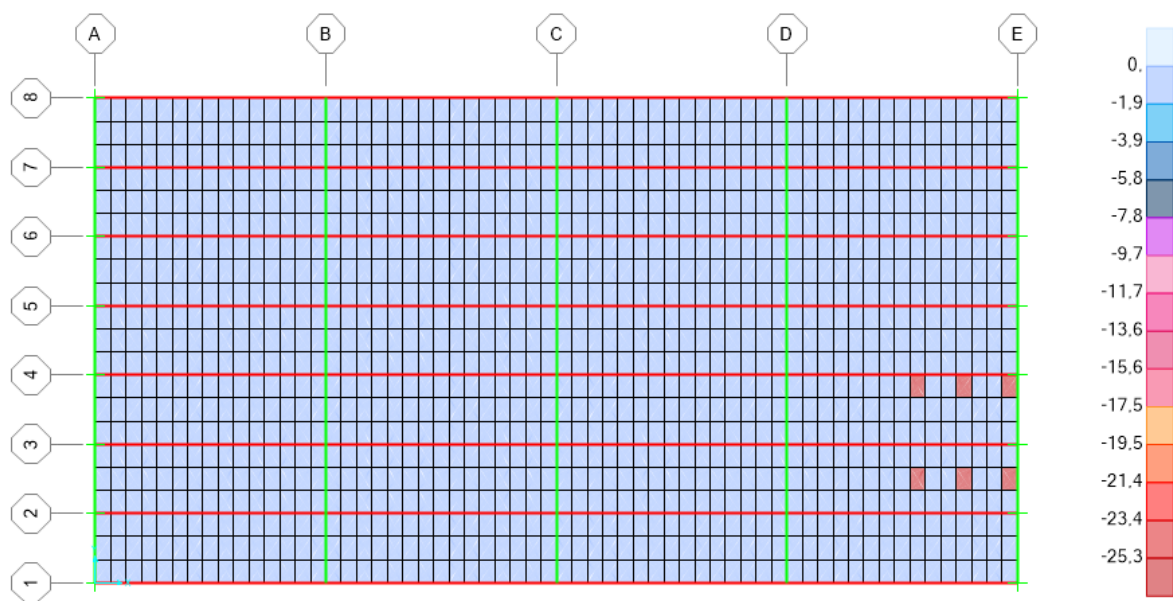


Figura 8 – Carga do veículo na posição Q3 (tf/m^2).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

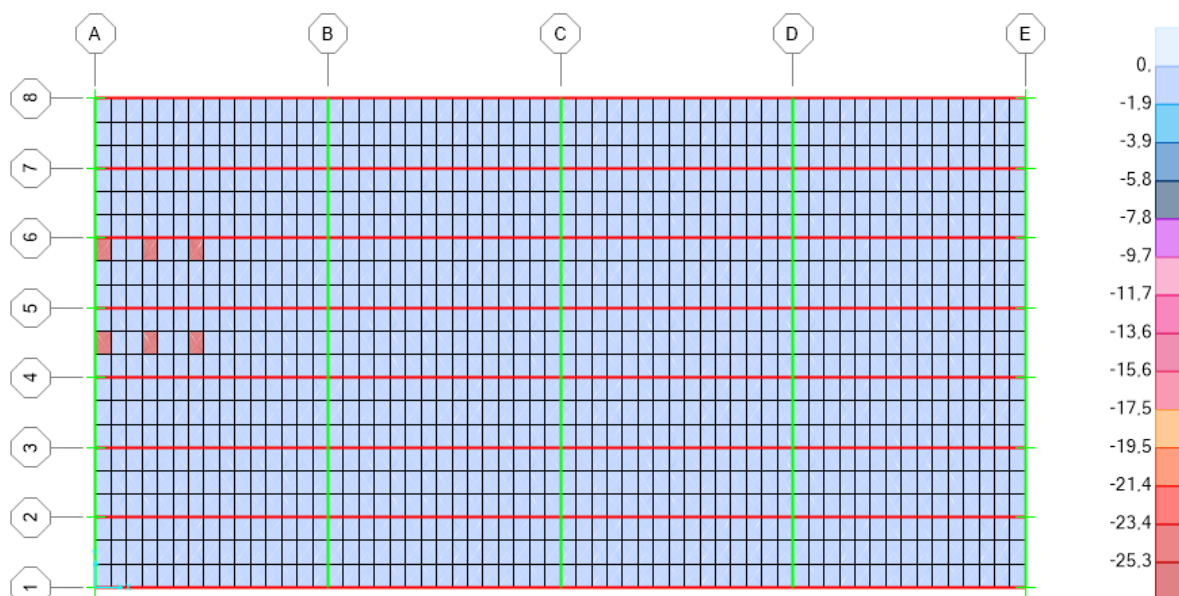


Figura 9 – Carga do veículo na posição Q4 (tf/m²).

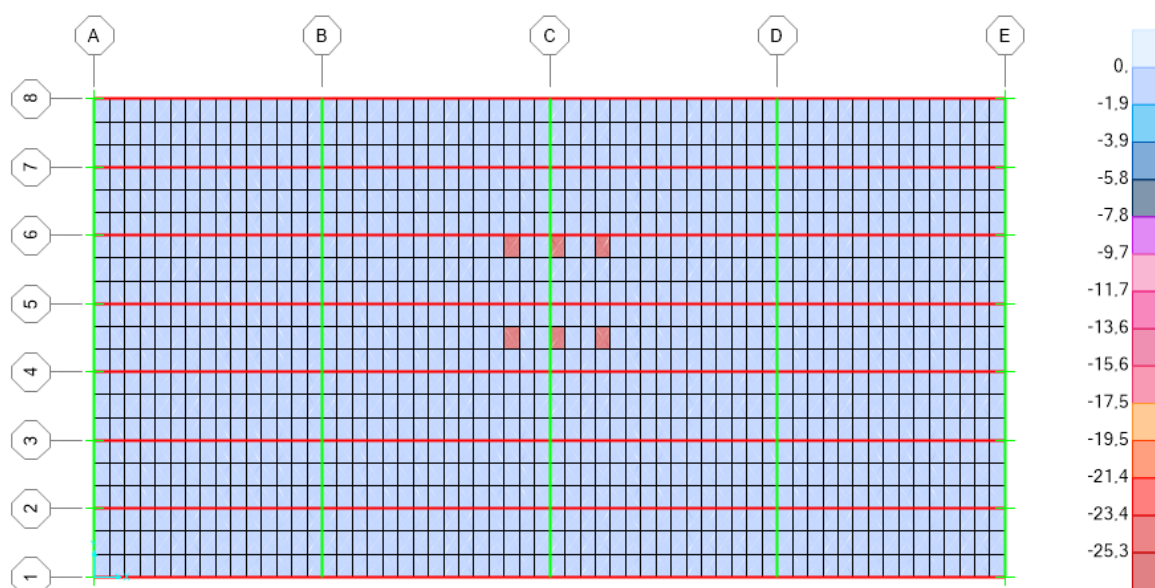


Figura 10 – Carga no veículo na posição Q5 (tf/m²).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

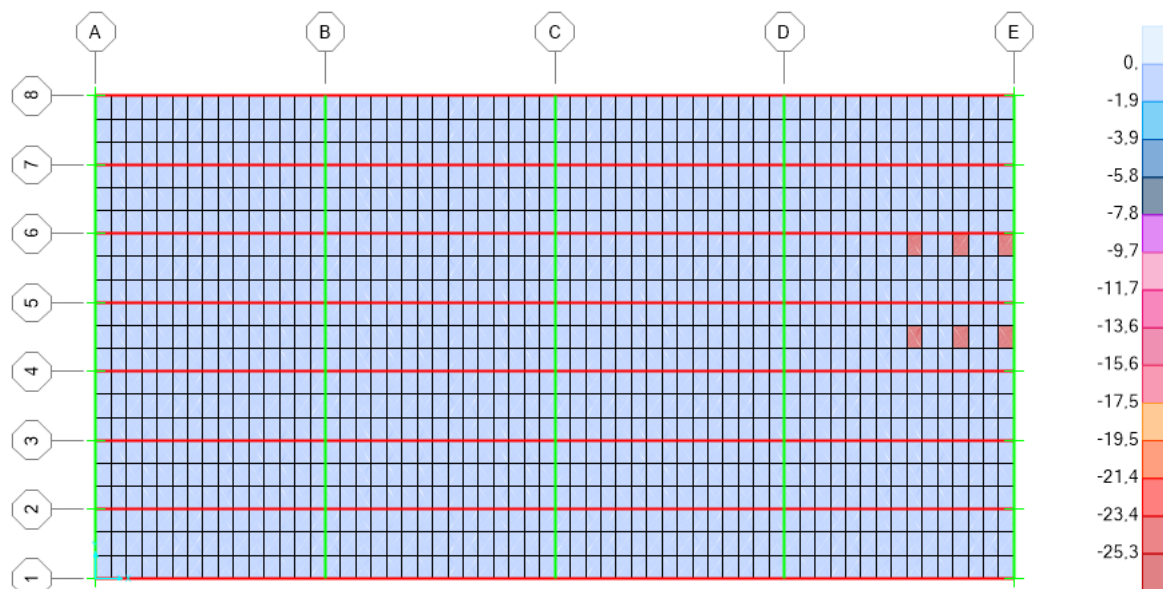


Figura 11 – Carga do veículo na posição Q6 (tf/m²).

Por sua vez, a carga de multidão q também é aplicada conforme cada posição em que o trem tipo se encontra e a figura 12 ilustra o caso em que o veículo está na posição Q5. Adicionalmente, as figuras 13 e 14 indicam as cargas que solicitam as regiões de passeio.

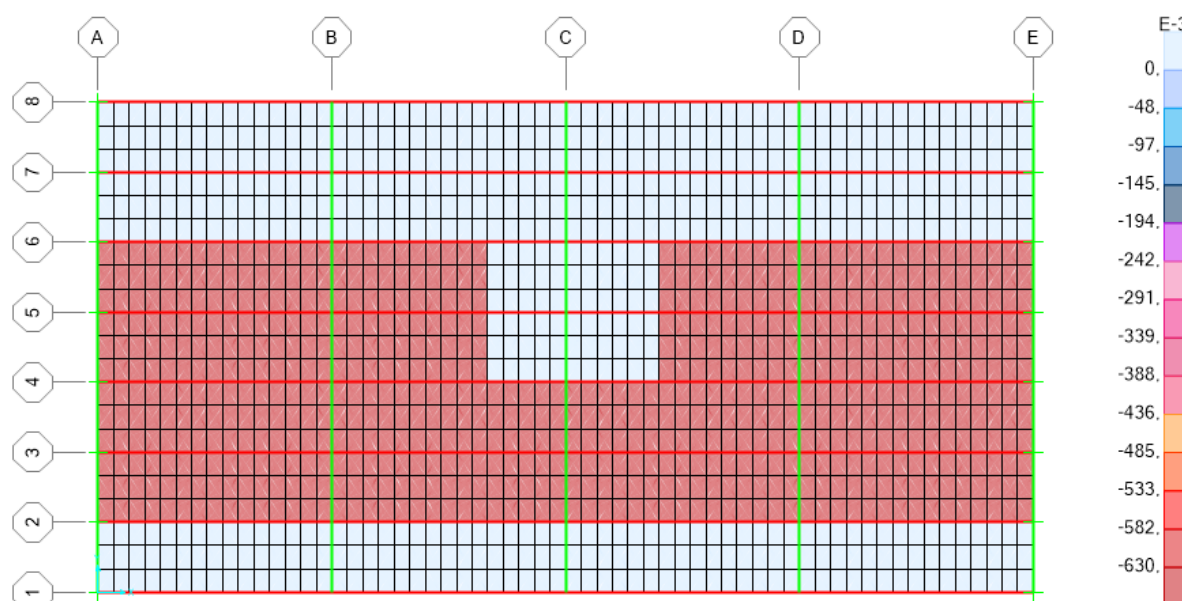


Figura 12 – Carga q para veículo na posição Q5 (kgf/m²).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

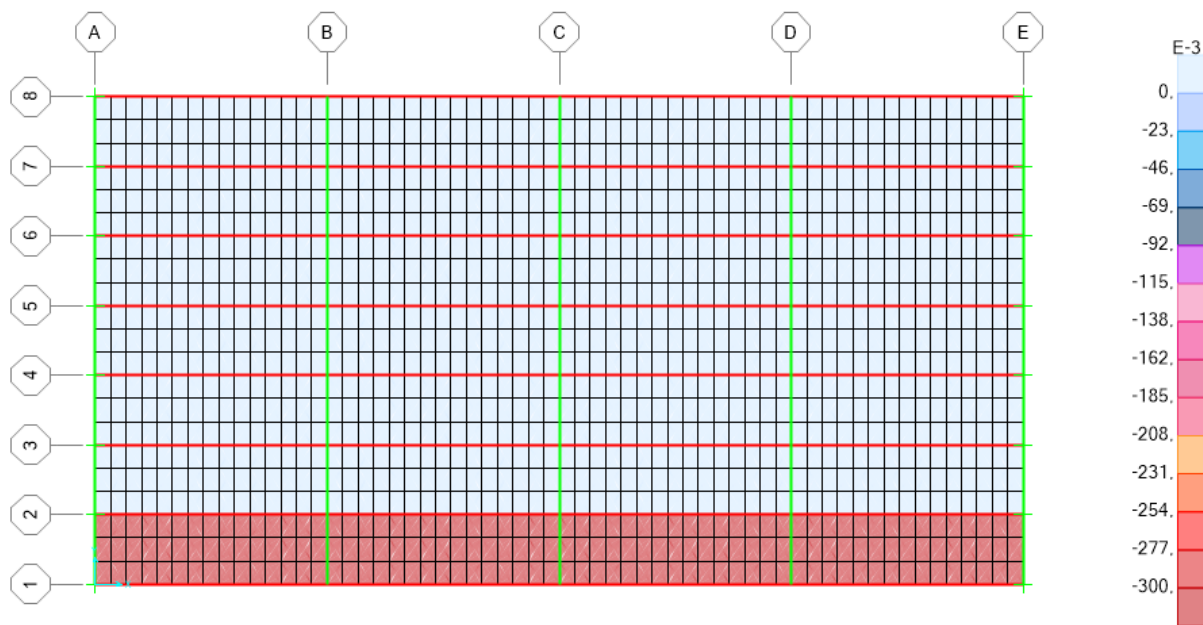


Figura 13 – Carga aplicada no passeio A (kgf/m²).

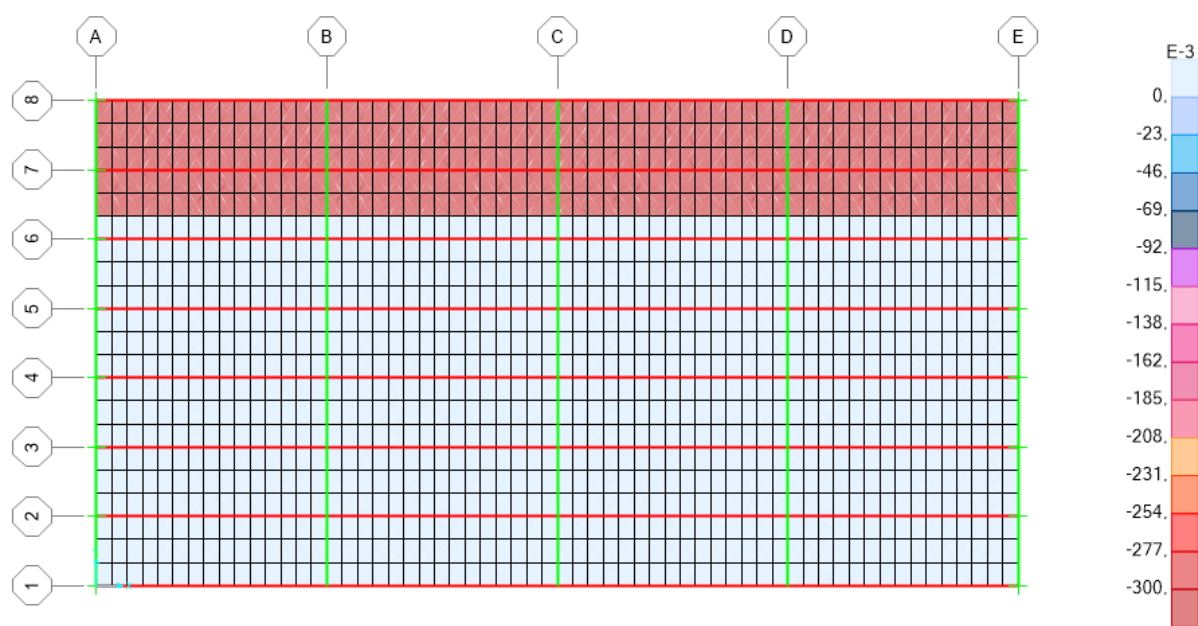


Figura 14 – Carga aplicada no passeio B (kgf/m²).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

4.2. CARGAS HORIZONTAIS

Dentre as cargas horizontais atuantes na ponte, consideram-se a frenagem e a aceleração, as forças de colisão ao nível do tabuleiro, o vento e o empuxo de solo.

4.2.1. Frenagem e aceleração

Calculada pela seguinte formula

$$H_f = 0,25 \times B \times L \times CNF \geq 135 \text{ KN}$$

B = Largura da carga distribuída de 5 KN/m² = 12 metros

L = Comprimento da carga distribuída de 5 KN/m² = 19,5 metros

CNF = coeficiente de número de faixas = 1,0 (calculado anteriormente)

Dessa forma, encontra-se $H_f = 135 \text{ KN}$

4.2.2. Força de impacto

100 KN conforme NBR7188

4.2.3. Vento

Considerado dois casos:

- Carregamento lateral de 1,5 KN/m² atuando em uma situação sem veículos, ou seja, a altura de aplicação da carga equivale à soma da altura da longarina e da barreira, ao longo de todo o comprimento da ponte.
- Carregamento lateral de 1,0 KN/m² atuando em uma situação com veículos, ou seja, a altura de aplicação da carga equivale à soma da altura da longarina e a altura de um veículo (considerado 2 metros), ao longo de todo o comprimento

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

da ponte.

Dessa forma, encontra-se o pior caso de vento = $3,3 \text{ KN/m}$

4.2.4. Empuxo

O empuxo foi determinado pelo método de Rankine, no qual a distribuição de tensões horizontais do solo apresenta um formato trapezoidal, cujos valores são obtidos por meio da multiplicação das tensões verticais (sobrecarga e peso do solo) por um coeficiente de estado de tensões, nesse caso considerado como estado ativo (K_a). A força horizontal resultante é então obtida pelo cálculo da área do trapézio de tensões horizontais, resultando um valor de empuxo por metro linear.

Dados:

- Ângulo de atrito = 24° (estimado para um aterro argiloso)
- Sobrecarga = 7 KN/m^2
- Peso específico do solo = 18 KN/m^3 (estimado para um aterro argiloso)
- Altura = 2,5 metros (considerado até a base do bloco de coroamento)

Resultado:

- Empuxo = $31,1 \text{ KN/m}$

5. VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS

5.1. COMBINAÇÕES DE ESFORÇOS

As combinações adotadas visam definir todas as situações possíveis de carregamento às quais a estrutura da ponte será submetida durante sua vida útil. Considera-se então as combinações possíveis de carga permanente (etapas de

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

construção) e aquelas oriundas das ações variáveis.

Classifica-se as cargas permanentes de acordo com as etapas de protensão, conforme cálculos mostrados a seguir.

$G1k$ = peso próprio # cargas da primeira etapa de protensão

$G2k$ = peso lajes + peso barreiras + peso guarda-corpo + peso pavimento # cargas permanentes aplicadas após segunda etapa de protensão.

$G = G1k + G2k$ # cargas permanentes totais

No que se refere às cargas móveis, as envoltórias são geradas a partir dos máximos e mínimos gerados pelas combinações que seguem.

$A = Q1 + q$ # combinação A
 $B = Q2 + q$ # combinação B
 $C = Q3 + q$ # combinação C
 $D = Q4 + q$ # combinação D
 $E = Q5 + q$ # combinação E
 $F = Q6 + q$ # combinação F
 $G = Q1 + Q4$ # combinação G
 $H = Q1 + Q5$ # combinação H
 $I = Q1 + Q6$ # combinação I
 $J = Q2 + Q4$ # combinação J
 $K = Q2 + Q5$ # combinação K
 $L = Q2 + Q6$ # combinação L
 $M = Q3 + Q4$ # combinação M
 $N = Q3 + Q5$ # combinação N
 $O = Q3 + Q6$ # combinação O
 $P = H + q$ # combinação P
 $Q = I + q$ # combinação Q
 $R = J + q$ # combinação J
 $S = L + q$ # combinação S
 $T = M + q$ # combinação T
 $U = N + q$ # combinação U
 $V = O + q$ # combinação O
 $X = A + \text{plinha}$ # combinação X
 $Y = B + \text{plinha}$ # combinação Y
 $W = C + \text{plinha}$ # combinação W
 $Z = D + \text{plinha}$ # combinação Z
 $AA = E + \text{plinha}$ # combinação AA
 $AB = F + \text{plinha}$ # combinação AB

Q = envoltória(A, B, C, ..., AB, plinha, q, Q1, Q2, ..., Q6) # envoltória de esforços para carregamentos móveis.

Com base nos esforços obtidos com $G1k$, G e Q , aplica-se os coeficientes de norma específicos para cada estado limite avaliado, chegando-se aos valores de cálculo.

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

5.2. PERDAS DE PROTENSÃO

De modo a verificar se as perdas estimadas no ELU de ruptura são coerentes e para proporcionar a verificação dos estados-limite de serviço e do tempo zero, calcula-se as perdas de protensão.

5.3. ESTADO-LIMITE DE DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS

Visando atender aos critérios de deslocamentos máximos da NBR 6118/2014 para aceitabilidade sensorial, o estado limite de deformações excessivas é verificado após análise elástica e consideração dos efeitos da fluência, da retração e da protensão nas longarinas. Cabe ressaltar que a NBR6118/2014 permite que, em elementos com armaduras ativas, é coerente que se considere a rigidez à flexão como $E_{cs} \cdot I_c$ (módulo de elasticidade secante e inércia da seção bruta de concreto).

O deslocamento do modelo elástico foi obtido a partir do modelo do SAP, no qual a combinação de ações avaliada foi a frequente, que segue a equação abaixo. Os coeficientes ψ_1 e ψ_2 foram retirados da tabela 11.2 e do item 23.5.2 da NBR6118:2014.

$$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \sum \psi_{2j} F_{qjk}$$

O deslocamento vertical elástico máximo das longarinas encontrado no modelo do SAP foi de 4,20 cm. Sobre esse valor ainda são acrescentados os efeitos da fluência, da retração e da protensão, chegando-se ao deslocamento vertical máximo de 6,51 cm.

Deslocamento máximo	Limite	Situação
6,51 cm	$L/250 = 2000/250 = 8,0\text{cm}$	OK!

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

5.4. ESTADO-LIMITE DE SERVIÇO-ELS

Tipo de Concreto Estrutural	CAA e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar	Limite de tensão	
				Tração	Compressão
CP - Nível 2 (Protensão limitada)	Pré-tração - CAIII ou Pós-tração - CAA III e IV	Tempo Zero	Protensão + Peso próprio	$\sigma_t = 1,2 \cdot f_{ctj,m}$	$\sigma_c = 0,7 \cdot f_{cj}$
		ELS-F	Combinação frequente	$\sigma_t = f_{ct,m}$	$\sigma_c = 0,7 \cdot f_{ck}$
		ELS-D	Combinação quase permanente	$\sigma_t = 0$	$\sigma_c = 0,7 \cdot f_{ck}$

6. VERIFICAÇÃO DAS FUNDAÇÕES

A solução adotada para as fundações das pontes é a de blocos de coroamento sobre estacas tipo raiz, dadas as características do solo mostradas nas sondagens e as cargas transferidas ao solo.

6.1. CARGAS

Dadas as combinações possíveis de carregamentos nas fundações que são aplicados nos aparelhos de apoio, busca-se quais delas provocam as reações verticais máximas e mínimas, bem como aquelas que levam aos máximos esforços horizontais.

6.2. CAPACIDADE GEOTÉCNICA DAS ESTACAS

6.2.1. Carga axial

De maneira geral, para dimensionar a capacidade de carga das estacas sob o ponto de vista geotécnico, no trecho em solo, foi utilizado o método DÉCOURT / QUARESMA, ou seja, fórmula elaborada pelos eng^o Luciano Décourt e eng^o Arthur Rodrigues Quaresma, apresentada no Simpósio Europeu de Ensaio de Penetração

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

(ESOPT II - European Symposium of Penetration Test), em Amsterdã - Holanda e seguidas às instruções da NORMA BRASILEIRA NBR-6.122/2010: Projeto e execução de fundações.

Para o trecho em rocha foram considerados os métodos de cálculo sugeridos por Poulos e Davis (1980) e o de Cabral e Antunes (2000). As considerações feitas para esses métodos foram:

- Rocha pouco alterada
- Rochas ígneas ou metamórficas (basalto)
- Racha muito a mediamente fraturada
- Diâmetro da estaca 40 cm
- Comprimento em rocha de 1 metro
- f_{ck} do concreto de 40Mpa

6.2.2. Carga horizontal

Para a capacidade horizontal lança-se mão do método de Winkler, em que a estaca foi modelada, no software ftool, como uma barra vertical de comprimento igual de projeto, discretizada em trechos igualmente espaçados por nós com molas horizontais (representando o solo). Além disso foi considerado um apoio que restringe o deslocamento rotacional no topo (representando o bloco de coroamento) e a seção alimentada é circular com diâmetro de 40cm. A carga aplicada no topo foi a resultante total das forças horizontais (explicadas no tópico 4.2) dividida pelo número total de estacas.

6.2.3. Verificação da capacidade geotécnica das estacas

Adota-se, simplificadamente, que cada conjunto de 4 estacas é responsável por suportar os carregamentos solicitantes de 1 apoio e meio. Isso é adotado em virtude da preponderância do comprimento do bloco de fundação em relação às demais dimensões. Tomando como pressuposto que a transmissão dos

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

carregamentos para as estacas é realizada por um bloco rígido.

A verificação da segurança à carga vertical foi realizada comparando o carregamento solicitante de uma estaca com a capacidade axial da mesma, adotando o coeficiente de segurança equivalente à 3,0 (indicado pelos autores Cabral e Antunes para seu método de cálculo). Já a verificação da carga horizontal foi feita avaliando o deslocamento máximo obtido pelo modelo explicado no item 6.2.2, o que resultou em um valor menor que 1,5 cm, considerado seguro para uma fundação.

6.2.4. Verificação da capacidade estrutural das estacas

Partindo-se das solicitações no topo das estacas obtidos pelo modelo ftool descrito no item 6.2.2 e majorando esses esforços com $\gamma_f=1.4$ nas situações desfavoráveis, é possível calcular os momentos fletores e esforços cortantes nas estacas que, somados ao efeito do esforço normal, permitem a verificação das armaduras.

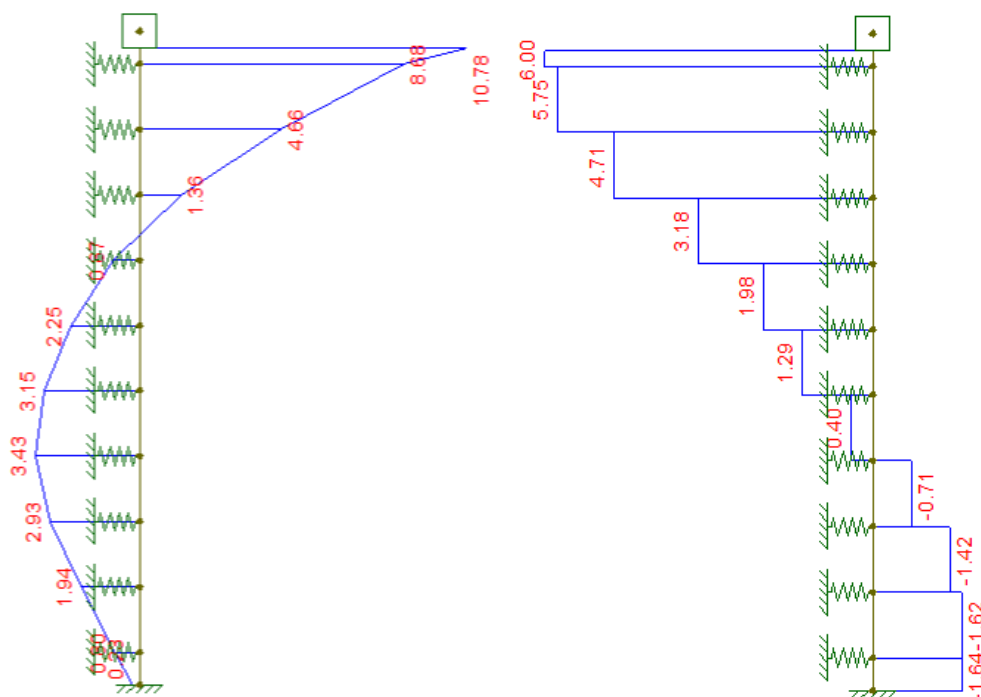


Figura 15 e 16 – Momentos fletores e esforços cortantes nas estacas da ponte sobre o Corrego Urutago respectivamente (KN.m e KN).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

No caso da flexo-compressão, verifica-se a segurança conforme as armaduras existentes em todas as combinações de esforços possíveis.

6.3. ARMADURAS DOS BLOCOS DE FUNDAÇÃO

A verificação das tensões no concreto e o cálculo das armaduras dos blocos de fundação são realizados por meio do método de bielas e tirantes.

7. VERIFICAÇÃO DAS CORTINAS

As cortinas dos encontros são engastadas nos blocos de fundação e servem como contenção dos aterros de aproximação.

Seu dimensionamento é realizado determinando a solicitação provocado pelo empuxo de terra (realizada de forma análoga ao item 4.2.4), cuja altura de terra equivale à altura da cortina acrescentado à espessura da laje. Dessa forma, determina-se os momentos fletores e esforços cortantes solicitantes e verifica-se a segurança conforme as armaduras adotadas.

8. VERIFICAÇÃO DAS LAJES DO TABULEIRO

8.1. ESFORÇOS INTERNOS SOLICITANTES

Os esforços nas lajes do tabuleiro são retirados do modelo de elementos finitos construído, onde as peças tiveram seu comportamento simulado por elementos de placa. As envoltórias de momentos fletores e esforço cortante para o ELU são retiradas do modelo.

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

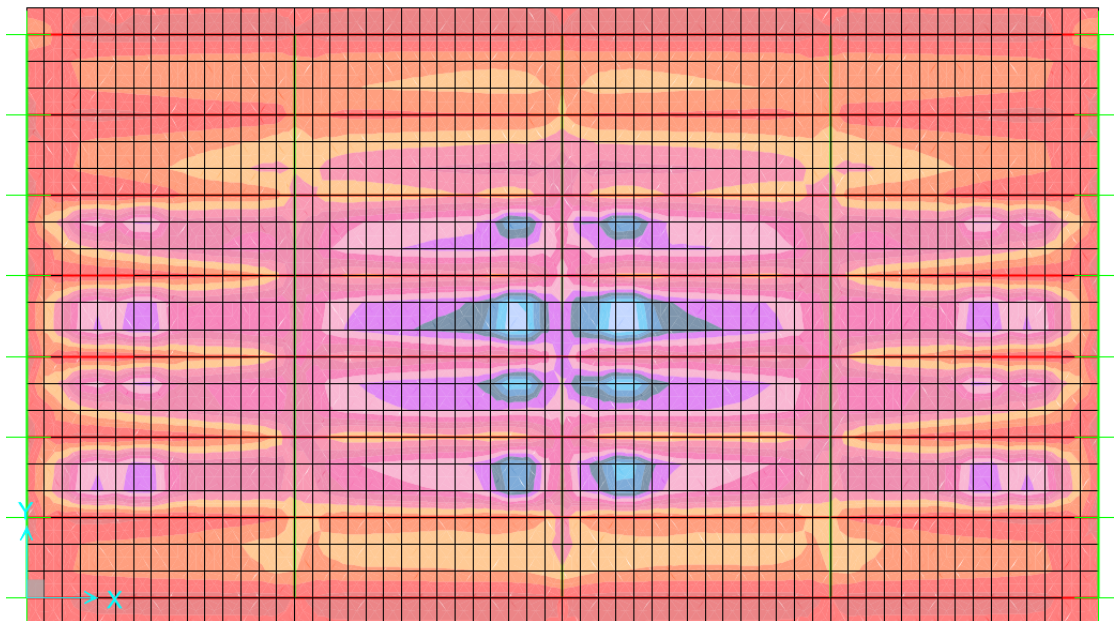


Figura 15 – Envoltória de momentos fletores positivos em torno do eixo x nas lajes da ponte (tf.m/m).

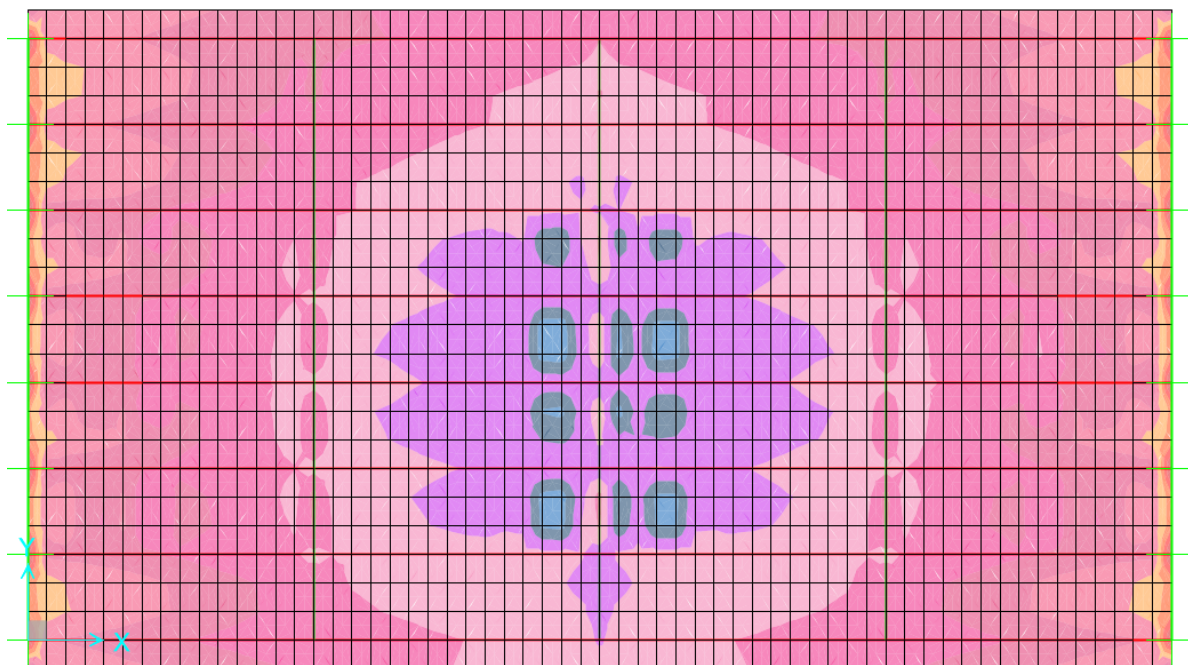


Figura 16 – Envoltória de momentos fletores positivos em torno do eixo y nas lajes da ponte (tf.m/m).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

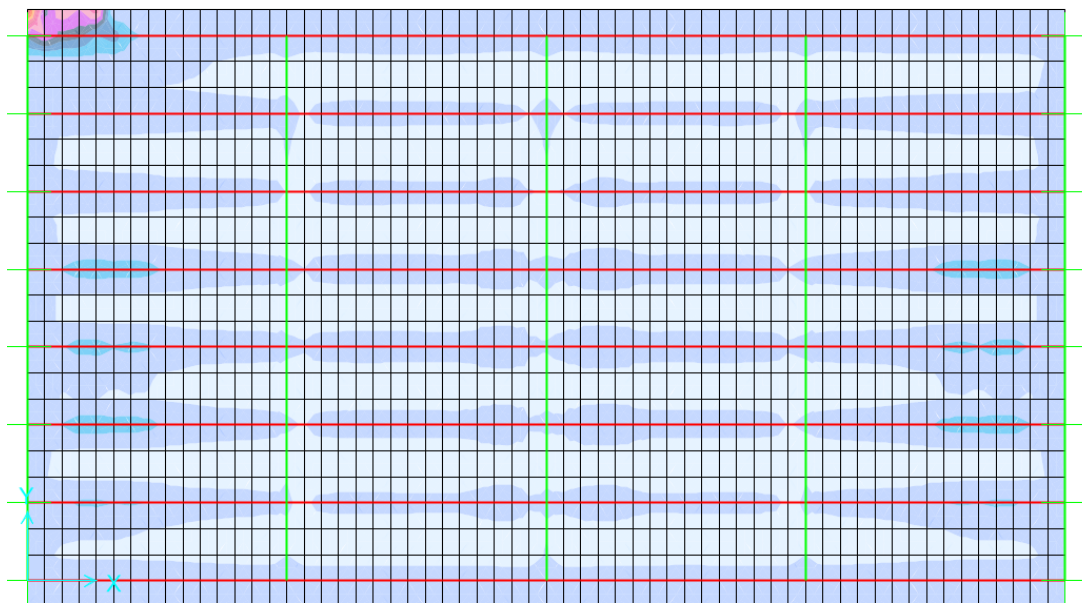


Figura 17 – Envoltória de momentos fletores negativos em torno do eixo x nas lajes da ponte (tf.m/m).

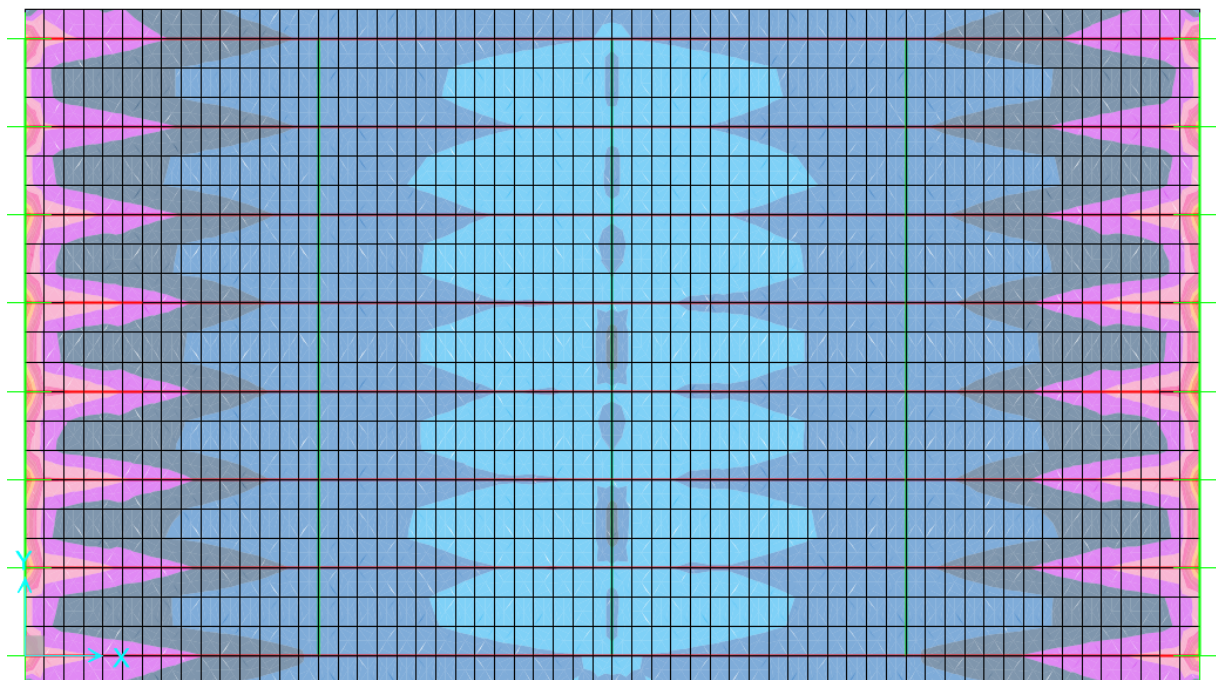


Figura 18 – Envoltória de momentos fletores negativos em torno do eixo y nas lajes da ponte (tf.m/m).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

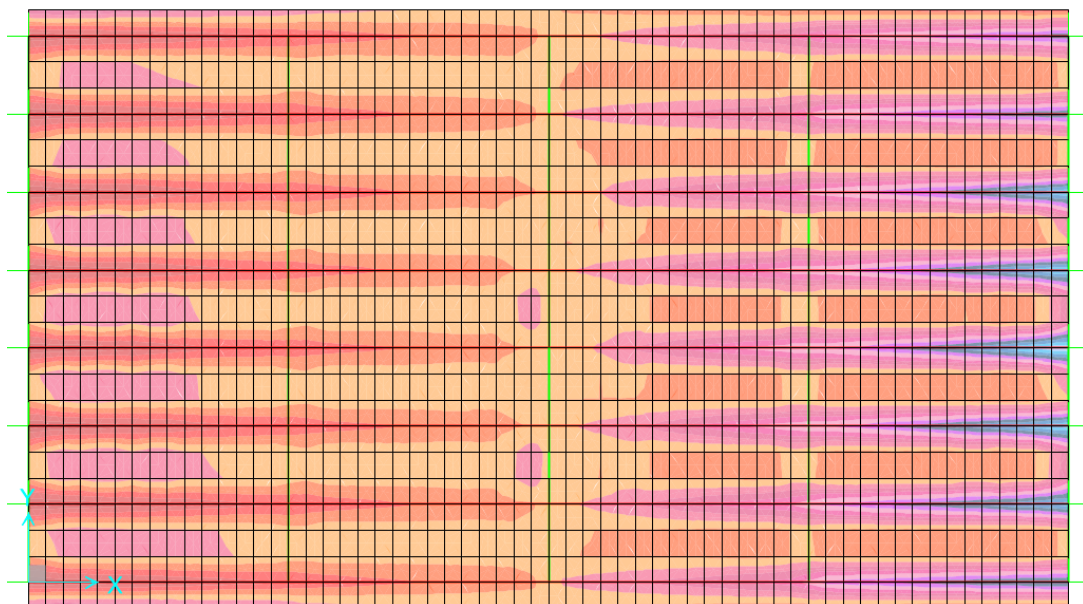


Figura 19 – Envoltória de esforços cortantes máximos na direção z atuando na face cuja normal é o eixo x (tf/m).

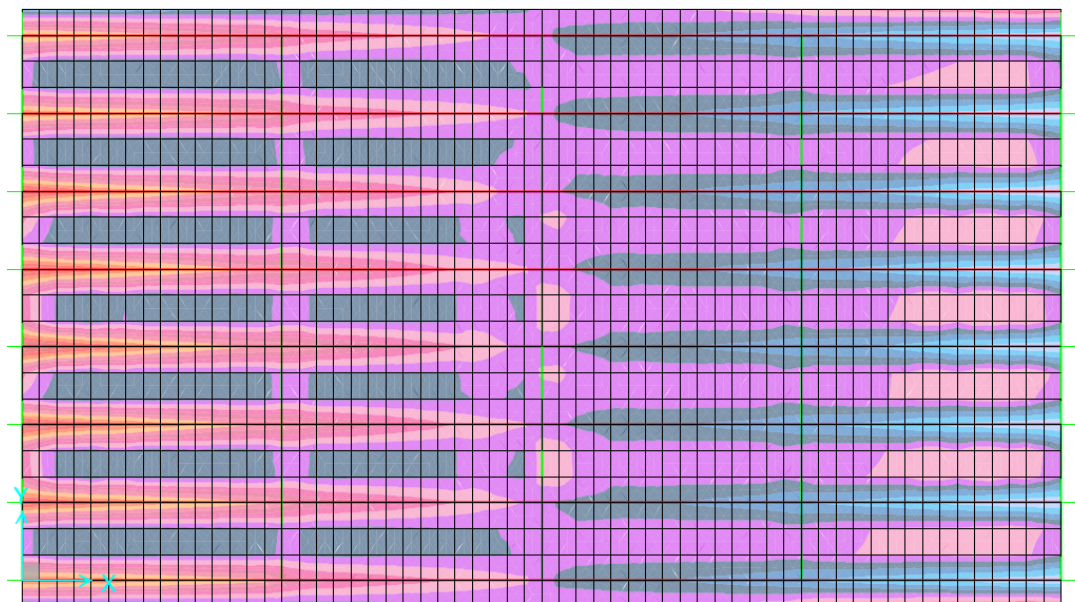


Figura 20 - Envoltória de esforços cortantes mínimos na direção z atuando na face cuja normal é o eixo x (tf/m).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

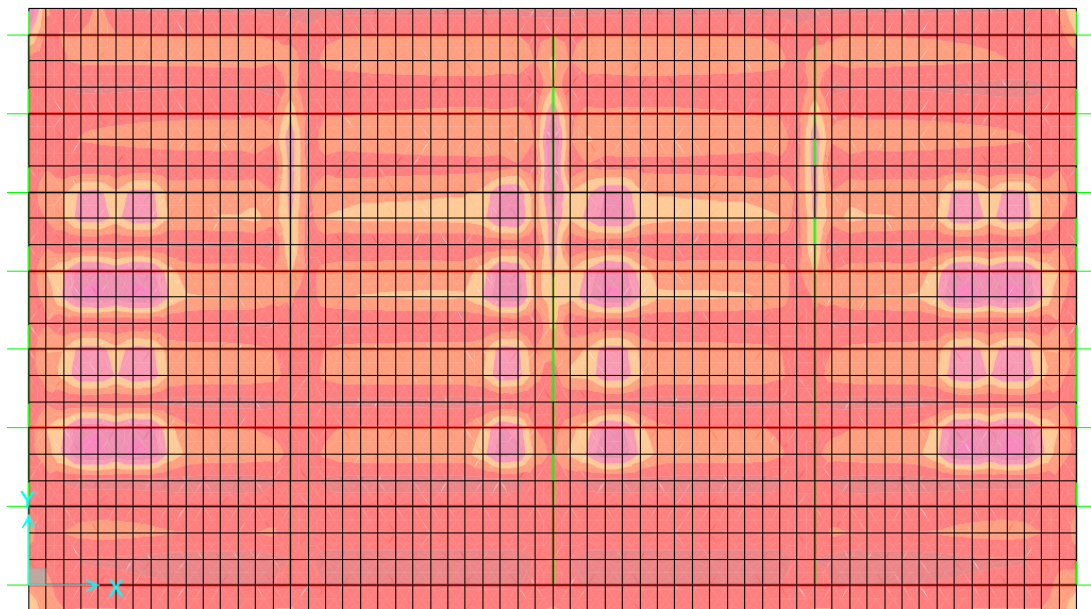


Figura 21 - Envoltória de esforços cortantes máximos na direção z atuando na face cuja normal é o eixo y (tf/m).

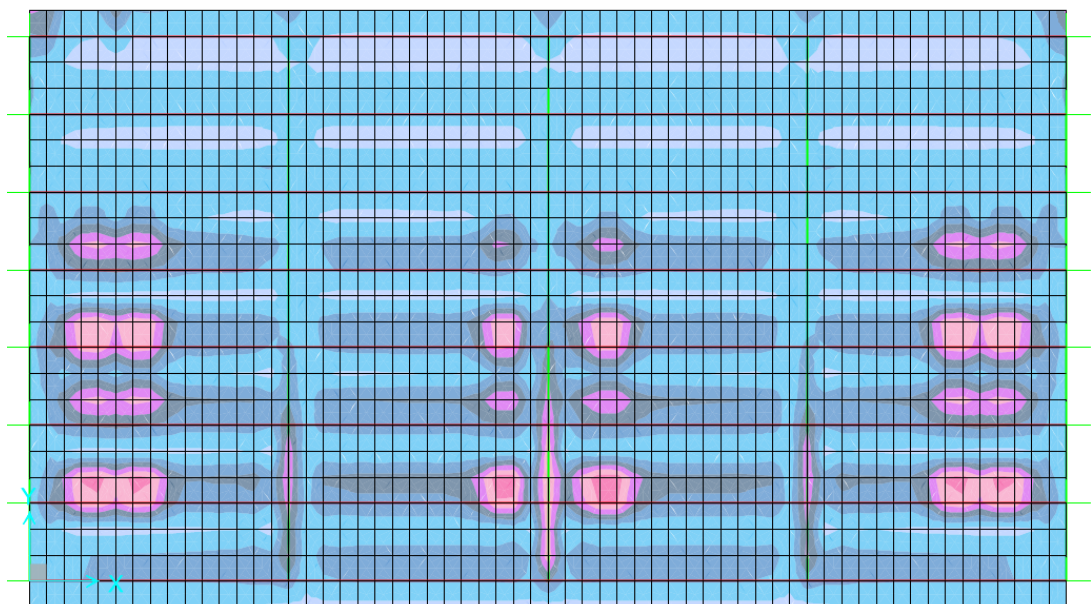


Figura 22 - Envoltória de esforços cortantes mínimos na direção z atuando na face cuja normal é o eixo y (tf/m).

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

9. VERIFICAÇÃO DAS TRANSVERSINAS

9.1. TRANSVERSINAS CENTRAIS

Os esforços nas transversinas centrais são retirados do modelo de elementos finitos, sendo retiradas a envoltória de momentos fletores e a de esforços cortantes.

9.2. TRANSVERSINAS DOS APOIOS

A situação mais crítica para as transversinas dos apoios é o momento do macaqueamento da ponte para a substituição dos aparelhos de apoio, onde toda a reação permanente das longarinas fica suspensa e é transmitida aos macacos hidráulicos. Essa situação foi modelada no software ftool, devidamente alimentado com as propriedades geométricas e do material das transversinas conforme projeto. A partir das solicitações de momento fletor e esforços cortantes, verifica-se a segurança conforme as armaduras adotadas.

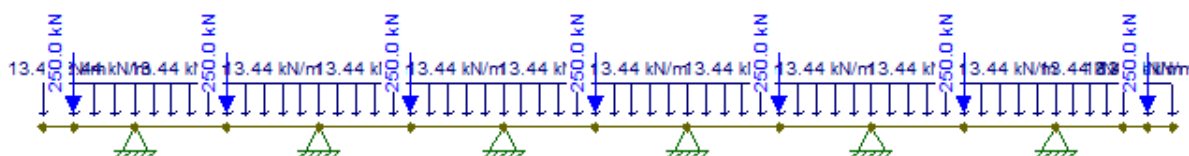


Figura 25 – Modelo ftool das transversinas dos apoios em situação de macaqueamento

10. APARELHOS DE APOIO

Tendo em vista as reações de apoio previamente calculadas no modelo de elementos finitos, os aparelhos de apoio são verificados com o auxílio do software SCAPE, conforme a figura abaixo.

PONTES SOBRE CORREGO URUTAGO – RUA BOLÍVIA
MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES

SCAPE v1.0

Arquivo Editar Resultados Ajuda

< > Tabelas

APARELHO DE APOIO RETANGULAR FRETADO

Dados de entrada

$Fz\ d, \text{ máx} = 60.59\ \text{tf}$ $Fz\ d, \text{ mín} = 19.46\ \text{tf}$ $Fz\ k = 41.66\ \text{tf}$
 $\alpha_{x,d} = 0.007769\ \text{rad}$ $Fx\ d = 6\ \text{tf}$ $Vx\ d = 2.29\ \text{cm}$
 $\alpha_{y,d} = 0.0\ \text{rad}$ $Fy\ d = 3\ \text{tf}$ $Vy\ d = 1.14\ \text{cm}$

Resultados:

Tipo de verificação	Resultado	Limite	Situação
Máxima deformação total de cálculo:	4.50	≤ 7.0	OK
Verificação da espessura das chapas de aço:	3.0	$\geq 1.0\ \text{mm}$	OK
Estabilidade à rotação:	2.08	≥ 0	OK
Estabilidade à flambagem:	10.15	≤ 39.8	OK
Estabilidade ao deslizamento:	-	-	OK

Aparelho nº 23

$a = 200\ \text{mm}$
 $b = 350\ \text{mm}$
 $n = 4\ \text{camadas}$
 $t_i = 8\ \text{mm}$
 $t_s = 3\ \text{mm}$
 $t_b = 47\ \text{mm}$

Figura 26 – Verificação dos aparelhos de apoio.



Diego Felipe Capraro
Engenheiro Civil – CREA 142.746 D PR