

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS
DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM
DO ESTADO DE MINAS GERAIS

PROJETO DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA DE OBRA DE
ARTE ESPECIAL

RODOVIA : MG-173
TRECHO : Cachoeira de Minas – Paraisópolis
Travessia Urbana de Conceição dos Ouros
Ponte sobre o rio Sapucaí Mirim
km : 20,25

ANEXO 3C – PARTE A
MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Junho/2020



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS
DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM
DO ESTADO DE MINAS GERAIS

PROJETO DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA DE OBRA DE
ARTE ESPECIAL

RODOVIA : MG-173
TRECHO : Cachoeira de Minas – Paraisópolis
Travessia urbana de Conceição dos Ouros
Ponte sobre o rio Sapucaí Mirim
km : 20,25

ANEXO 3C – PARTE C
MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL

FISCALIZAÇÃO: DIRETORIA DE PROJETOS
ELABORAÇÃO: EPC ENGENHARIA PROJETO CONSULTORIA S.A.
CONTRATO: PRC-24.007/18

SUMÁRIO

1.0 OBJETIVO.....	4
2.0 METODOLOGIA.....	4
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	4
2.2 PARÂMETROS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	4
2.3 NORMAS E BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	5
2.4 CARREGAMENTOS	5
3.0 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	8
3.1 MODELO ESTRUTURAL.....	8
3.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	9
3.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS.....	10
3.4 CARREGAMENTOS APLICADOS	12
3.5 RESULTADOS	17
3.6 ENVOLTÓRIA ESF. NOMINAIS – LONGARINAS – CARGAS MÓVEIS	19
4.0 COMBINAÇÕES ELU	21
5.0 DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS PRINCIPAIS.....	22
5.1 ARMADURAS DE FLEXÃO	22
5.2 ARMADURAS DAS LAJES	27
6.0 RESUMO DE ARMADURAS.....	30
7.0 ANEXOS.....	31

1.0 OBJETIVO

Este documento tem a finalidade de apresentar estimativas do dimensionamento estrutural da Ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim (Conceição dos Ouros) – Trecho Cachoeira de Minas – Paraisópolis. Com a indisponibilidade do projeto executado, este memorial procura encontrar, por meio de normas e materiais comumente utilizados à época, as quantidades aproximadas de armaduras existentes nos elementos estruturais.

Estas armaduras estimadas irão compor o resultado do reforço estrutural requerido para a ponte, que visa readequar a largura de tráfego e capacidade de carga ao TB45, conforme exigências das normas brasileiras atualmente vigentes.

2.0 METODOLOGIA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com objetivo de encontrar os esforços solicitantes correspondentes a estrutura existente, o tabuleiro foi modelado com o uso do software SAP2000, baseado no método dos elementos finitos. A ponte foi modelada com as dimensões dos elementos estruturais encontrados em plantas e cortes do cadastramento disponíveis em formato dwg. Ainda que a discretização tenha sido feita pelo método dos elementos finitos, raramente difundido quando a ponte foi construída, procurou-se simular, com materiais e carregamentos das normas vigentes à época, condições similares com as que podem ter sido nela utilizadas.

Entende-se, ainda, que a metodologia aplicada pode resultar em esforços mais realísticos e menores em ordem de grandeza, o que deixaria o reforço a favor da segurança – Assumidas condições de bom estado de conservação da estrutura existente.

Finalmente, a “Parte A” deste memorial, estima apenas os esforços e armaduras presentes na superestrutura (lajes e Longarinas), visto que, os pilares serão reforçados se exigirem armadura maior que a mínima, enquanto que a fundação composta por tubulões é tida como capaz de suportar o acréscimo de cargas exigidos pelas novas normas.

2.2 PARÂMETROS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

- Concreto estrutural dos tubulões, Pilares, Pilares-parede, Longarinas, lajes e transversinas, C 15;
- Módulo de elasticidade secante do concreto C 15: $E = 21.000 \text{ MPa}$;
- Peso específico do concreto armado: $\gamma_{\text{concreto}} = 25 \text{ kN/m}^3$;
- Peso específico do Revestimento: $\gamma_{\text{revestimento}} = 24 \text{ kN/m}^3$;
- Aço estrutural = CA-50 (Estimar-se-á área equivalente, ainda que tenha sido utilizado CA-24);
- Tensão característica de escoamento do aço CA-50: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$;
- Tensão característica de escoamento do aço CA-60: $f_{yk} = 600 \text{ MPa}$;

2.3 NORMAS E BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

Dado que a ponte é de pequeno porte e da década de 80, as estimativas foram realizadas com as normas ABNT/Regulamentares vigentes de 1960 a 1979, a saber:

Normas ABNT:

- NB - 1 – Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado
- NB - 2 – Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado
- NB - 3 – Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias

Bibliografia:

Pontes em Concreto Armado – Walter Pfeil - 1979

2.4 CARREGAMENTOS

2.4.1 PESO PRÓPRIO

O Peso Próprio da superestrutura foi aplicado diretamente pelo programa, com as densidades de materiais conforme já supra especificados.

Nome do carregamento:

- DEAD

2.4.2 CARGAS PERMANENTES

As cargas permanentes foram aplicadas em “Frames” (vigas) e “Shells” (lajes) do modelo gerado, com as densidades dos materiais, sendo para revestimento o valor de 24kN/m³.

Nome dos carregamentos:

- PERM – Revestimento Asfáltico sobre a Laje
- GR – Guarda Rodas / Guarda corpo de Concreto – Padrão DNIT 12/15cm (Espessura)

2.4.3 CARGAS MÓVEIS

A carga móvel aplicada é correspondente ao TB24 – NB6 - 1960 que vigorou até 1979. A carga corresponde a um carregamento de 24 tf dividido em 6 rodas que ocupa uma área de 18 m² e com carga de multidão a frente e atrás do trem tipo de 0,40 tf/m². No restante da ponte foi distribuído 0,30tf/m², correspondente ao tráfego de pedestres, sendo este último, não majorado por impacto. Em razão da ponte ser um hiperestático de 3 vãos, a carga de multidão e de pedestres foram aplicadas em cada vão isoladamente, para que, com o TB24 pudessem ser geradas combinações de esforços máximos e mínimos em cada vão.

Posteriormente, uma única envoltória, com todas as combinações, apresentou os momentos máximos e mínimos ao longo das longarinas.

- TB24 + SCM1 (+SCPED1)
- TB24 + SCM2 (+SCPED2)
- TB24 + SCM3 (+SCPED3)
- TB24 + SCM1+SCM3 (SCPED1&3)
- TB24 + SCMTOTAIS+SCPEDTOTAIS
- ENVOLTORIA – TB24+SCM (+SCPED)

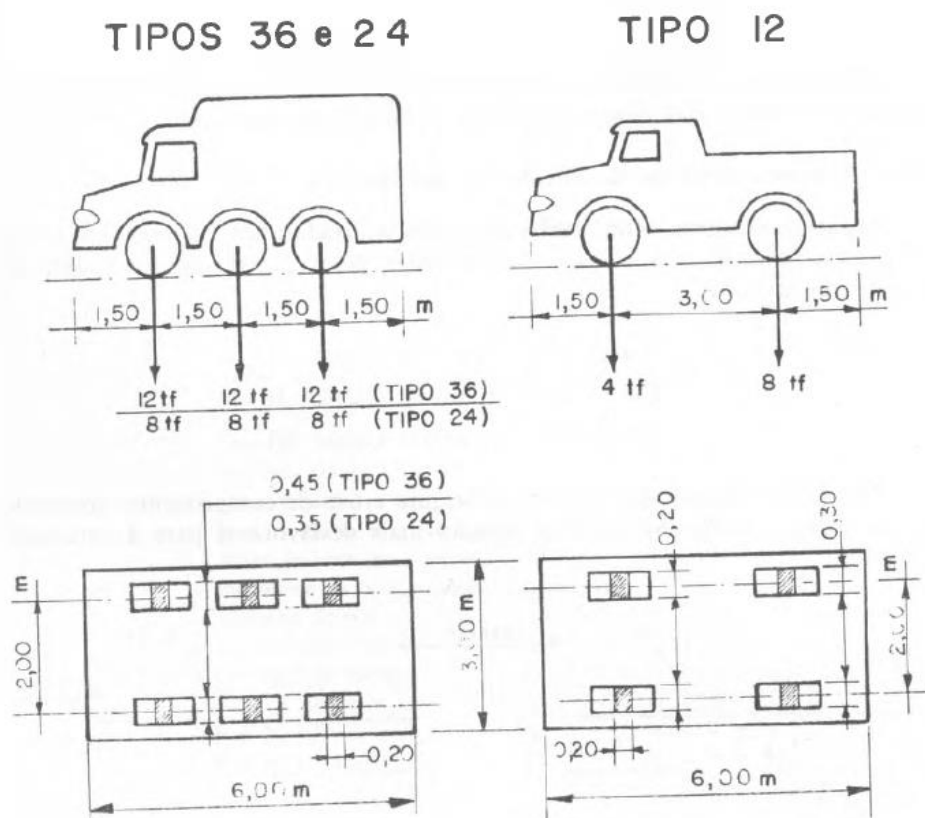


Figura 2.1 – Disposição das Rodas dos Veículos – NB6

Classe 36 — rodovias Classe I

Classe 24 — rodovias Classe II

Classe 12 — rodovias Classe III

Os veículos de cálculo tem 3 m de largura e 6 m de comprimento, adotando-se um único veículo colocado na posição mais desfavorável para a solicitação estudada.

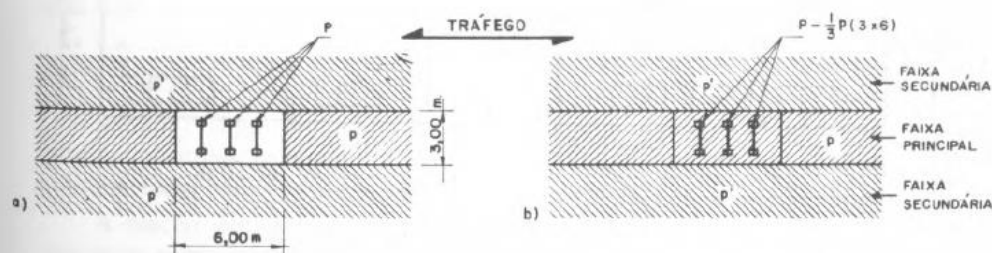


Fig. 3.3.1 Cargas rodoviárias de cálculo. Distribuição sobre o tabuleiro.

- a) Posição das cargas de cálculo, mostrando o veículo e a carga p ocupando a faixa principal de tráfego, com as cargas p' ocupando as faixas secundárias.
- b) Simplificação da carga de cálculo, supondo a carga p contínua e o veículo com peso reduzido.
- P = carga por eixo do veículo.

Figura 2.2 – Distribuição das Cargas no tabuleiro – NB6

O fator de impacto foi calculado com a média aritmética dos vãos, já que, o menor deles é maior que 70% do maior vão:

$$\varphi = 1,40 - 0,007\ell$$

$$\varphi = 1,30$$

3.0 ANÁLISE ESTRUTURAL

3.1 MODELO ESTRUTURAL

Com base nas dimensões apresentadas no cadastramento o modelo foi idealizado no SAP2000 conforme figura a seguir. O tabuleiro é constituído de 3 vãos hiperestáticos, sendo o central com 16 metros e os dois laterais com 13 metros (Vão teórico lançado aos extremos de 12,50 m). As transversinas foram rotuladas em suas extremidades.



Figura 3.1 – Vista Tridimensional do Modelo Lançado

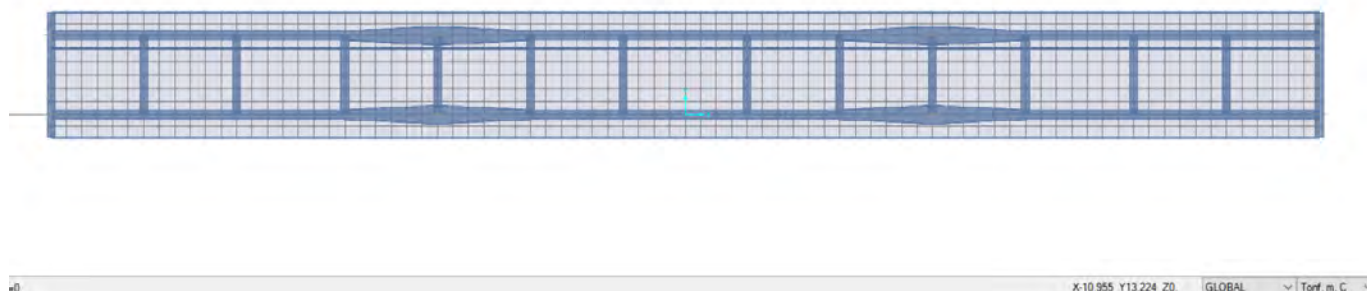
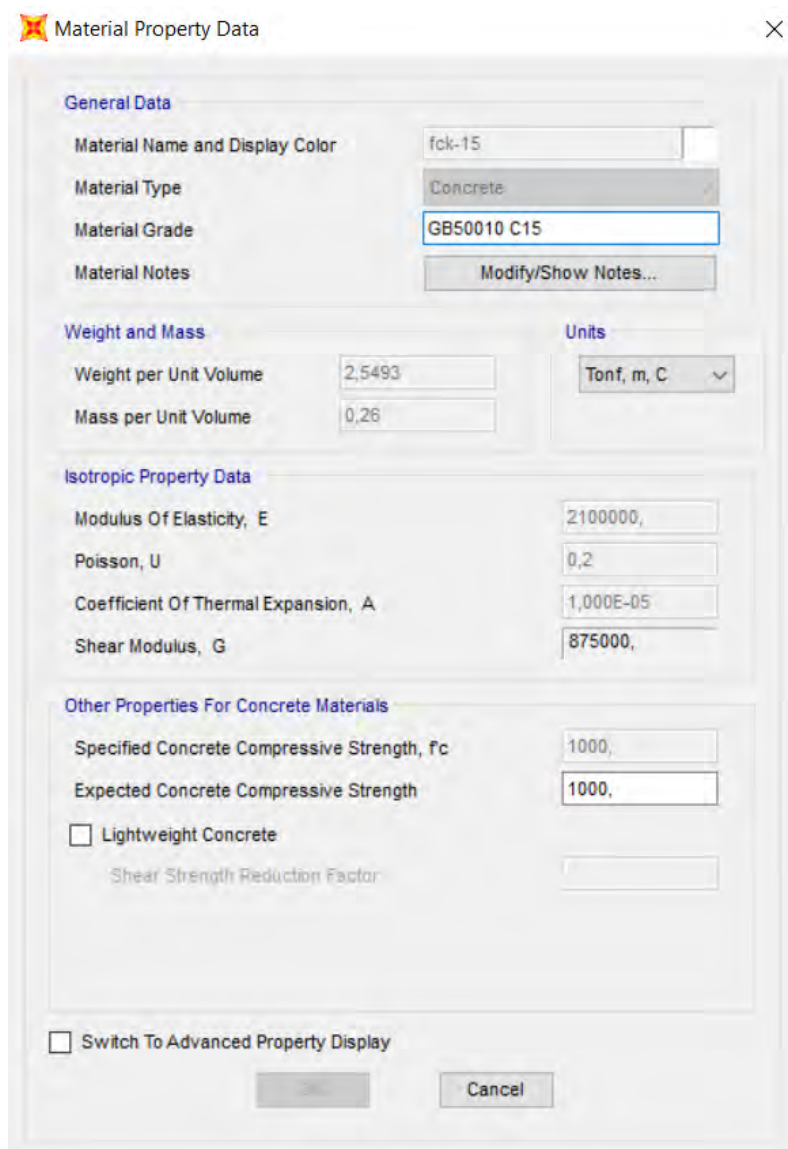


Figura 3.2 – Vista em Planta do Tabuleiro

3.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Concreto Utilizado: 15 MPa

Ainda que seja comum algumas bibliografias utilizarem concreto de f_{ck} 22 MPa, optou-se pelo de 15 MPa devido a localização e tipo da ponte. Entende-se, ainda, que o f_{ck} do concreto não contribui substancialmente para obtenção da armadura de flexão, devido a contribuição das mesas de compressão para o cálculo no estádio II.



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: fck-15

Material Type: Concrete

Material Grade: GB50010 C15

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,5493

Mass per Unit Volume: 0,26

Units

Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 2100000,

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,000E-05

Shear Modulus, G: 875000,

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 1000,

Expected Concrete Compressive Strength: 1000,

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Figura 3.3 – Propriedades do Concreto

3.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

3.3.1.1 Viga Sobre Apoios

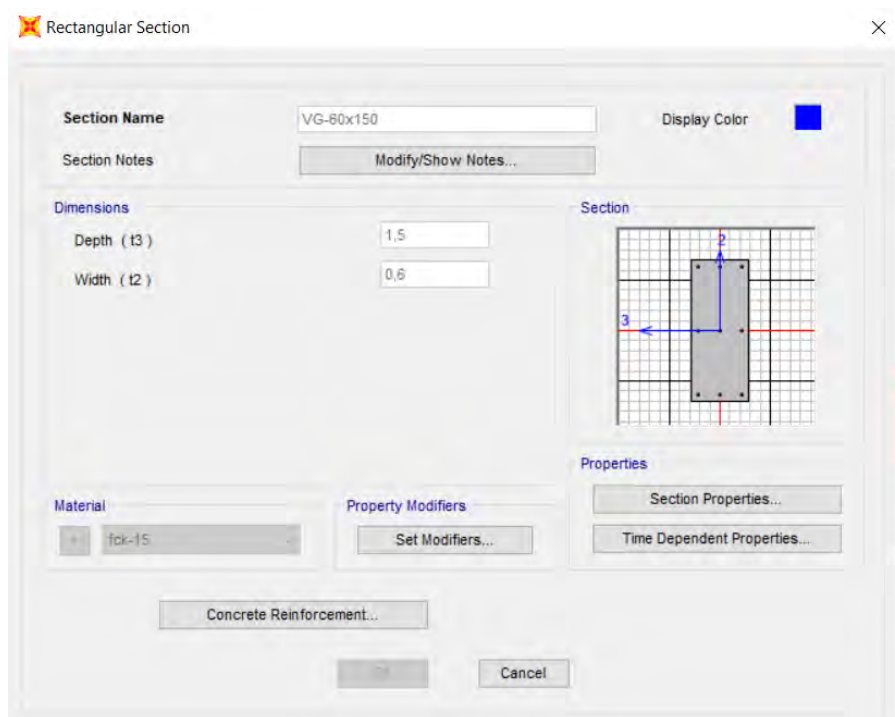


Figura 3.4 – Viga Longarina Sobre Apoios

3.3.1.1 Viga Meio do Vão – Corrigida com a contribuição da Mesa de Concreto

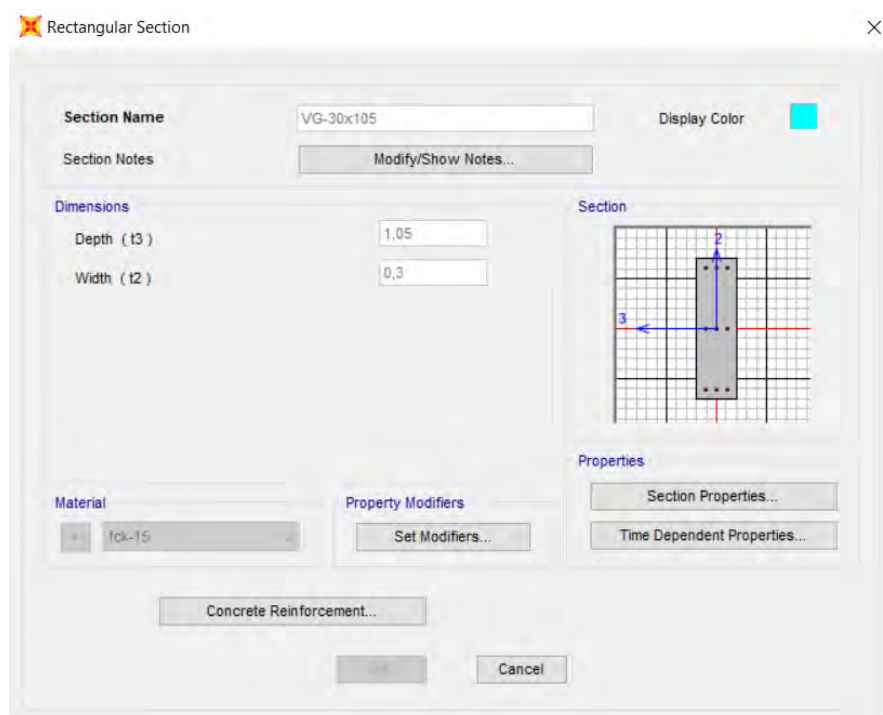
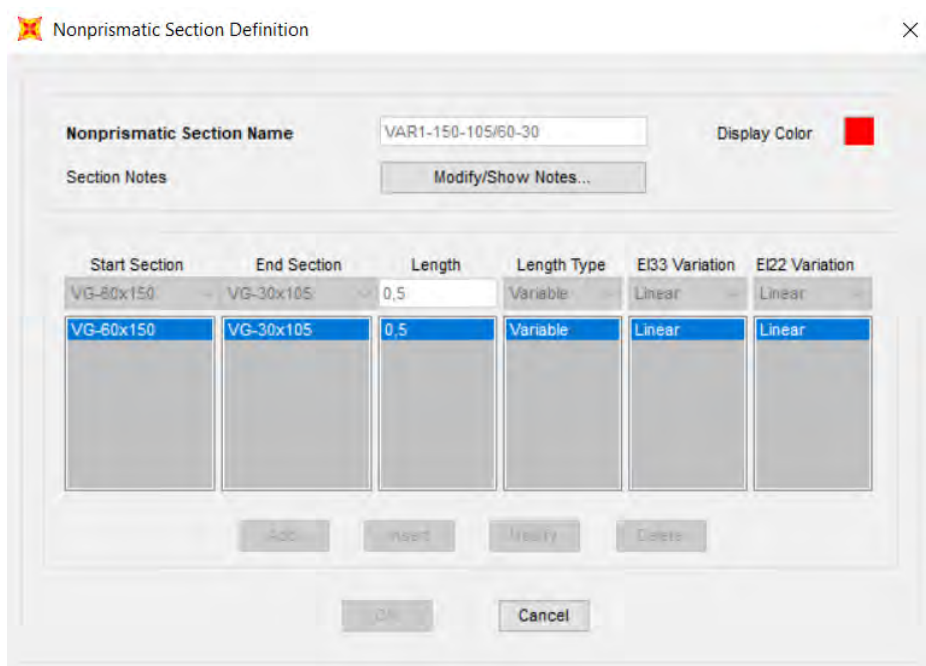


Figura 3.5 – Viga Longarina Central

3.3.1.1 Propriedade de Variação das Longarinas



Nonprismatic Section Definition

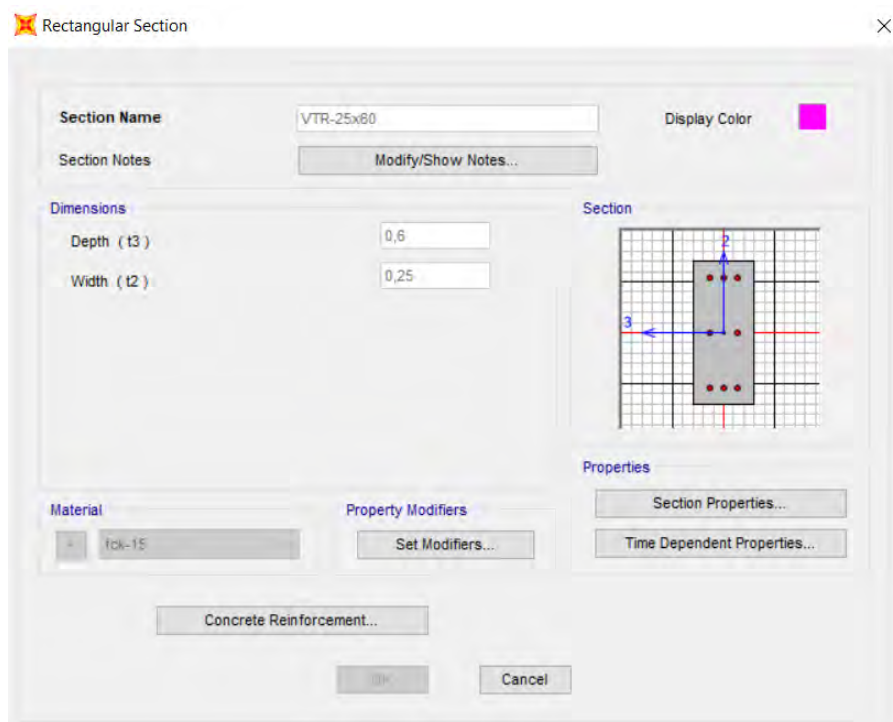
Nonprismatic Section Name: VAR1-150-105/60-30 Display Color: ■

Section Notes:

Start Section	End Section	Length	Length Type	EI33 Variation	EI22 Variation
VG-80x150	VG-30x105	0,5	Variable	Linear	Linear
VG-60x150	VG-30x105	0,5	Variable	Linear	Linear

Figura 3.6 – Viga Longarina Variável

3.3.1.2 Transversinas



Rectangular Section

Section Name: VTR-25x80 Display Color: ■

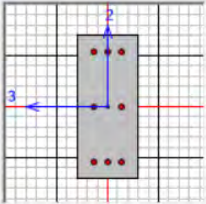
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3): 0,6

Width (t2): 0,25

Section



Material

Property Modifiers

Properties

Figura 3.7 – Transversinas

3.3.1.1 Laje do Tabuleiro

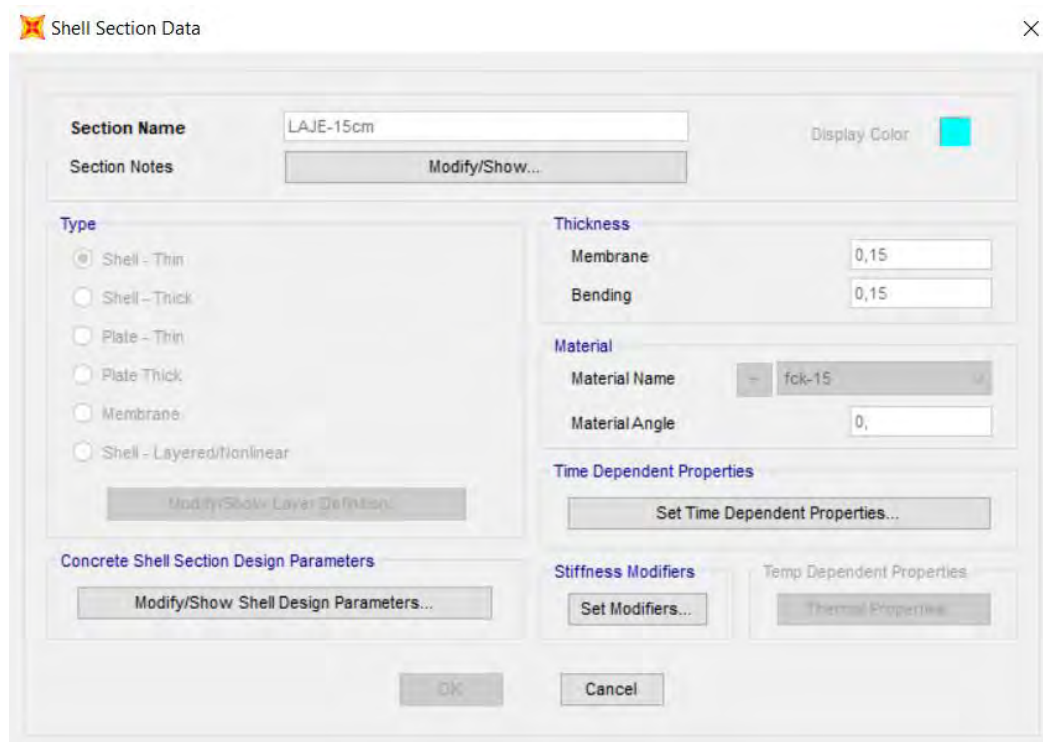


Figura 3.8 – Laje do Tabuleiro

3.4 CARREGAMENTOS APLICADOS

3.4.1.1 Permanentes

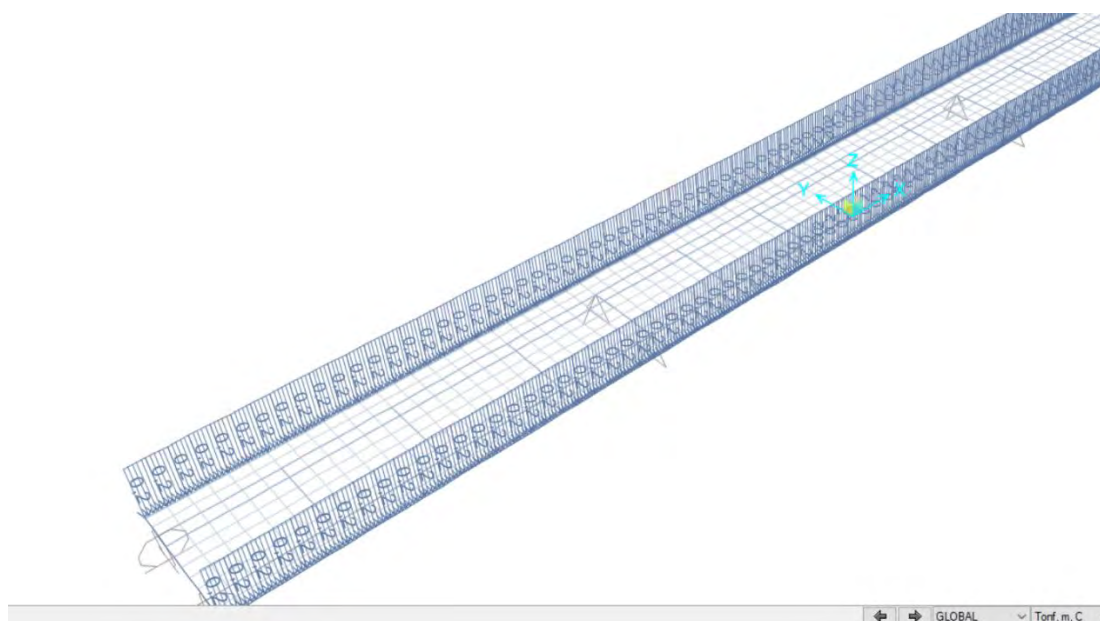


Figura 3.9 – Carregamento do Guarda Rodas / Corpo

Assumido como 100 kg do guarda corpo + 100kg do enchimento lateral.

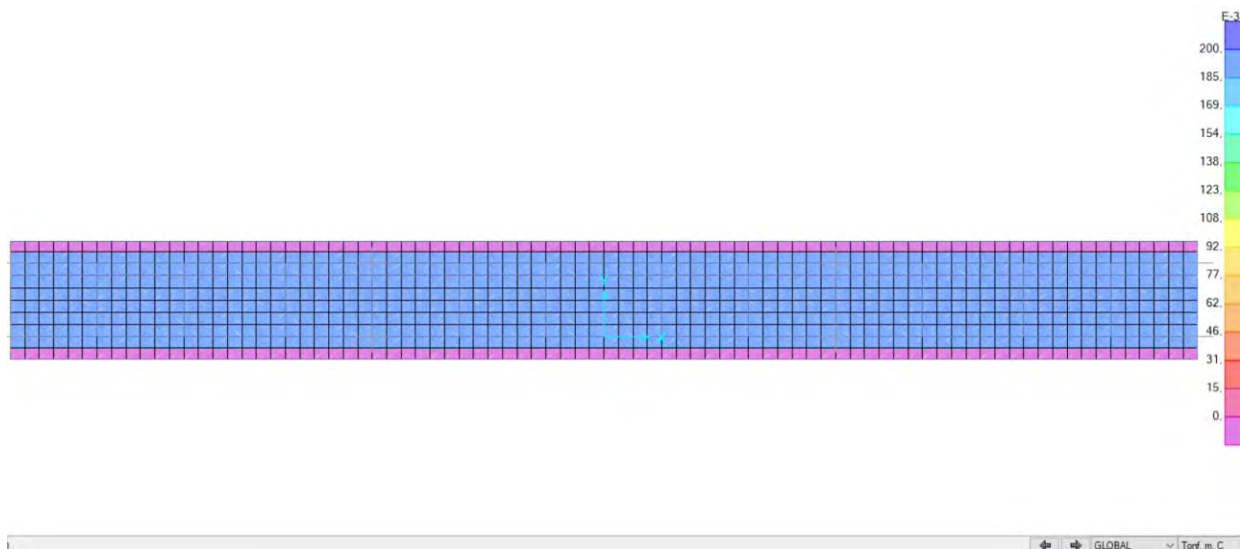
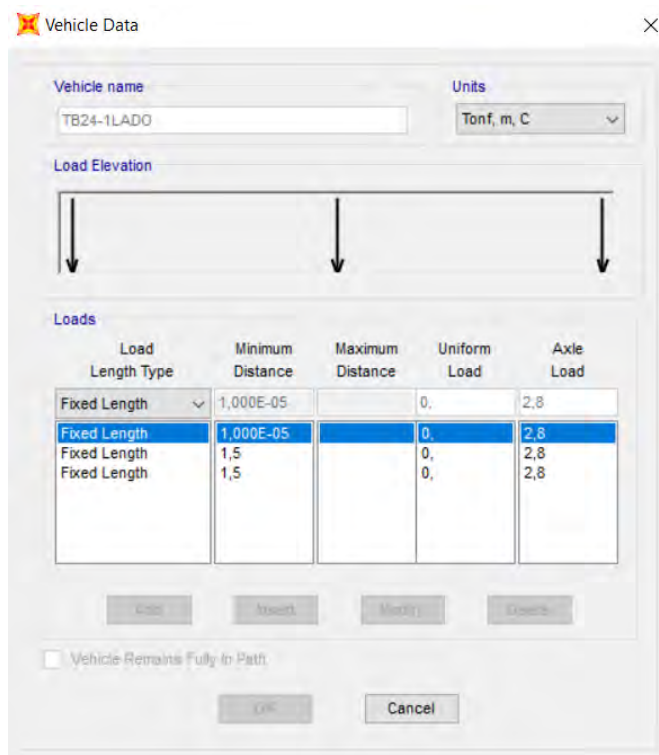


Figura 3.10 – Cargas Devido ao Pavimento

Assumido como 10 centímetros de espessura, conforme cadastramento e norma de carregamentos de pontes (0,20tf/m²).

3.4.1.2 Carregamento Móvel



Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	1,000E-05		0,	2,8
Fixed Length	1,000E-05		0,	2,8
Fixed Length	1,5		0,	2,8
Fixed Length	1,5		0,	2,8

Figura 3.11 – Lançamento do Trem Tipo

A título de simplificação foi descontado das cargas concentradas o equivalente a carga distribuída de multidão na área de 18 m² ocupada pelo veículo.



Figura 3.12 – Lançamento das Lanes / Path

O Trem tipo foi considerado passando o mais próximo a calçada, como medida preventiva para estimativa de armaduras.

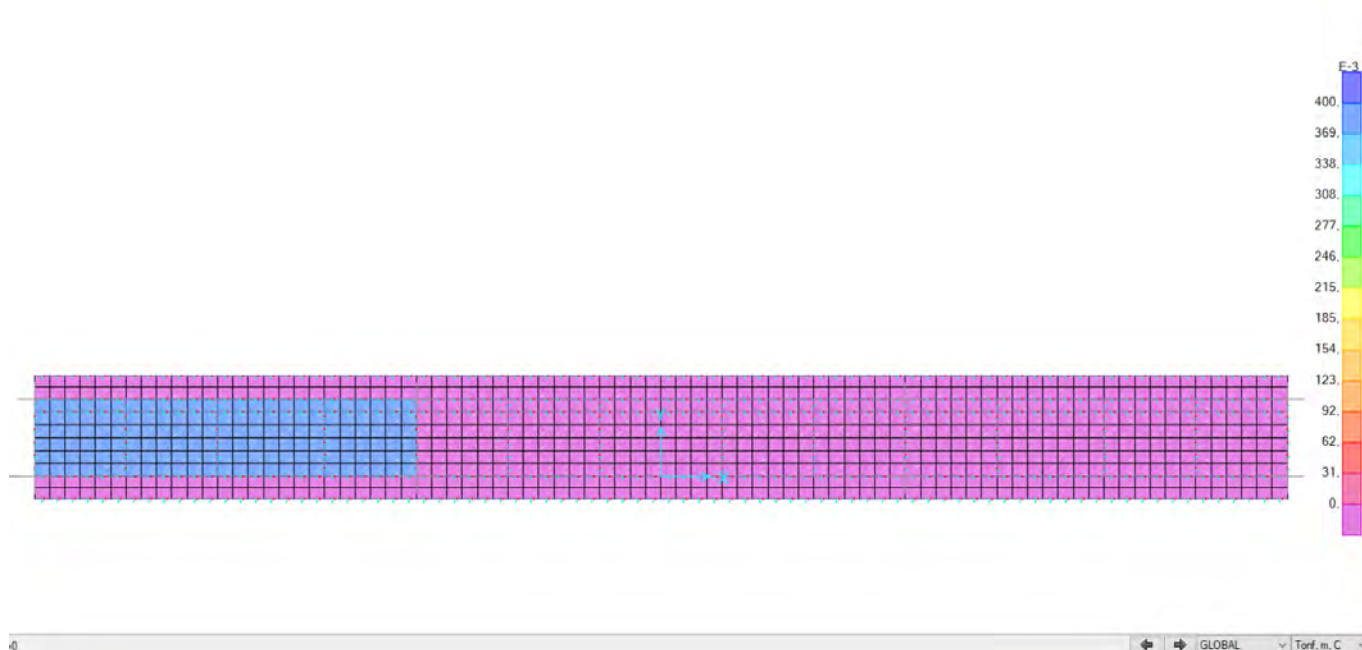


Figura 3.13 – Sobrecarga de Multidão – Vão 1

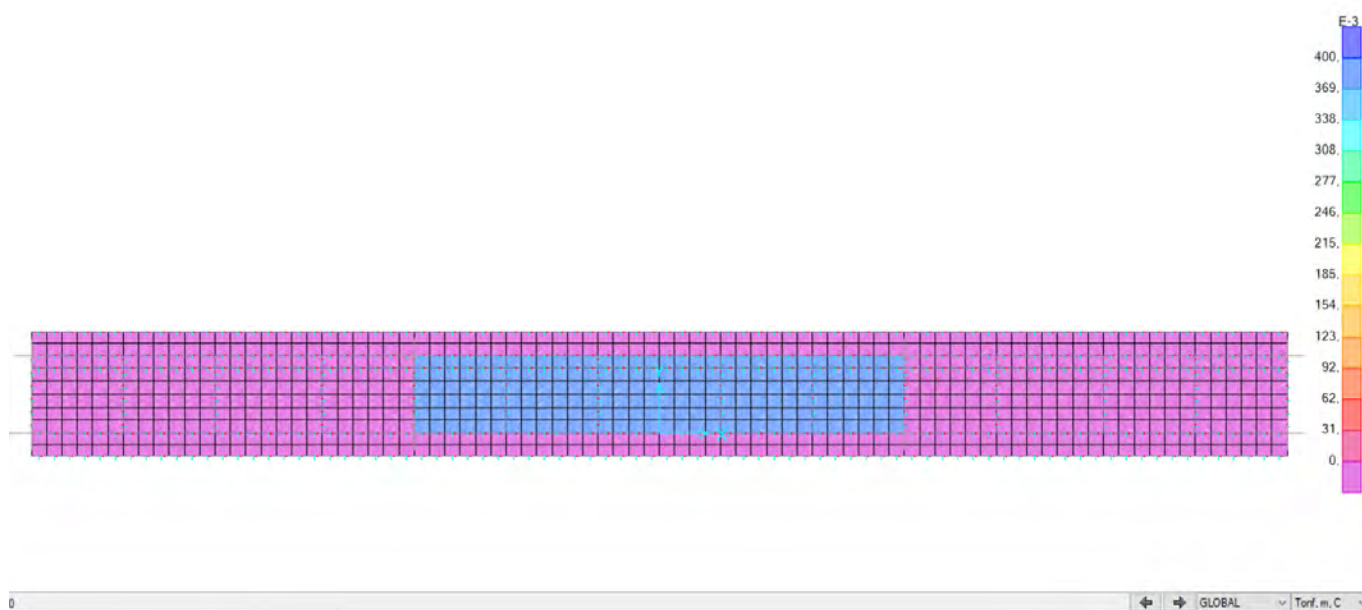


Figura 3.14 – Sobrecarga de Multidão – Vão 2

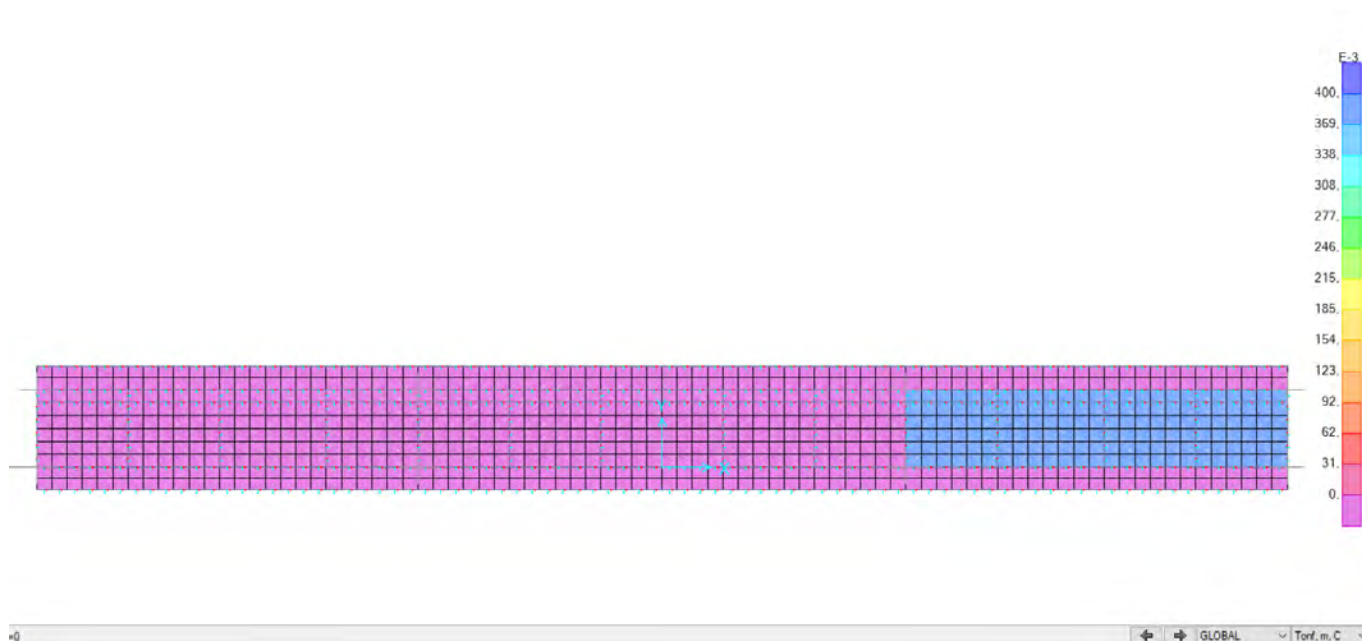


Figura 3.15 – Sobrecarga de Multidão – Vão 3



Figura 3.16 – Sobrecarga de Pedestre – Vão 1

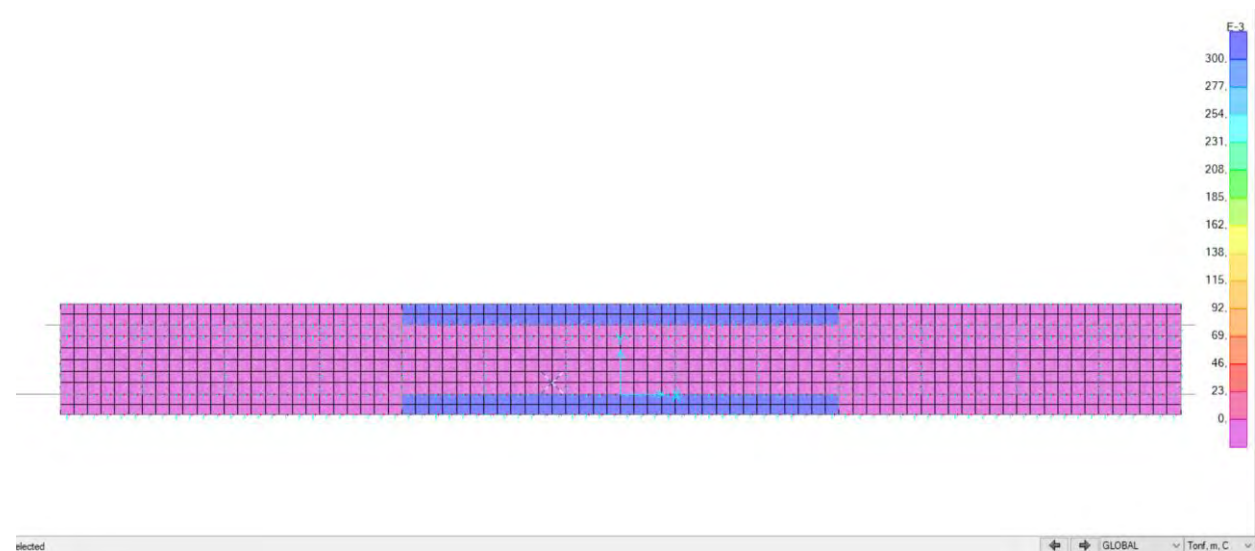


Figura 3.17 – Sobrecarga de Pedestre – Vão 2

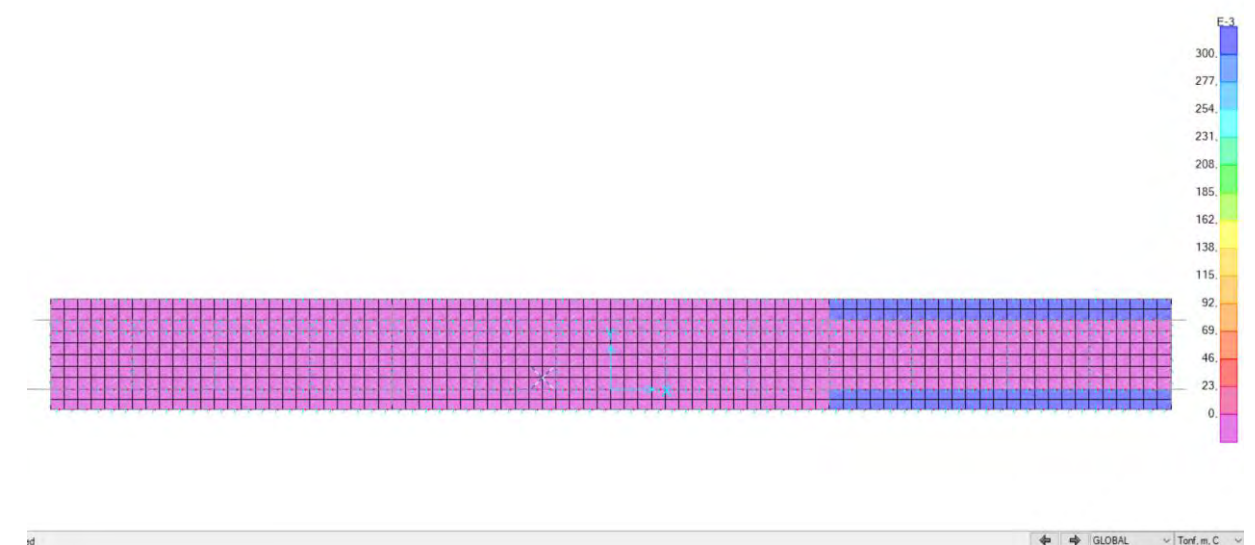


Figura 3.18 – Sobrecarga de Pedestre – Vão 3

3.5 RESULTADOS

3.5.1.1 Longarinas Esforços Nominais – Peso Próprio + Cargas Permanentes

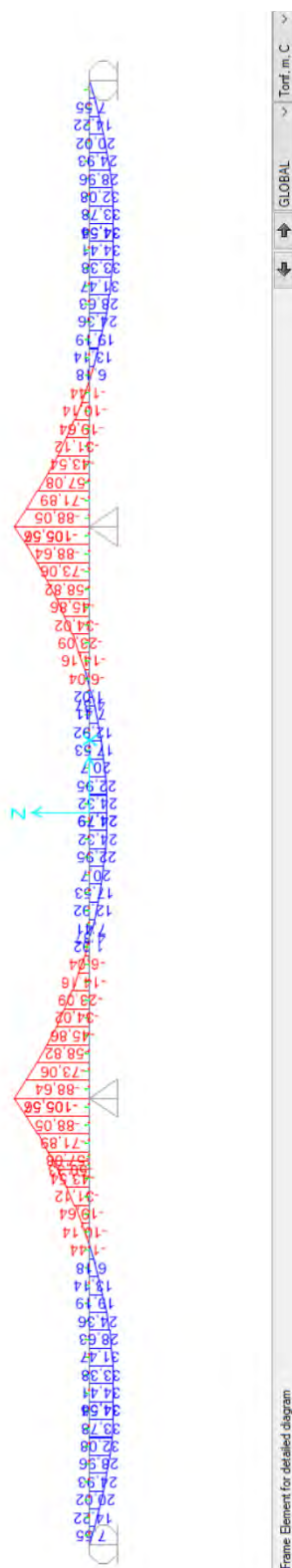


Figura 3.19 – Diagrama de Momento Fletor

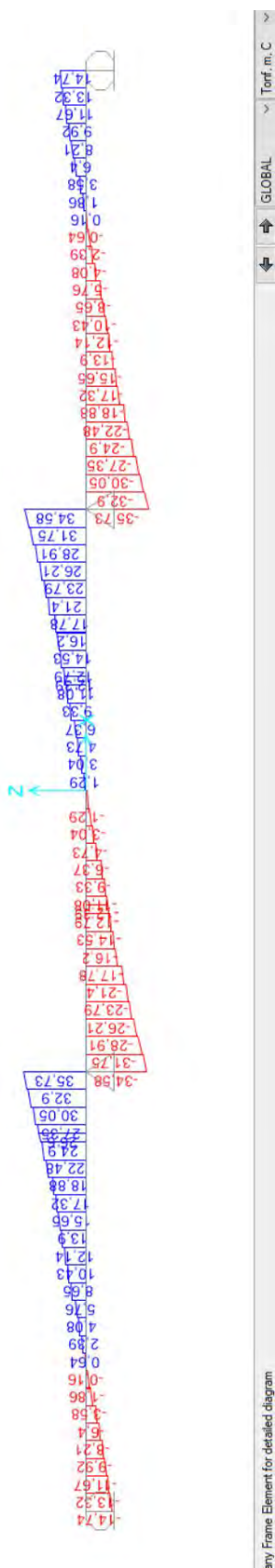


Figura 3.20 – Diagrama de Esforço Cortante

3.6 ENVOLTÓRIA ESF. NOMINAIS – LONGARINAS – CARGAS MÓVEIS

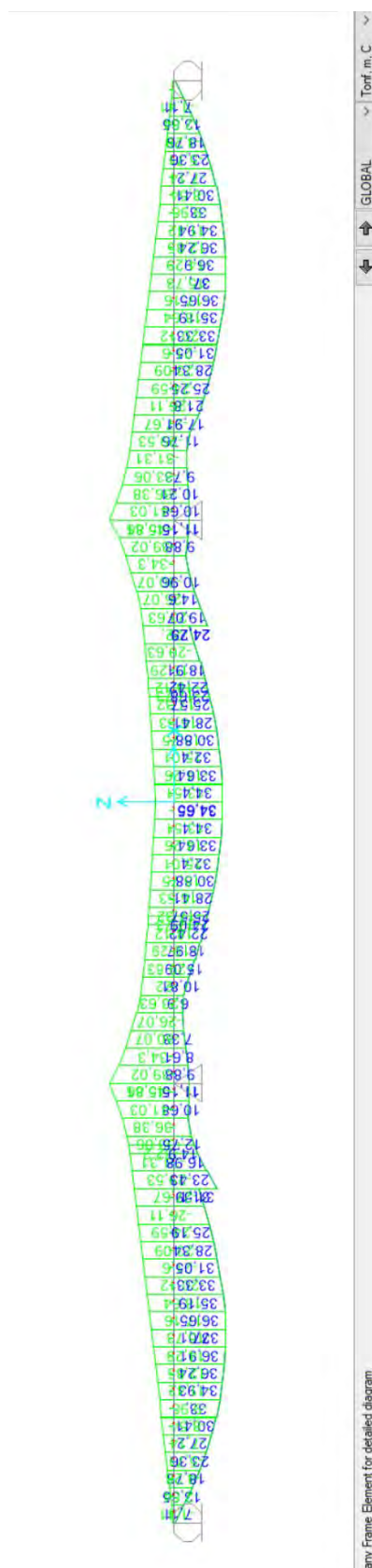
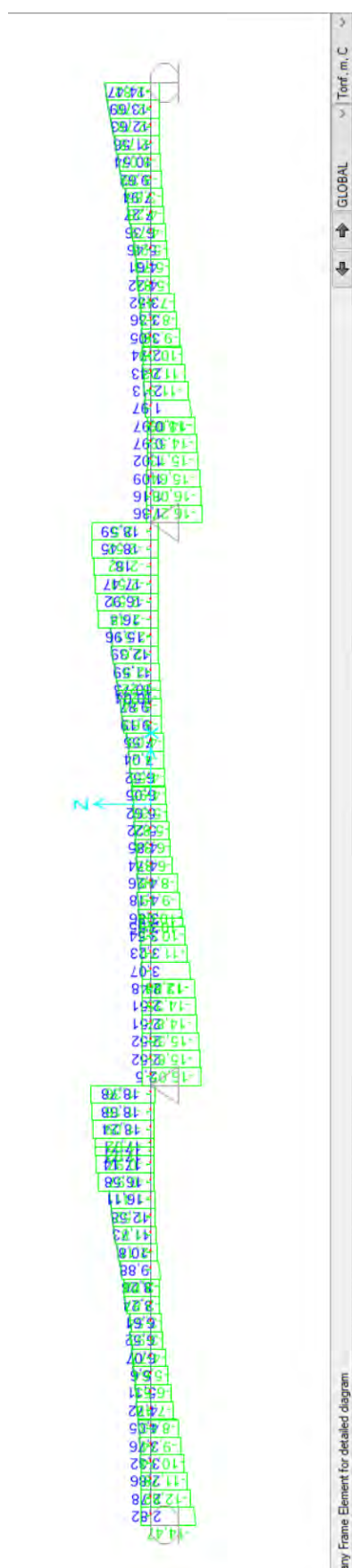


Figura 3.21 – Diagrama de Momento Fletor



4.0 COMBINAÇÕES ELU

Comparativo das normas:

NB2 – 1961:

$$1,65 \text{ Mg} + 2,0 \times (\phi \text{ impacto}) \text{ Mp} < \text{Mu} [\text{função de } (\sigma_R = f_{ck})]$$

NBR 7187-2003 e NBR 6118-2003/2014:

$$1,35 \text{ Mg} + 1,50 \times (\phi \text{ impacto}) \text{ Mp} < \text{Mu} [F_{cd}]$$

$$\approx 1,65 \text{ Mg} + 2,35 \times (\phi \text{ impacto}) \text{ Mp} < \text{Mu} [F_{cd}]$$

Fadiga: EB3-1967 que complementou a NB1-1960 e a NB2-1961:

$$1,20 \times \Delta\sigma \text{ (carga móvel) nas barras retas (estádio II)} < 220 \text{ MPa}$$

$$\text{Logo: } \Delta\sigma \text{ (carga móvel) nas barras retas (estádio II)} < 220 \text{ MPa} / 1,20 = 183 \text{ MPa}$$

NBR 7187-2003 e NBR 6118-2003:

$$1,35 \text{ Mg} + 1,50 \times (\phi \text{ impacto}) \text{ Mp} < \text{Mu} [\text{função de } f_{yk}/1,15]$$

$$\approx 1,55 \text{ Mg} + 1,73 \times (\phi \text{ impacto}) \text{ Mp} < \text{Mu} [\text{função de } f_{yk}/1,15]$$

Fadiga NBR 6118 - 2003: Para lajes de pontes é feita a redução $\psi = 0,8$:

$$\Delta\sigma_{sd} = 0,8 \times \Delta\sigma \text{ (carga móvel) barras retas (estádio II)} < 190 \text{ MPa}$$

$$\text{Logo: } \Delta\sigma \text{ (carga móvel) nas barras retas (estádio II)} < 190 / 0,8 = 238 \text{ MPa}$$

Pelo comparativo entre normas, conclui-se que as armaduras calculadas pelas normas atuais são ligeiramente inferiores as calculadas pelas normas antigas. Sendo assim, opta-se aqui pela utilização das novas normas para agilidade dos trabalhos e segurança.

- Peso Próprio – DEAD – ELU = 1,35 / ELS = 1,0
- Carga Permanentes – ELU = 1,35 / ELS = 1,0
- TB24 – NBR 6 – ELU = 1,5 / ELS (Longarinas / lajes) = 0,50 / 0,80

5.1.2 Meio do Primeiro Vão FADIGA: Mperm= 34,59 tfxm, Mfad = 52,55tfxm

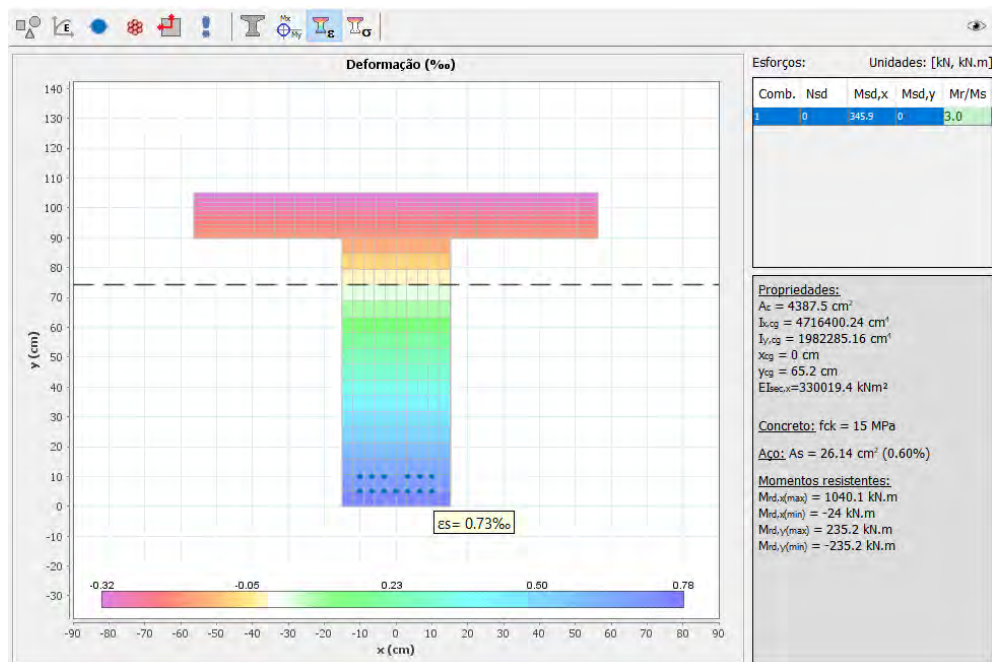


Figura 5.2 – Alongamento nas Armaduras – C. Permanentes

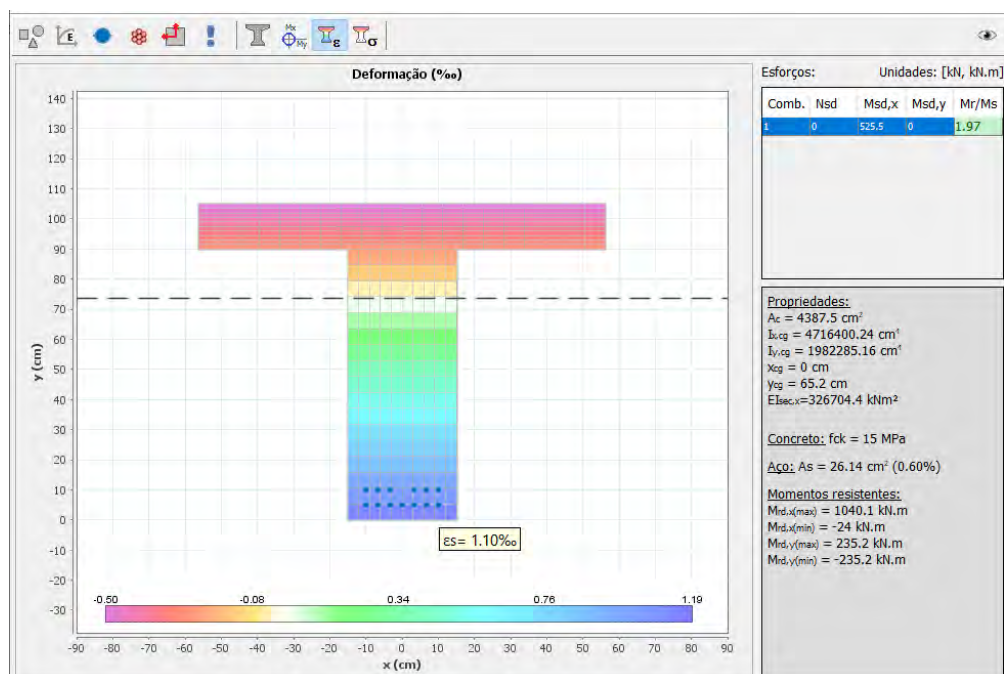


Figura 5.3 – Alongamento nas Armaduras – Cargas Permanentes +SC

$$\Delta = 0,37 \times 210000 \div 1000 = 77 \text{ MPa} - ok$$

Utilizar armadura encontrada.

5.1.3 Sobre Apoios ELU: $M_d = -211,22 \text{ tfxm}$

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
211220	60	15	150	143	3
AS		AS'		AS mín	
37,99		0,00		13,5	

Figura 5.4 – Armadura de Flexão – ELU

5.1.4 Sobre Apoios Fadiga: $M_{perm} = -105,56 \text{ tfxm}$, $M_{fad} \text{ Max} = -128,46 \text{ tfxm}$, $M_{fad} \text{ Min} = -99,98 \text{ tfxm}$

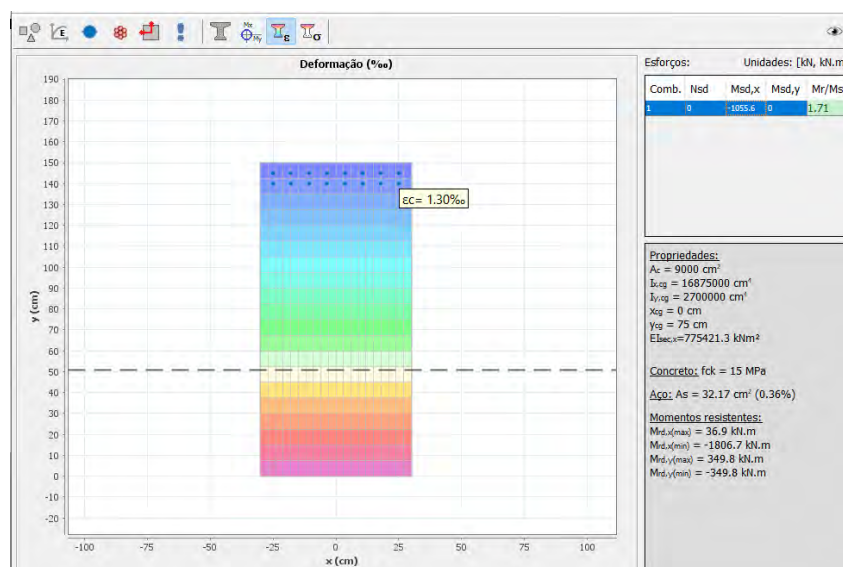


Figura 5.5 – Alongamento das Armaduras – C. Permanentes

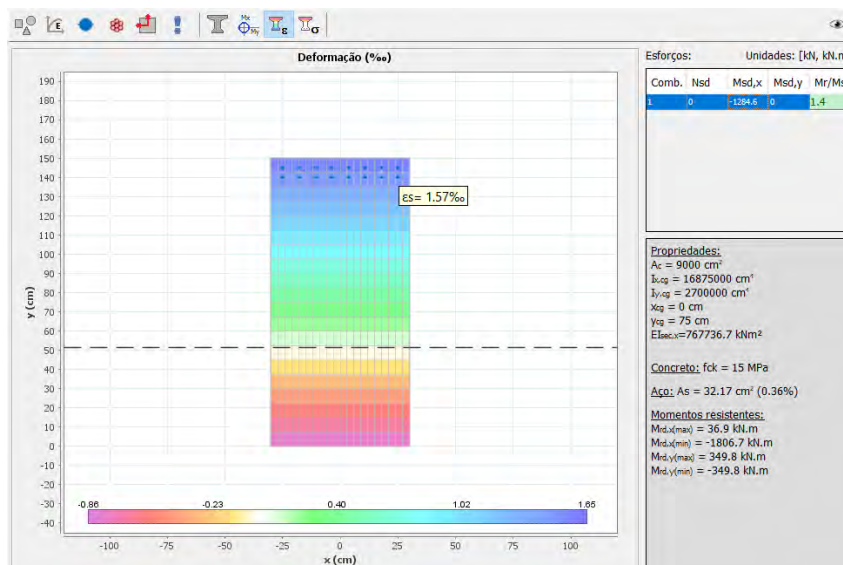


Figura 5.6 – Alongamento das Armaduras – C. Permanentes + SC

$$\Delta = 0,27 \times 210000 \div 1000 = 57 \text{ MPa} - ok$$

Utilizar armadura encontrada.

5.1.5 Meio do Vão Central: ELU: $M_d = 85,39 \text{ tfxm}$

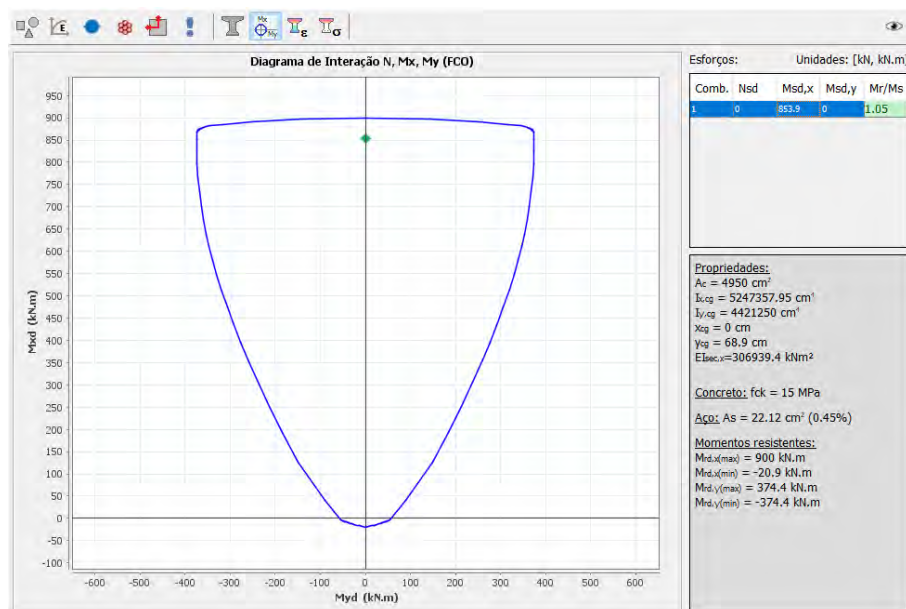


Figura 5.7 – Armadura de Flexão ELU

O trem tipo TB24 não causa alterações nas armaduras na verificação a fadiga devido a sua proporção em relação as cargas permanentes. Notou-se, ainda, tendência ao surgimento de armadura de compressão com esgotamento da resistência da mesa colaborante. Tal comportamento pode confirmar a utilização do TB24 para a ponte, que tem classificação II na norma NB6.

5.1.6 ARMADURAS DE CISALHAMENTO

5.1.7 Sobre os Pegões - $V_d=41,93$ tf

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
419,30	30		100		15	10
Modelo I:			Modelo II:			
			Entre com o valor de θ (30 a 45):			
			45			
Verificação da biela de concreto:			Verificação da biela de concreto:			
twd (kN/cm ²)		twd2 (kN/cm ²)	twd (kN/cm ²)		twd2 (kN/cm ²)	
0,140		0,272	0,140		0,272	
Ok			Ok			
Cálculo da armadura:			Cálculo da armadura:			
pw	pw mín	Asw Mín	pw	pw mín	Asw Mín	
0,2172	0,0730	2,19	0,2719	0,0730	2,19	
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)	Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)	
6,52	3,26	24	8,16	4,08	19	
Prescrições complementares da NBR 6118						
Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		
30	30		30	30		

Figura 5.8 – Armadura de Cisalhamento - Pegões

5.1.8 Sobre os Pilares - $V_d=75,91$ tf

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
759,10	60		145		15	10
Modelo I:			Modelo II:			
			Entre com o valor de θ (30 a 45):			
			45			
Verificação da biela de concreto:			Verificação da biela de concreto:			
twd (kN/cm ²)		twd2 (kN/cm ²)	twd (kN/cm ²)		twd2 (kN/cm ²)	
0,087		0,272	0,087		0,272	
Ok			Ok			
Cálculo da armadura:			Cálculo da armadura:			
pw	pw mín	Asw Mín	pw	pw mín	Asw Mín	
0,0830	0,0730	4,38	0,1040	0,0730	4,38	
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)	Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)	
4,98	2,49	31	6,24	3,12	25	
Prescrições complementares da NBR 6118						
Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		
60	30		60	30		

Figura 5.9 – Armadura de Cisalhamento – Pilares

5.2 ARMADURAS DAS LAJES

5.2.1 Esforços Solicitantes – Cargas Permanentes

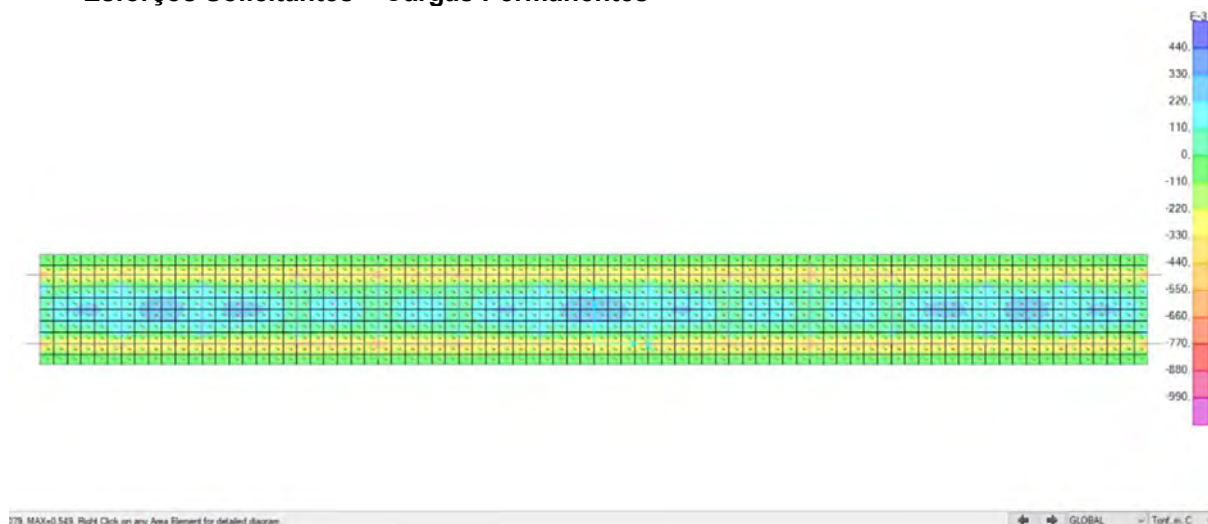


Figura 5.10 – Esforços Solicitantes das Lajes – Cargas Permanentes

5.2.2 Esforços Solicitantes – Cargas móveis – TB45

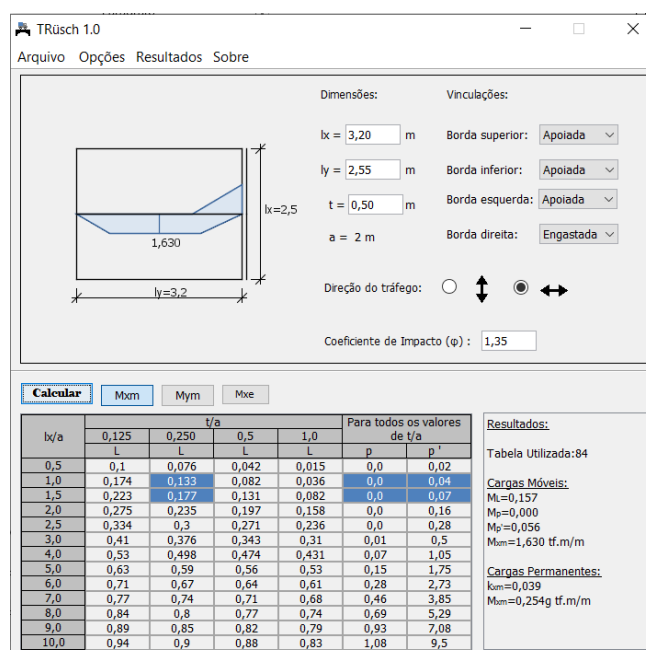


Figura 5.11 –Tabela de Rusch – Laje com 1 Engastamento

Momentos:

$$M_{xm} = 1,63tf \times m$$

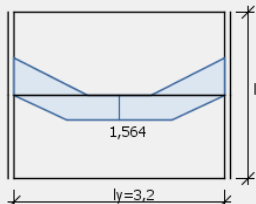
$$M_{ym} = 1,87tf \times m$$

$$M_{xe} = -4,14tf \times m$$

5.2.3 Armadura Demais Lajes - TB45

TRüsch 1.0

Arquivo Opções Resultados Sobre



Dimensões:

lx = 3,20 m

ly = 2,55 m

t = 0,50 m

a = 2 m

Vinculações:

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☐ ☒

Coefficiente de Impacto (ψ): 1,35

Calcular Mxm Mym Mxe

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,09	0,075	0,038	0,013	0,0	0,0
1,0	0,16	0,13	0,075	0,03	0,0	0,02
1,5	0,205	0,17	0,125	0,08	0,0	0,05
2,0	0,246	0,218	0,19	0,15	0,0	0,15
2,5	0,301	0,28	0,25	0,214	0,0	0,26
3,0	0,385	0,35	0,306	0,279	0,0	0,45
4,0	0,51	0,472	0,42	0,39	0,02	0,96
5,0	0,62	0,57	0,53	0,49	0,08	1,68
6,0	0,7	0,66	0,62	0,57	0,2	2,86
7,0	0,77	0,72	0,68	0,64	0,35	4,3
8,0	0,82	0,78	0,74	0,7	0,53	5,9
9,0	0,87	0,84	0,79	0,75	0,7	7,4
10,0	0,91	0,88	0,83	0,79	0,85	9,2

Resultados:

Tabela Utilizada: 90

Cargas Móveis:

M_{lt}=0,152

M_{lp}=0,000

M_{lp'}=0,036

M_{lxm}=1,564 tf.m/m

Cargas Permanentes:

k_{oxm}=0,036

M_{lxm}=0,234g tf.m/m

Figura 5.12 –Tabela de Rusch – Laje com 2 Engastamentos

Momentos:

$$M_{xm} = 1,56tf \times m$$

$$M_{ym} = 1,59tf \times m$$

$$M_{xe} = -3,81tf \times m$$

5.2.4 Estimativa das Armaduras da Laje

Para Verificação as Lajes, após o reforço, fazem-se necessário apenas encontrar a armadura inferior na direção X, da seção transversal. A armadura negativa será substituída na altura da nova laje, enquanto a armadura de direção y será desprezada já que um reforço das transversinas seria inviável. Um fator de correção de 0,685 é aplicado as cargas móveis para correção do trem tipo TB45 para o TB24.

Esforços Solicitantes – Direção X

$$Md = 0,28 \times 1,35 + 1,50 \times 1,63 \times 0,685 = 2,05tf \times m$$

$$M_{per} = 0,28tf \times m$$

$$MFad = 1,17tf \times m$$

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
2050	100	15	15	12	5
Meio		AS'		AS mín	
4,30		0,00		2,25	

Figura 5.13 – Armadura de Flexão da Laje

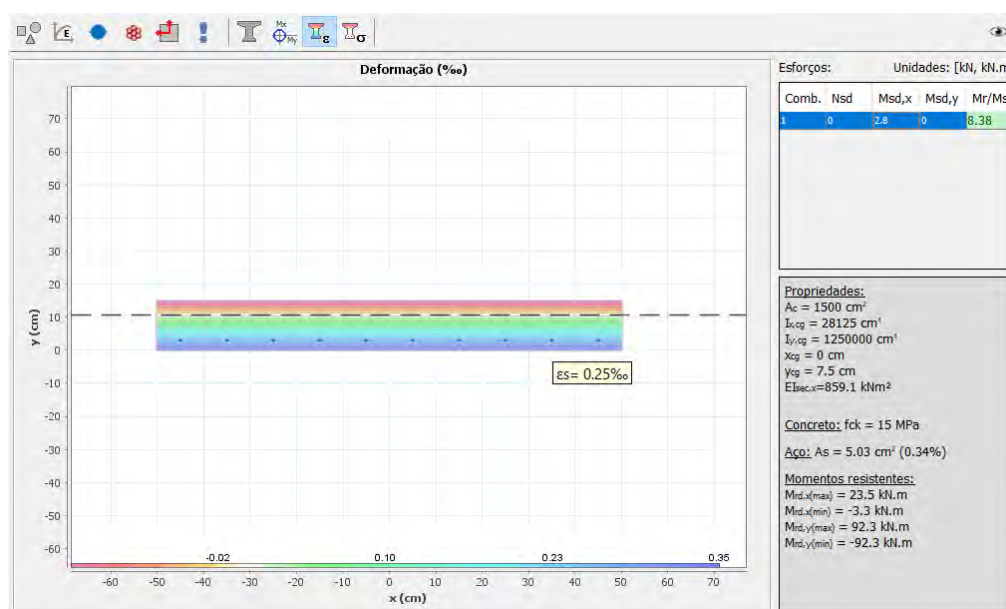


Figura 5.14 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes

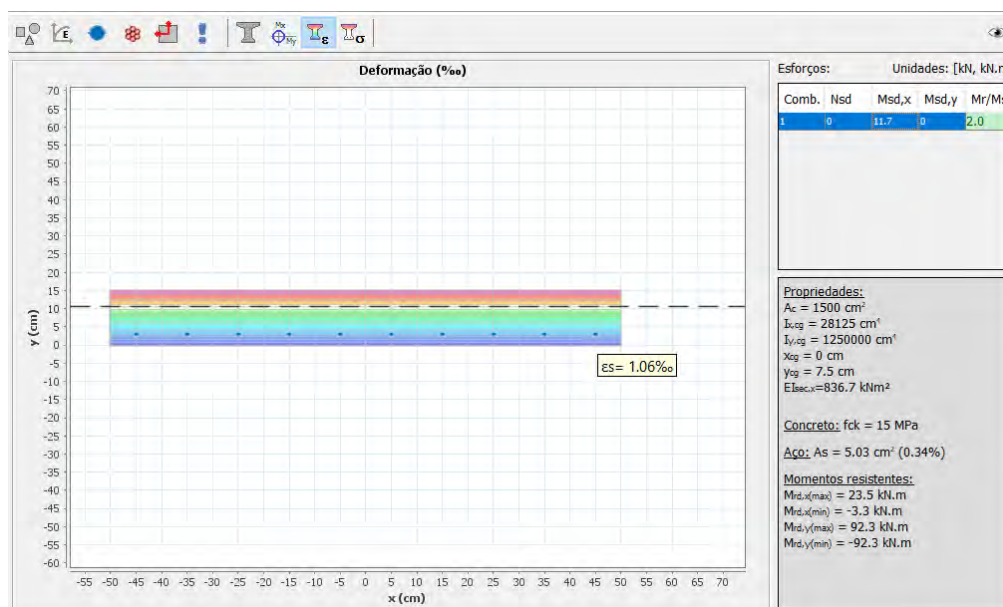


Figura 5.15 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes + SC

$$\Delta = 0,81 \times \frac{210000}{1000} = 170 \text{ MPa} - ok$$

6.0 RESUMO DE ARMADURAS

A tabela abaixo contém o resumo de armaduras estimadas para a ponte nas seções principais.

PONTE RIO SAPUCAI MIRIM - PONTE EXISTENTE			
ESTIMATIVA DE ARMADURA DE FLEXÃO - RESUMO			
SEÇÃO	LOCALIZAÇÃO	$A_s \text{ cm}^2$ - Flexão	$A_s \text{ cm}^2$ - Cortante
S1	1º APOIO	-	6,3
S2	MEIO 1º VÃO	24,13	-
S3	PILARES CENTRAIS	32,17	4,98
S4	MEIO 2º VÃO	20,86	-

Figura 5.16 – Resumo de Armaduras Estimadas

7.0 ANEXOS

Abaixo seguem imagens das combinações realizadas no programa:

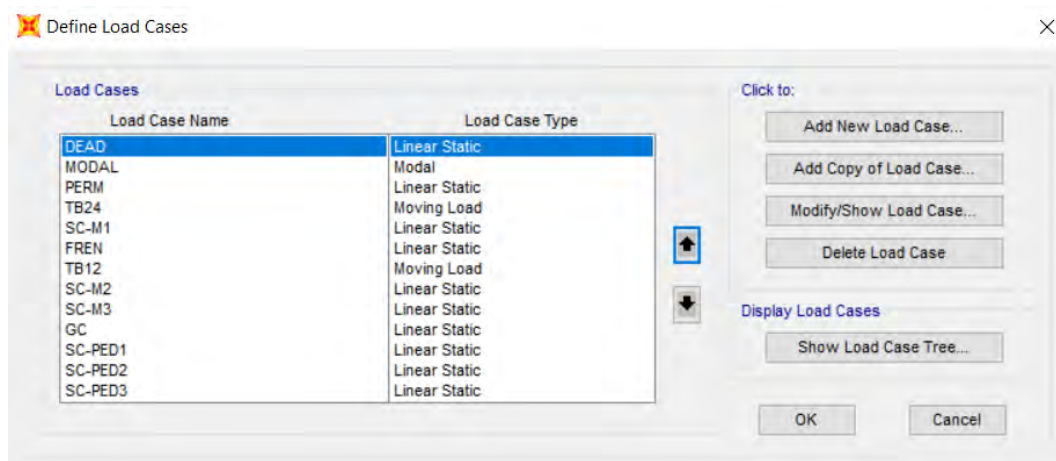


Figura 7.1 – Casos de Carregamento

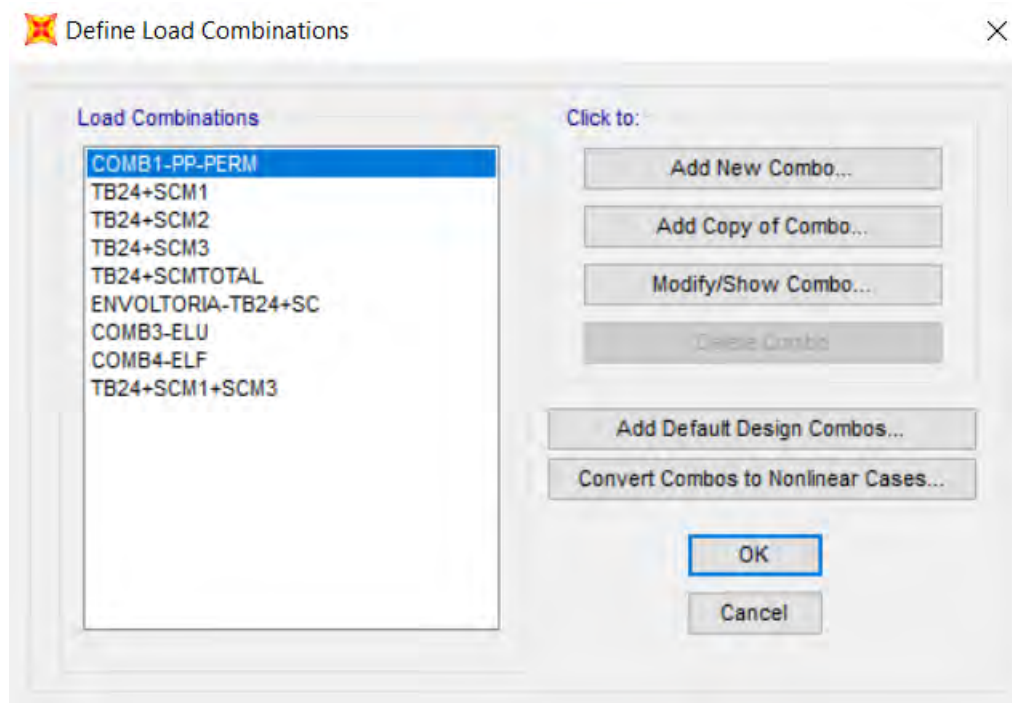


Figura 7.2 – Combinações realizadas

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated) TB24+SCM1

Notes [Modify/Show Notes...](#)

Load Combination Type Linear Add

Options

[Convert to User Load Combo](#) [Create Nonlinear Load Case from Load Combo](#)

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
TB24	Moving Load	1,3
TB24	Moving Load	1,3
SC-M1	Linear Static	1,3
SC-PED1	Linear Static	1,

[Add](#) [Modify](#) [Delete](#)

[OK](#) [Cancel](#)

Figura 7.3 – TB24+SC 1º Vão

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated) TB24+SCM2

Notes [Modify/Show Notes...](#)

Load Combination Type Linear Add

Options

[Convert to User Load Combo](#) [Create Nonlinear Load Case from Load Combo](#)

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
TB24	Moving Load	1,3
TB24	Moving Load	1,3
SC-M2	Linear Static	1,3
SC-PED2	Linear Static	1,

[Add](#) [Modify](#) [Delete](#)

[OK](#) [Cancel](#)

Figura 7.4 – TB24+SC 2º Vão

Load Combination Data [X]

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
TB24	Moving Load	1,3
TB24	Moving Load	1,3
SC-M3	Linear Static	1,3
SC-PED3	Linear Static	1,

Figura 7.5 – TB24+SC 3° Vão

Load Combination Data [X]

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
TB24	Moving Load	1,3
TB24	Moving Load	1,3
SC-M3	Linear Static	1,3
SC-M1	Linear Static	1,3
SC-PED1	Linear Static	1,
SC-PED3	Linear Static	1,

Figura 7.6 – TB24+SC 1° & 3° Vão

✖ Load Combination Data ✕

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
TB24	Moving Load	1,3
TB24	Moving Load	1,3
SC-M3	Linear Static	1,3
SC-M1	Linear Static	1,3
SC-M2	Linear Static	1,3
SC-PED1	Linear Static	1,
SC-PED2	Linear Static	1,
SC-PED3	Linear Static	1,

Figura 7.7 – TB24+SC Todos os Vãos

✖ Load Combination Data ✕

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
TB24+SCM3	Combination	1,
TB24+SCM3	Combination	1,
TB24+SCM2	Combination	1,
TB24+SCMTOTAL	Combination	1,
TB24+SCM1	Combination	1,
TB24+SCM1+SCM3	Combination	1,

Figura 7.8 – TB24+SC – Envoltória

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): COMB3-ELU

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options:

Convert to REF Load Combo: [] Create Minimum Load Case from Load Combo: []

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
COMB1-PP-PERM	Combination	1,35
COMB1-PP-PERM	Combination	1,35
ENVOLTORIA-TB24+SC	Combination	1,5

Add Modify Delete

OK Cancel

Figura 7.9 – Combinação ELU

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): COMB4-ELF

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options:

Convert to REF Load Combo: [] Create Minimum Load Case from Load Combo: []

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
COMB1-PP-PERM	Combination	1,
COMB1-PP-PERM	Combination	1,
ENVOLTORIA-TB24+SC	Combination	0,5

Add Modify Delete

OK Cancel

Figura 7.10 – Combinação ELS-Fadiga