

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 D 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 D MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL

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

SUMÁRIO

1.0 OBJETIVO.....	5
2.0 METODOLOGIA CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
3.0 REQUISITOS E PARÂMETROS DE DURABILIDADE DA CONSTRUÇÃO	5
3.1 PARÂMETROS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	6
3.2 NORMAS E BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	7
3.3 AÇÕES CONSIDERADAS	7
4.0 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	9
4.1 MODELO ESTRUTURAL – 2ª ETAPA	9
4.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	11
4.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS UTILIZADAS – MODELO GLOBAL.....	12
4.4 CARREGAMENTOS APLICADOS	16
5.0 RESULTADOS	32
5.1 ESFORÇOS SOLICITANTES NA LONGARINA – V6	32
5.2 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V5.....	40
5.3 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V4.....	48
5.4 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V3.....	56
5.5 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V2.....	64
5.6 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V1.....	72
6.0 COMBINAÇÕES.....	80
6.1 AÇÕES CONSIDERADAS	80
6.2 COMBINAÇÕES	80
7.0 VERIFICAÇÃO DAS SEÇÕES – LONGARINAS.....	81
7.1 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS A FLEXÃO – V6	81
7.2 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS A FLEXÃO - V5.....	82
7.3 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS AO CISLHAMENTO	88
8.0 ARMADURAS DAS LAJES	89
8.1 ARMADURA DE FLEXÃO	89
8.2 DEFORMAÇÕES DAS LAJES	99
9.0 ARMADURA DAS TRAVESSAS	100

9.1 DIMENSIONAMENTO DA TRAVESSA - PONTE SEPARADA-MAIORES ESFORÇOS

100

10.0 ARMADURA DOS ENCONTROS – PONTE UNIDA- MAIORES ESFORÇOS.	102
10.1 DIMENSIONAMENTO DOS ENCONTROS.....	102
11.0 DIMENSIONAMENTO DOS PILARES – PONTE UNIDA-MAIORES ESFORÇOS	105
11.1 ESFORÇOS SOLICITANTES.....	105
12.0 DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS.....	108
12.1 ESFORÇOS SOLICITANTES – PONTE UNIDA-MAIORES ESFORÇOS	108
13.0 DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS – PONTE UNIDA.....	111
13.1 BLOCOS DOS ENCONTROS	111
13.2 BLOCO DOS PILARES	111
14.0 DEFORMAÇÕES GERAIS	114
14.1 PP+PERM+SCTB45	114
14.2 SCTB45	114
15.0 FRETAGENS	115
15.1 PROTENSÃO	115
15.2 BASE DAS VIGAS DE CONCRETO:.....	116
15.3 PILARETES-GERAIS	117

1.0 OBJETIVO

Este documento tem a finalidade de apresentar a memória de cálculo do dimensionamento para alargamento, reforço e recuperação da ponte sobre o rio Sapucaí Mirim em Conceição dos Ouros, rodovia MG-173, trecho Cachoeira de Minas – Paraisópolis. O alargamento da ponte foi idealizado em estrutura mista de aço e concreto, conectada a uma estrutura de concreto armado existente, cujos cálculos individuais foram apresentados no memorial Parte B e Parte C, respectivamente. Este memorial visa apresentar resultados referentes a interação das estruturas após a conexão, para que correções possam ser feitas nos dimensionamentos estruturais, a favor da segurança e bom funcionamento estrutural. Além dos efeitos locais gerados pela conexão, este memorial apresentará o dimensionamento de elementos que anteriormente não foram desenvolvidos, por dependerem da conexão (Pilares, travessas, fundações, dentre outros).

2.0 METODOLOGIA CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com objetivo de encontrar os esforços solicitantes correspondentes a interação das estruturas, ambas as estruturas projetadas em SAP2000 foram importadas para o mesmo arquivo, com coordenadas que permitissem sua conexão. Ambos os projetos foram incrementados, com modelagem de vigas travessas, transversinas, pilares, encontros e estacas com molas, criando um modelo com interação solo estrutura completo.

Foi simulada a aplicação na laje de temperatura diferencial de 10° C, para avaliar o efeito de diferença de temperaturas superior e inferior no fechamento, além da retração simulada em uma das lajes, apenas.

O trem tipo foi passado com as rodas nas vigas de divisa da conexão, ou seja, ora na ponte metálica, ora na ponte de concreto, para simular as piores situações. A carga de multidão foi simulada não apenas em cada vão separadamente, mas também, em uma das pontes com materiais diferentes, para que gerasse assim uma maior deformação de uma em relação à outra.

Dois modelos foram analisados simultaneamente, a saber: um com a laje desconectada e outro com a laje conectada. O Objetivo foi validar o modelo, comparando resultados da laje desconectada com os modelos já apresentados nas memórias parte B e C. Com validação dos resultados, o dimensionamento foi apresentado para o maior esforço dos dois modelos, inclusive para os novos elementos modelados (Pilares, estacas, dentre outros).

3.0 REQUISITOS E PARÂMETROS DE DURABILIDADE DA CONSTRUÇÃO

As exigências, previstas em projeto, de durabilidade das estruturas de concreto e fundações estão de acordo com o que estabelece a norma ABNT NBR 6118 e NBR 12655.

As condições de exposição da estrutura quanto à agressividade ambiental, as propriedades e a qualidade do concreto, o cobrimento nominal das armaduras e as exigências relativas à fissuração são classificadas em concordância com a prescrição normativa da ABNT NBR 6118 e NBR 12655. Abaixo, quadro resumo dos parâmetros adotados em projeto:

Elemento Estrutural		Classe de Concreto	Classe de Agressividade	Cobrimento Nominal (cm)	Abertura Máxima Característica wk (mm)
Concreto de regularização		C10	-	-	-
Infraestrutura	Estacas	Arg. 20 MPa	Forte (III)	5,0	0,2
Mesoestrutura	Pilares em contato com água	C 40	Forte (III)	4,0	0,2
	Vigas Travessa, transversinas	C 40	Forte (III)	3,5	0,2
Superestrutura	Lajes, Longarinas, transversinas	C 40	Forte (III)	3,5	0,2
	Guarda Rodas, encontros e Laje de Transição	C25	Moderada (II)	3,0	0,3

(*) wk = 0.1 mm nas faces onde se requer estanqueidade.

Tabela 1 – Quadro resumo dos parâmetros adotados em projeto.

A classe de agressividade foi adotada após observância que há lançamento de esgoto sanitário sem tratamento à montante do curso d'água sob a ponte e que o mesmo entra em contato com pilares e blocos, e ainda, se aproxima da estrutura do tabuleiro na época de cheias. O Fck 40 MPa não acrescenta substancialmente no preço final das obras, e auxiliará, também, na redução da deformação com ganho na mesa colaborante da seção mista.

3.1 PARÂMETROS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

- Concreto estrutural Pilares, Pilares-parede, Longarinas e Lajes C-40;
- Concreto estrutural Encontros, Laje de Transição e Guarda Rodas C-25;
- Módulo de elasticidade secante do concreto C 40: $E = 30105 \text{ MPa}$;
- Módulo de elasticidade secante do concreto C 25: $E = 23800 \text{ MPa}$;
- 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;
- Tensão característica de escoamento do aço CA-50: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$;
- Tensão característica de escoamento do aço CA-60: $f_{yk} = 600 \text{ MPa}$;
- Aço Para Cordoalhas $E = 19750 \text{ kN/cm}^2$;

- Aço Para Perfil Metálico = A-588 GR50;
- Tensão característica de escoamento do aço A-588: $f_{yk} = 350 \text{ MPa}$;
- Aço para Chapas de Ligação SAC 350: $f_{yk}=350 \text{ Mpa}$.

3.2 NORMAS E BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

Normas ABNT:

- NBR 7188 – Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres
- NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de Edifícios.
- NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações
- NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto
- NBR 7187 – Pontes de Concreto Armado e Protendido e Concreto Protendido

Normas Internacionais:

- AASHTOO – Standard Specifications for Highway Bridges
- AISC360-05/IBC2600
- EUROCODE3-2005

3.3 AÇÕES CONSIDERADAS

3.3.1 PESO PRÓPRIO

O peso próprio da superestrutura foi aplicado diretamente pelo programa, para as vigas, com as densidades de materiais conforme já supra especificados.

Nome do carregamento:

- Dead

3.3.2 CARGAS PERMANENTES

As cargas permanentes foram aplicadas em “Frames” (vigas) e “Shells” (lajes) do modelo gerado, com as densidades dos materiais conforme supra especificado.

Nome dos carregamentos:

- PERM – Revestimento Asfáltico sobre a Laje (5 cm);
- PERM – FUT (0,20 tf/m²);
- GR – Guarda Rodas New Jersey (0,60 tf/m);
- GC – Guarda Corpo Metálico (0,10 tf/m).

3.3.3 CARGAS MÓVEIS

A carga móvel aplicada é correspondente ao TB45 – NBR 7188 - 2013. A carga consiste a um carregamento de 45 tf dividido em 6 rodas que ocupa uma área de 18 m², com carga de multidão de 0,50 tf/m² distribuída em todas as faixas, sendo ambos os carregamentos majorados pelo coeficiente de impacto. Nas áreas reservadas aos pedestres foram distribuídos 0,30 tf/m² para análise da estrutura global e 0,50 tf/m² para dimensionamento das lajes, sendo este carregamento 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 TB45 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:

- TB 45 + SCM1 (+SCPED1)
- TB 45 + SCM2 (+SCPED2)
- TB 45 + SCM3 (+SCPED3)
- TB 45 + SCM1+SCM3 (SCPED1&3)
- TB 45 + SCMTOTAIS+SCPEDTOTAIS
- ENVOLTORIA – TB45+SCM (+SCPED)

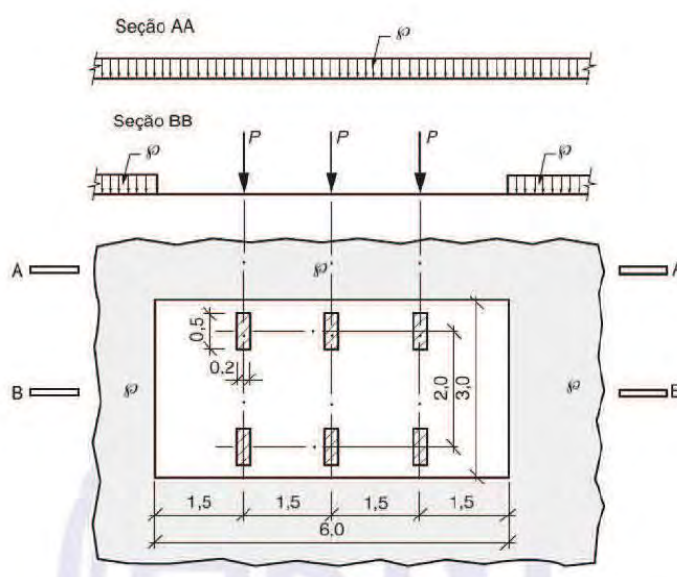


Figura 3.1 – Disposição das Rodas dos Veículos – NBR 7188

O fator de impacto foi calculado para o vão de 10 metros (Média Aritmética dos vãos):

$$CIV = 1 + 1,06 \times \frac{20}{(Liv + 50)}$$

$$CIV = 1,35$$

$$CNF = 1,00 - 0,05 * (n - 2) > 0,90$$

$$CNF = 1,00$$

$$CIA = 1,25$$

4.0 ANÁLISE ESTRUTURAL

4.1 MODELO ESTRUTURAL – 2ª ETAPA

Dois modelos foram gerados no SAP2000. O primeiro com a laje imediatamente aberta, modelo esse, comparado aos resultados das memórias anteriores. Dado que a ordem de grandeza estava parecida, a partir dele foi gerado um modelo de lajes conectadas.

As figuras dos modelos são apresentadas a seguir.

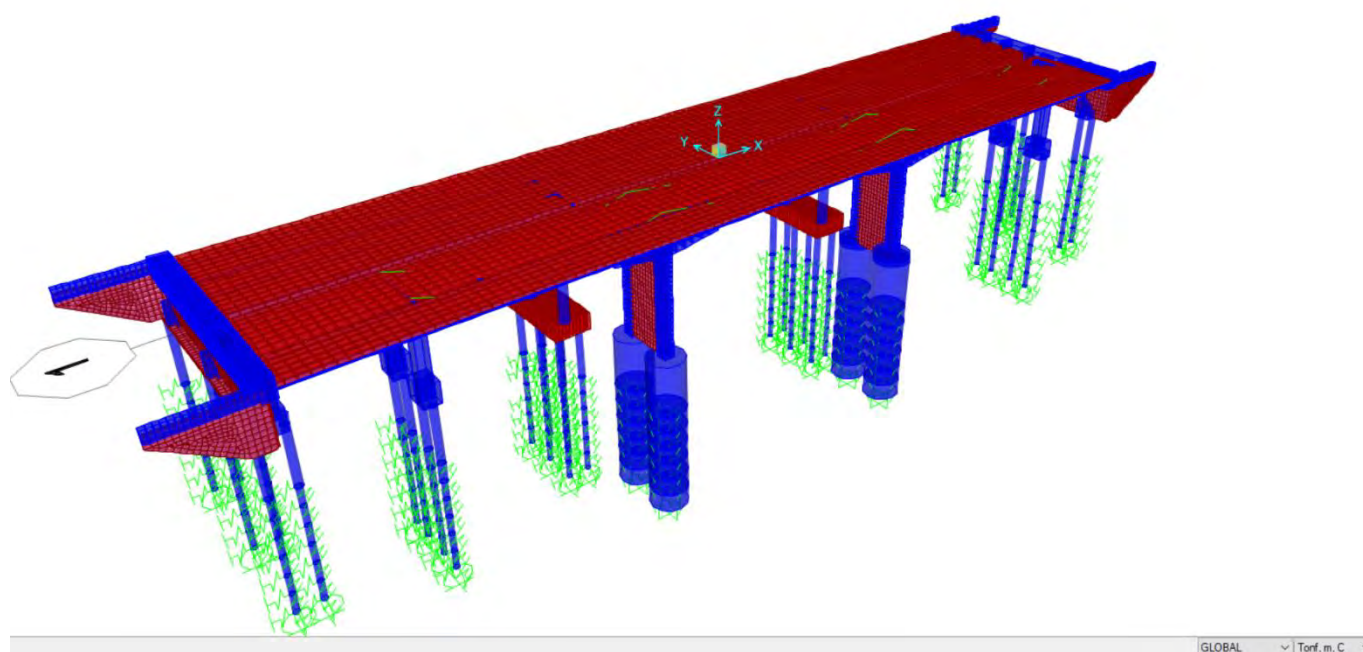


Figura 4.1 – Vista Tridimensional do Modelo Lançado – Modelo 1

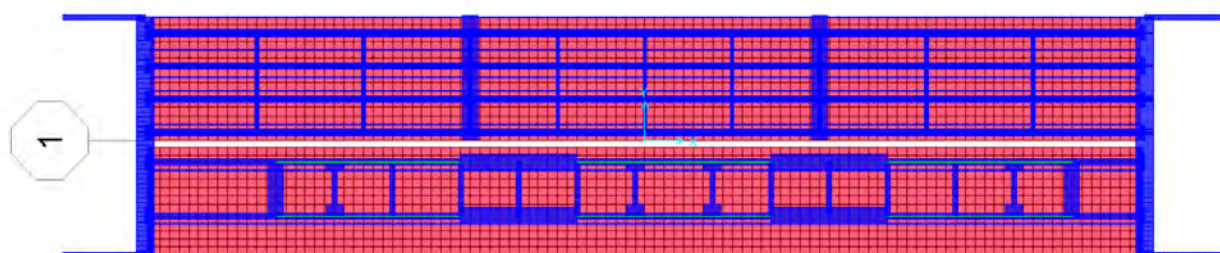


Figura 4.2 – Vista em Planta do Tabuleiro – Modelo 1

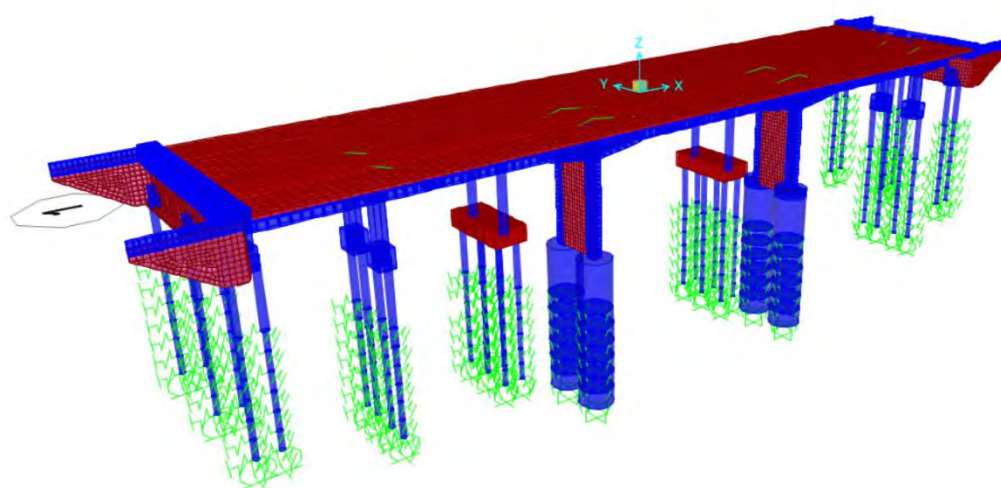


Figura 4.3 – Vista Tridimensional do Modelo Lançado – Modelo 2

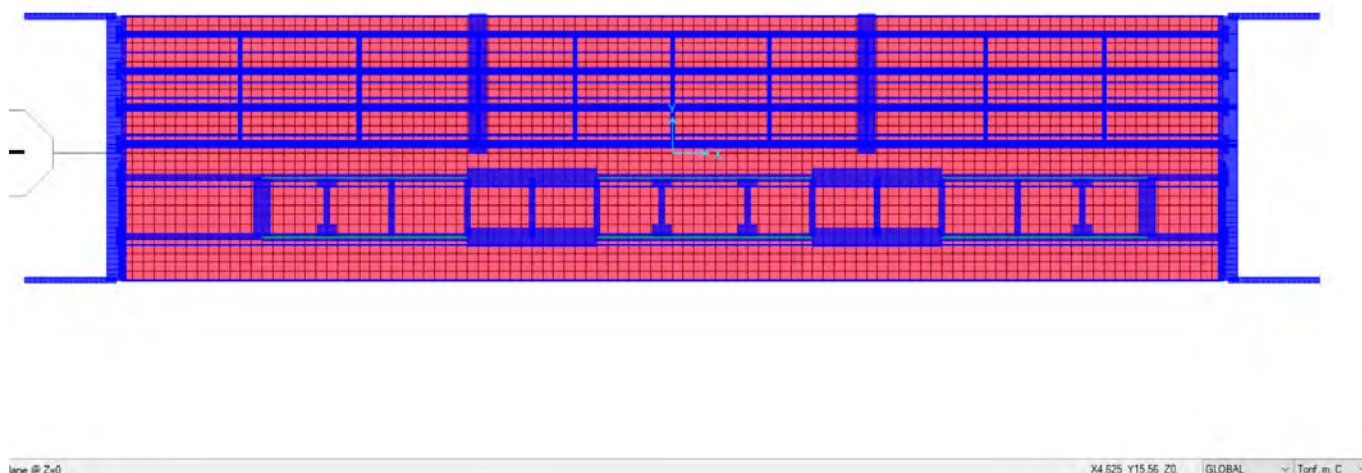
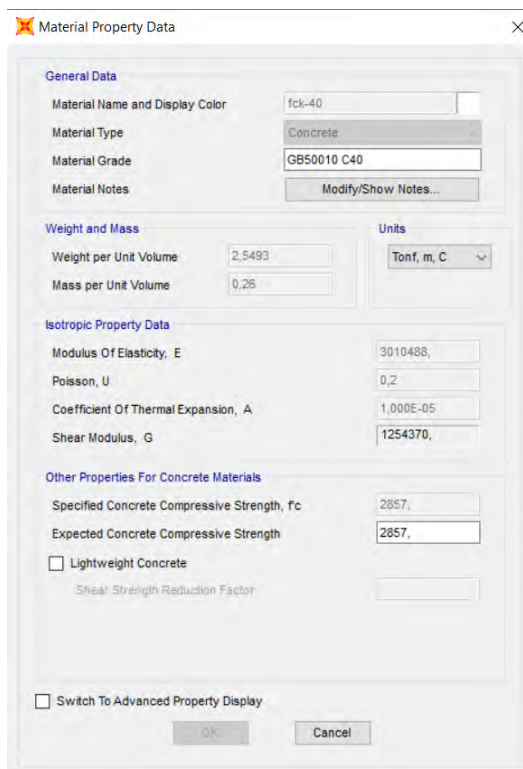


Figura 4.4 – Vista Tridimensional do Modelo Lançado – Modelo 2

4.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Concreto Utilizado: 40 MPa

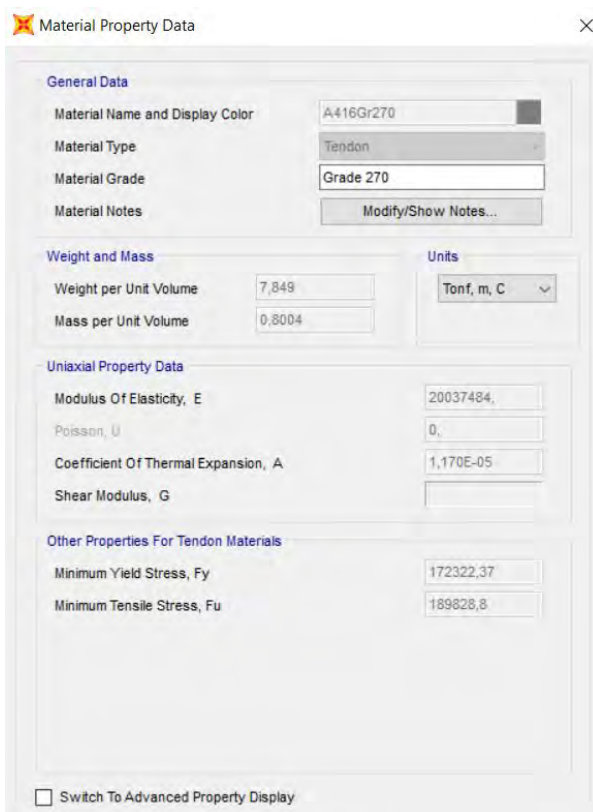


The image shows a 'Material Property Data' dialog box for concrete. The dialog is divided into several sections:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: fck-40
 - Material Type: Concrete
 - Material Grade: GB50010 C40
 - Material Notes: (empty)
 - Modify/Show Notes... button
- 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: 3010488,
 - Poisson, U: 0,2
 - Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,000E-05
 - Shear Modulus, G: 1254370,
- Other Properties For Concrete Materials:**
 - Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 2857,
 - Expected Concrete Compressive Strength: 2857,
 - ☐ Lightweight Concrete
 - Shear Strength Reduction Factor: (empty)
- ☐ Switch To Advanced Property Display
- OK and Cancel buttons

Figura 4.5 – Propriedades do Concreto

Aço Cabos de Protensão



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A416Gr270

Material Type: Tendon

Material Grade: Grade 270

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,849

Mass per Unit Volume: 0,8004

Units: Tonf, m, C

Uniaxial Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 20037484,

Poisson, ν : 0,

Coefficient Of Thermal Expansion, α : 1,170E-05

Shear Modulus, G:

Other Properties For Tendon Materials

Minimum Yield Stress, F_y : 172322,37

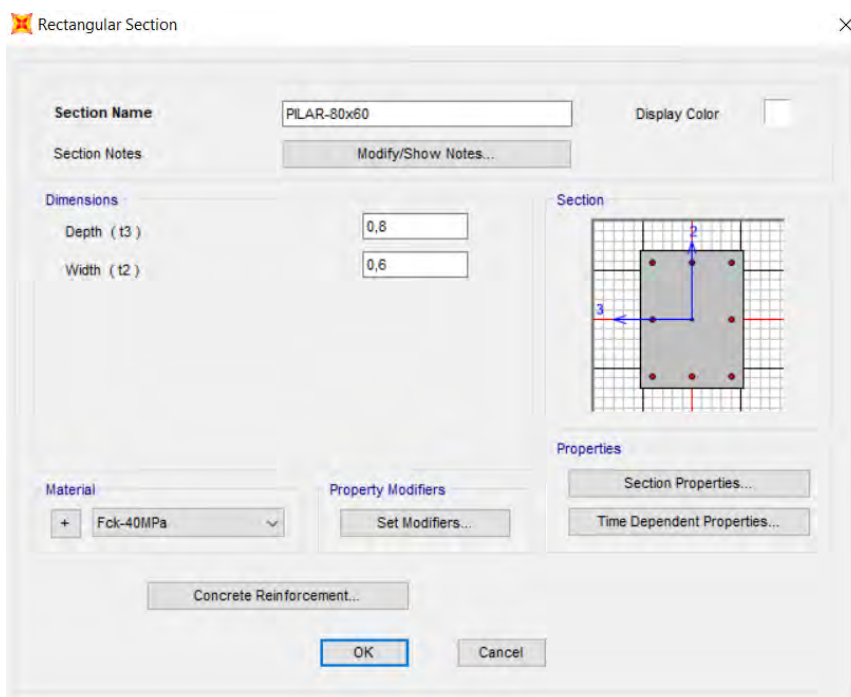
Minimum Tensile Stress, F_u : 189828,8

☐ Switch To Advanced Property Display

Figura 4.6 – Propriedades do Aço

4.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS UTILIZADAS – MODELO GLOBAL

4.3.1 Pilares – Ponte Existente



Rectangular Section

Section Name: PILAR-80x60

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Depth (t3): 0,8

Width (t2): 0,6

Section

Material: + Fck-40MPa

Property Modifiers: Set Modifiers...

Properties: Section Properties..., Time Dependent Properties...

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Figura 4.7 – Propriedades do Aço

4.3.2 Pilares – Ponte Existente

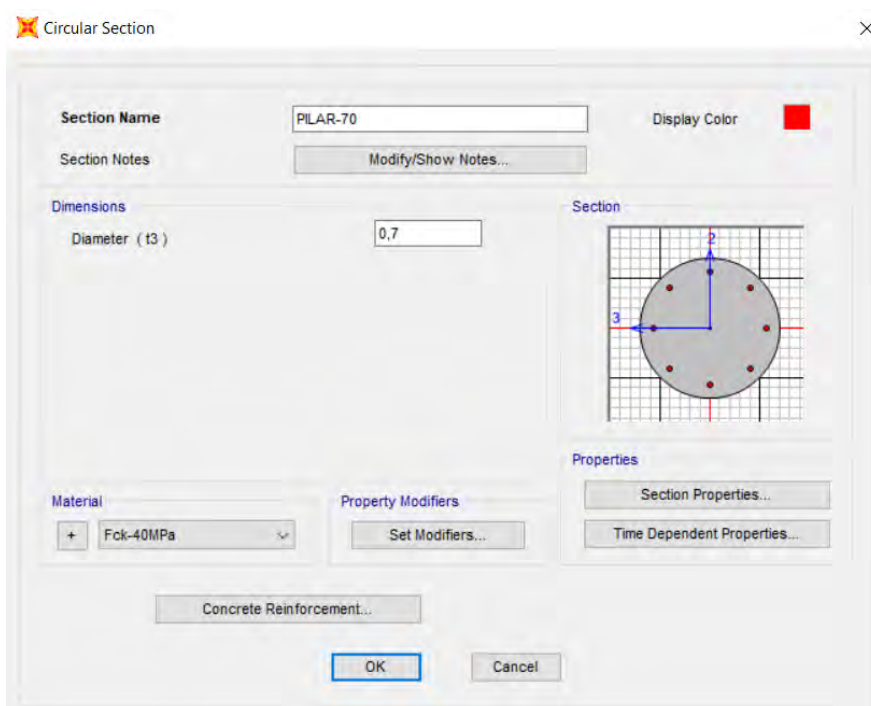


Figura 4.8 – Propriedades do Aço

4.3.3 Tubulão Existente

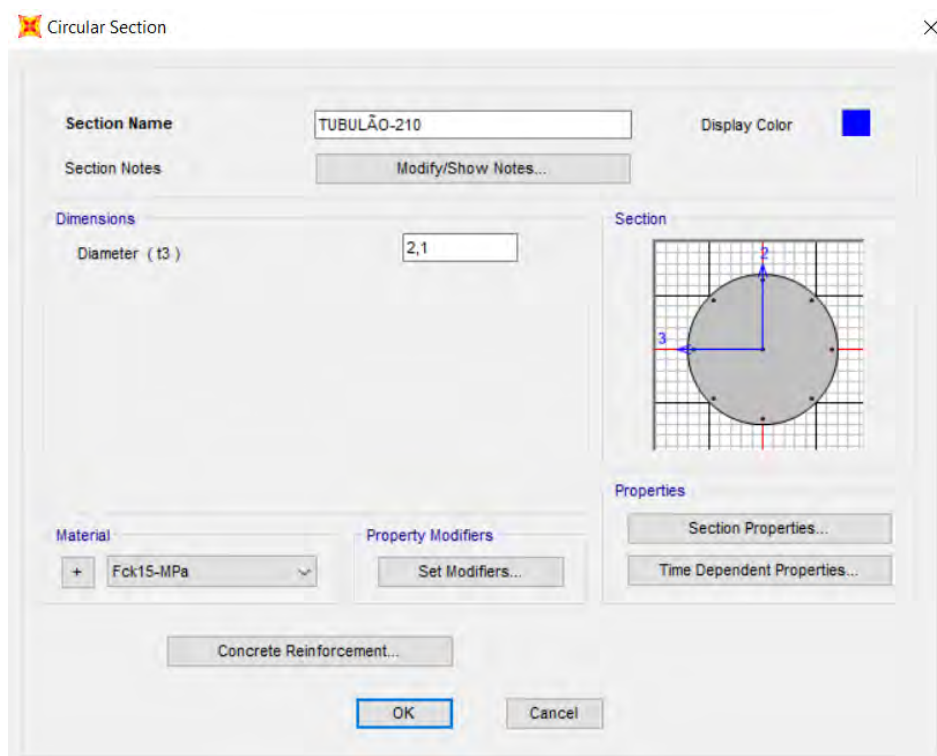


Figura 4.9 – Tubulão Existente

4.3.4 Viga do Encontro

Rectangular Section

Section Name: VG-ENCONTRO Display Color: ■

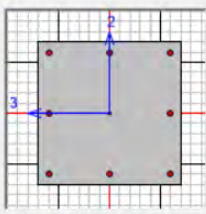
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3):

Width (t2):

Section



Material: Fck25MPa

Property Modifiers:

Properties:

Figura 4.10 – Viga do Encontro

4.3.5 Travessa dos Pilares

Rectangular Section

Section Name: VG-TR-80x70 Display Color: ■

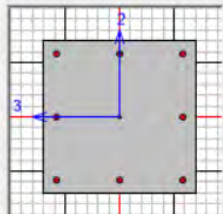
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3):

Width (t2):

Section



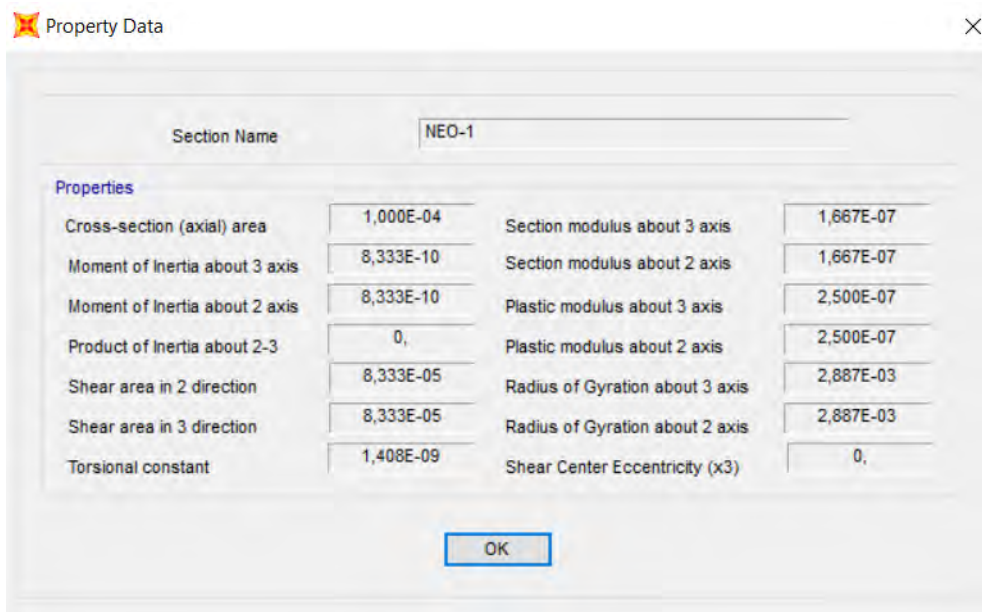
Material: Fck40MPa

Property Modifiers:

Properties:

Figura 4.11 – Viga do Travessa Sobre Pilares

4.3.6 Propriedade dos Neoprenes



Property Data

Section Name: NEO-1

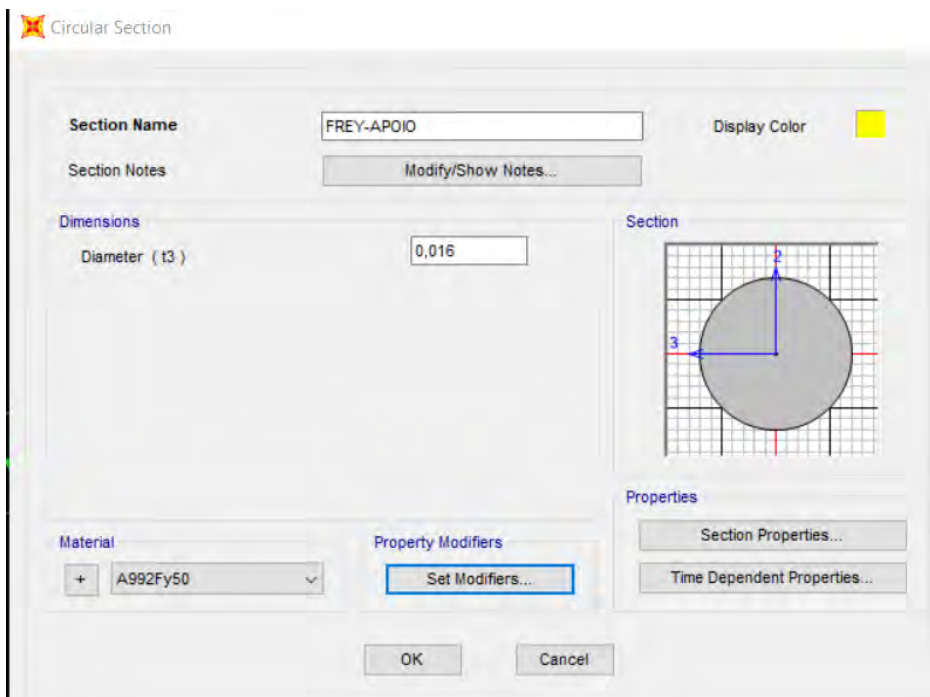
Properties

Cross-section (axial) area	1,000E-04	Section modulus about 3 axis	1,667E-07
Moment of Inertia about 3 axis	8,333E-10	Section modulus about 2 axis	1,667E-07
Moment of Inertia about 2 axis	8,333E-10	Plastic modulus about 3 axis	2,500E-07
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	2,500E-07
Shear area in 2 direction	8,333E-05	Radius of Gyration about 3 axis	2,887E-03
Shear area in 3 direction	8,333E-05	Radius of Gyration about 2 axis	2,887E-03
Torsional constant	1,408E-09	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

OK

Figura 4.12 – Propriedade dos Neoprenes

4.3.7 Propriedade dos Neoprenes



Circular Section

Section Name: FREY-APOIO

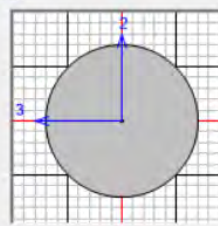
Section Notes: Modify/Show Notes...

Display Color:

Dimensions

Diameter (t3): 0,016

Section



Properties

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Material: A992Fy50

Property Modifiers: Set Modifiers...

OK Cancel

Figura 4.13 – Simulação da Rótula de Concreto

4.3.8 Pilar Parede

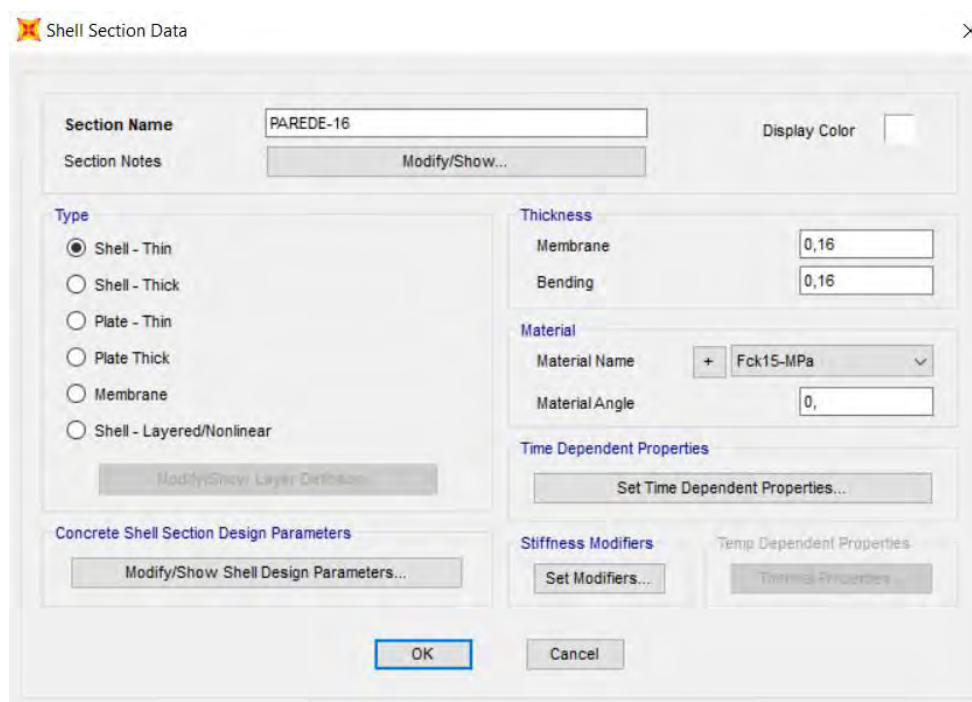


Figura 4.14 – Pilar Parede

4.4 CARREGAMENTOS APLICADOS

4.4.1 Carga Permanente - PERM



Figura 4.15 – Carregamento do Revestimento Sobre A Ponte – Lado Metálico

4.4.2 Carga Permanente – PERM 1



Figura 4.16 – Carregamento do Revestimento Sobre A Ponte – Lado Concreto

4.4.3 Permanentes Futura - 2ª Fase – “PERM-FUT”

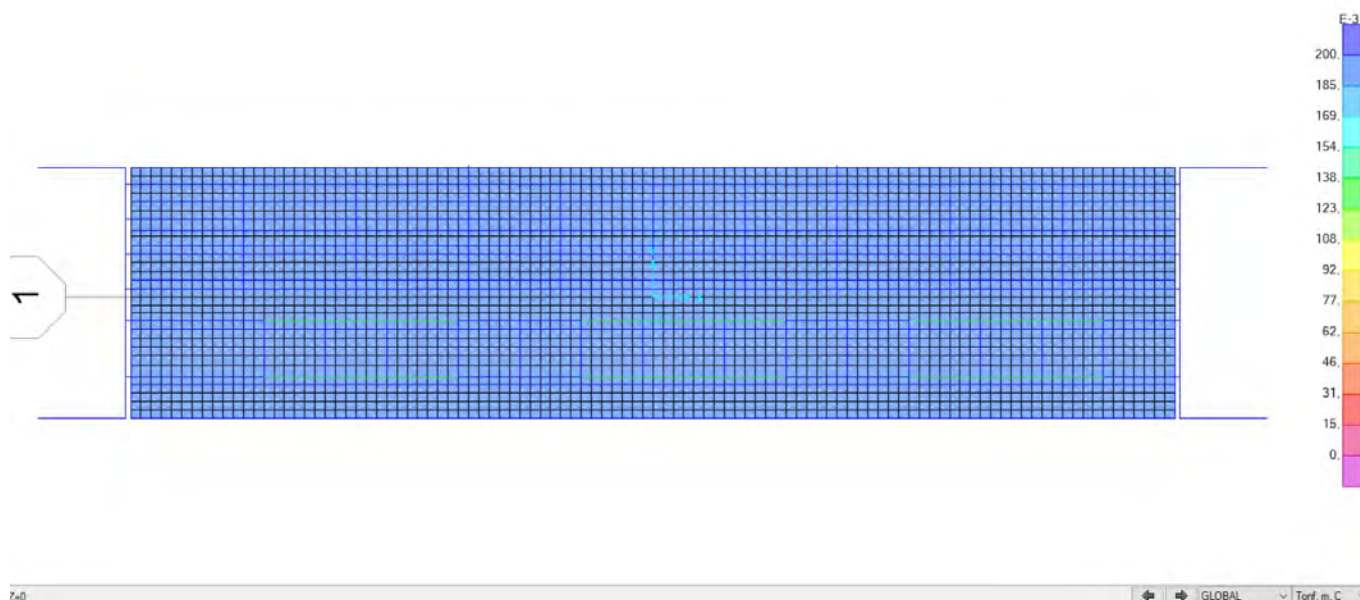


Figura 4.17 – Cargas Devido a Pavimento Futuro

Assumido como 5 cm de espessura a primeira pavimentação e 0,20 tf/m² para pavimentação futura, sugestão normativa.

4.4.4 Permanentes Guarda Corpo – “GC”

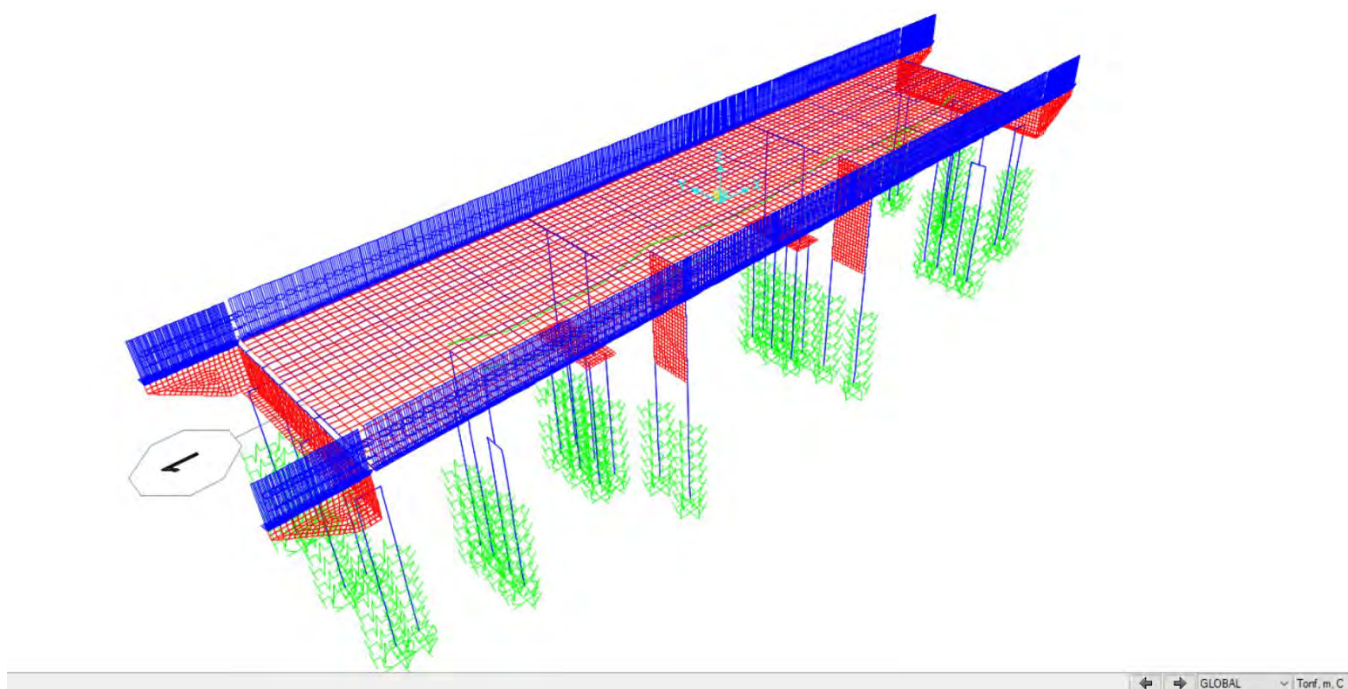


Figura 4.18 – Cargas Guarda Corpo - GC

4.4.5 Permanentes Guarda Rodas - 2ª Fase – “Gr”

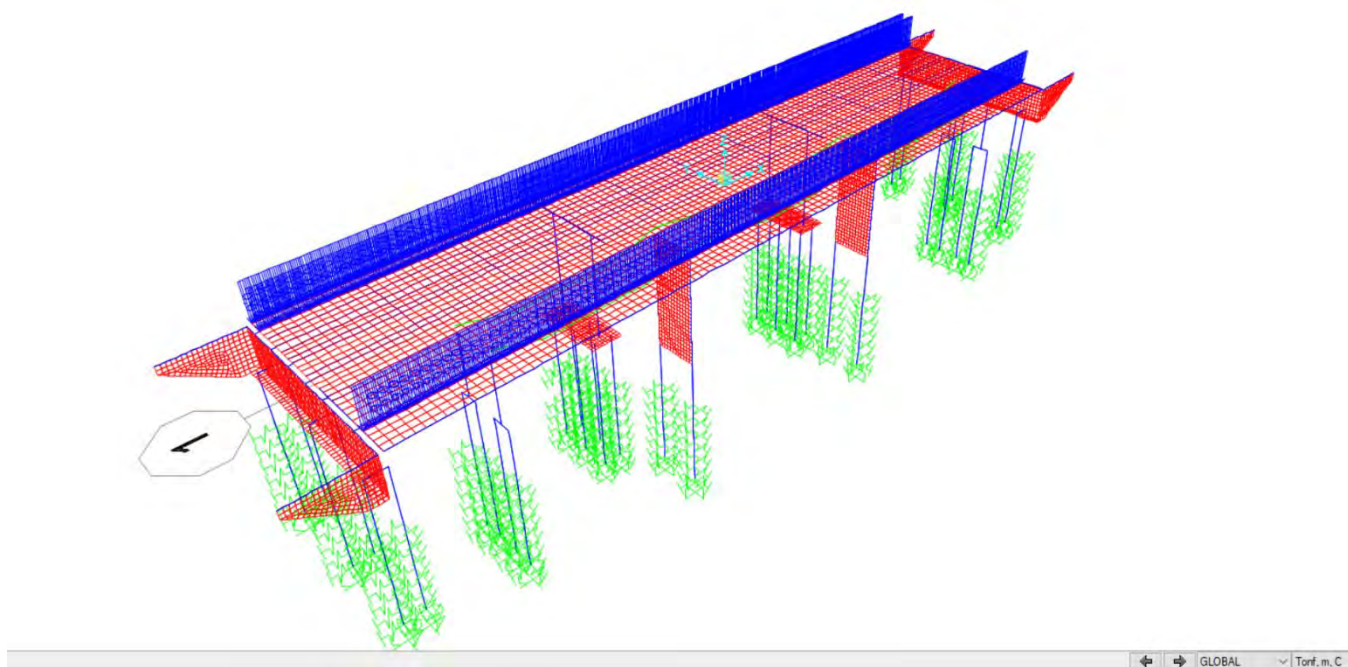
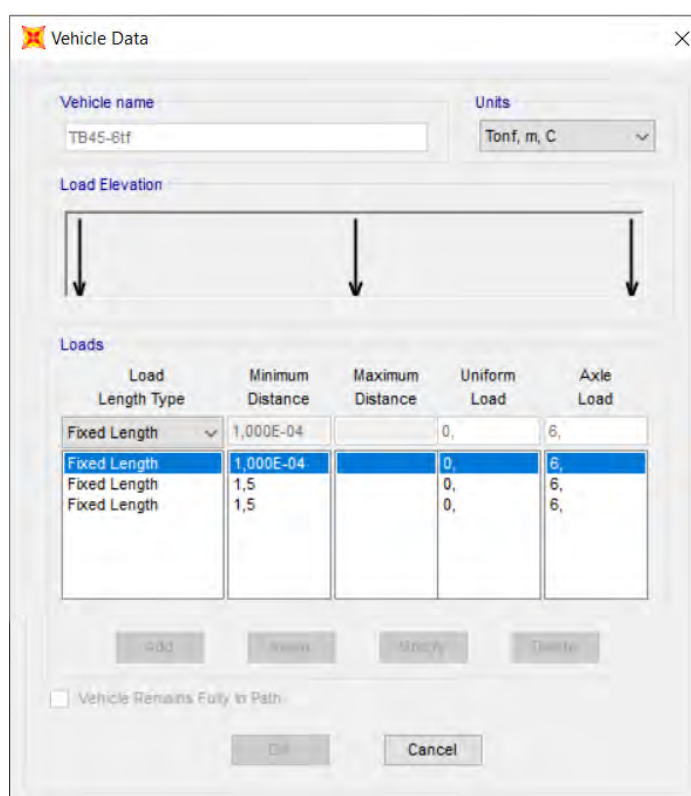


Figura 4.19 – Cargas Guarda Rodas – GR

4.4.6 Carregamento Móvel - Lanes



Vehicle Data

Vehicle name: TB45-6tf Units: Tonf, m, C

Load Elevation: [Diagram showing three downward arrows]

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	1,000E-04		0,	6,
Fixed Length	1,000E-04		0,	6,
Fixed Length	1,5		0,	6,
Fixed Length	1,5		0,	6,

Buttons: Add, Remove, Modify, Transfer

☐ Vehicle Remains Fully in Path

Buttons: OK, Cancel

Figura 4.20 – Lançamento do Trem Tipo

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



Figura 4.21– Lançamento das Lanes / Path

São 6 *lanes* gerando 6 Rotas de trens tipos:

- Na ponte de concreto próximo ao guarda rodas, inteiramente na ponte de concreto;
- Um roda na viga de concreto e a outra para o lado de dentro da ponte de concreto;
- Uma roda na viga de concreto e a outra para o lado da ponte metálica;

- Uma roda na viga metálica e a outra para dentro da ponte metálica;
- Uma roda ao centro da laje entre as duas pontes e a outra na ponte metálica;
- Uma duas rodas inteiramente na ponte metálica.

4.4.7 Carregamento Móvel – SCM-1



Figura 4.22 – Ponte Concreto - Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 1

4.4.8 Carregamento Móvel – SCM-2



Figura 4.23 – Ponte de Concreto - Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 2

4.4.9 Carregamento Móvel – SCM-3



Figura 4.24 – Ponte Concreto - Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 3

4.4.10 Carregamento Móvel – SCM-4



Figura 4.25 – Ponte Concreto - Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 4

4.4.11 Carregamento Móvel – SCM-5



Figura 4.26 – Ponte Concreto - Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 5

4.4.12 Sobrecarga de Pedestres – SPED1



Figura 4.27 – Ponte Concreto - Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 1

4.4.13 Sobrecarga de Pedestres – SPED2



Figura 4.28 – Ponte Concreto - Sobrecarga Pedestres (SPED2) – Vão 2

4.4.14 Sobrecarga de Pedestres – SPED3



Figura 4.29 – Ponte Concreto - Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 3

4.4.15 Sobrecarga de Pedestres – SPED4



Figura 4.30 – Ponte Concreto - Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 4

4.4.16 Sobrecarga de Pedestres – SPED5



Figura 4.31 – Ponte Concreto - Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 5

4.4.17 Carregamento Móvel – Vão 1



Figura 4.32 – Ponte Metálica – SCM-VAO1– Vão 1

4.4.18 Carregamento Móvel – Vão 2



Figura 4.33 – Ponte Metálica – SCM-VAO2– Vão 2

4.4.19 Carregamento Móvel – Vão 3



Figura 4.34 – Ponte Metálica – SCM-VAO3– Vão 3

4.4.20 Sobrecarga de Pedestres – SPED1



Figura 4.35 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 1

4.4.21 Sobrecarga de Pedestres – SPED2



Figura 4.36 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 2

4.4.22 Sobrecarga de Pedestres – SPED3

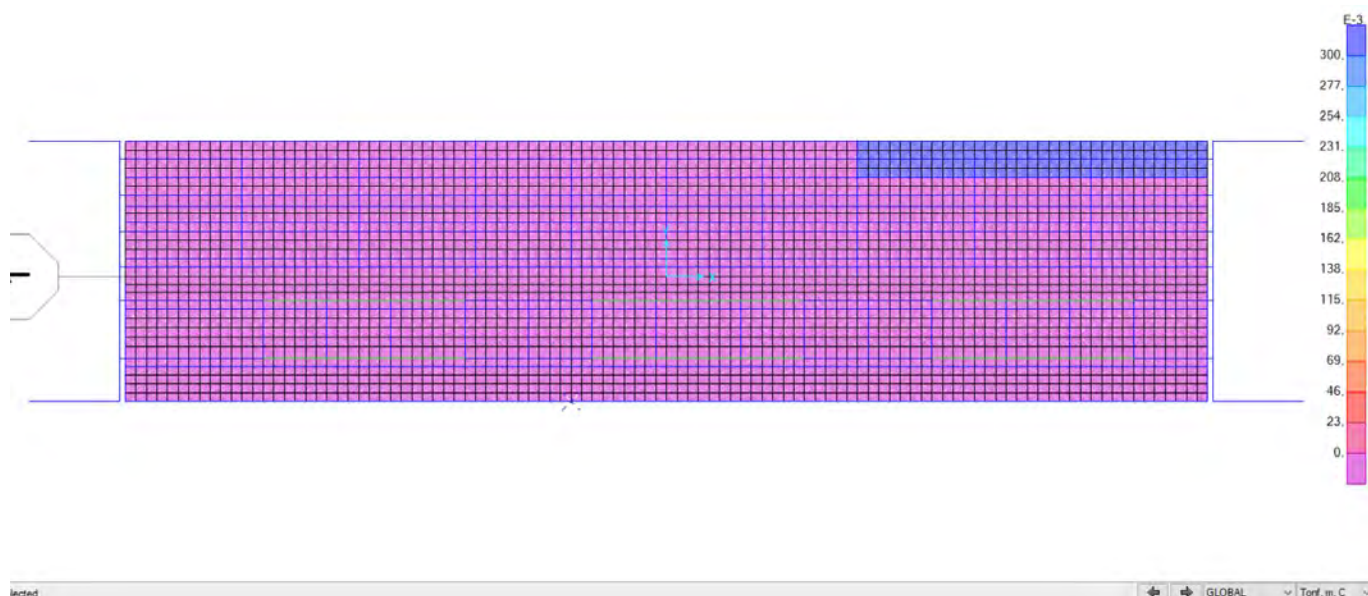


Figura 4.37 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 3

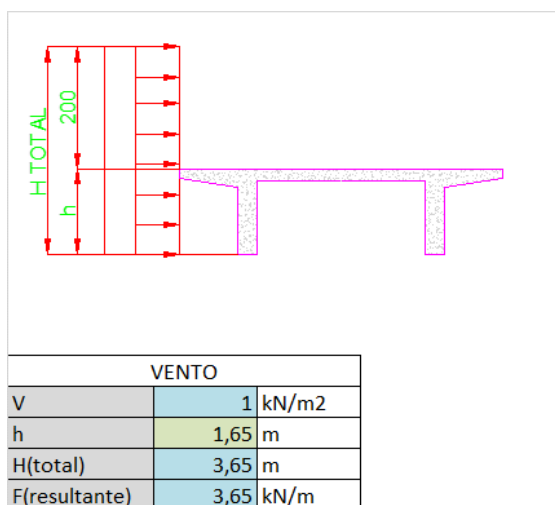
4.4.23 Frenagem

FRENAGEM		
LARGURA (B)	8	m
CNF	1	adm
COMP. TOTAL	51	m
ADOTADO	135	kN
	0,330882	kN/m ²



Figura 4.38 – Carregamento de Frenagem e Aceleração

4.4.24 Vento



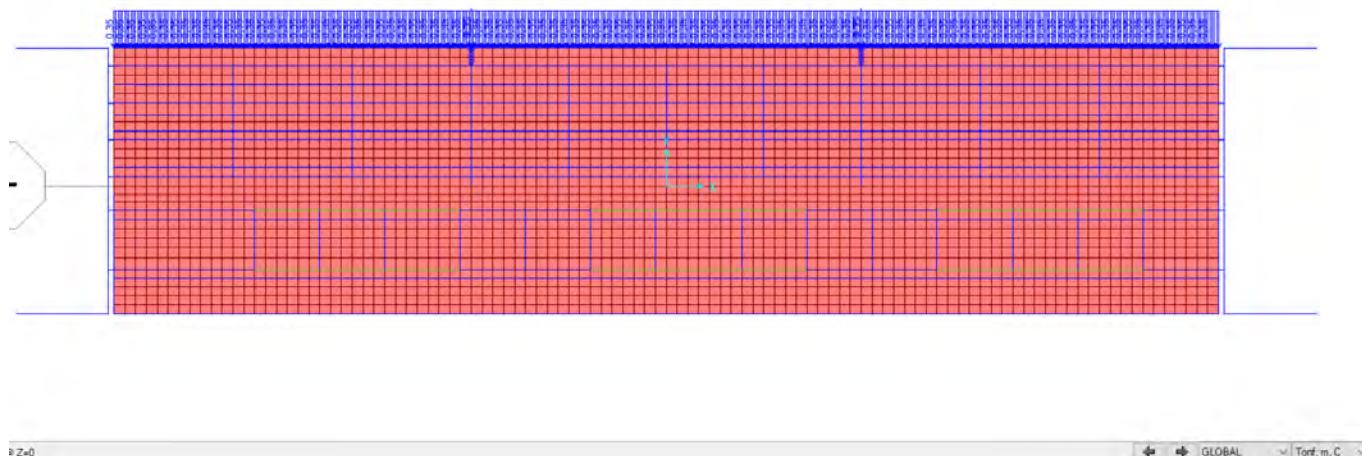


Figura 4.39 – Carregamento de Vento

4.4.25 Temperatura Diferencial – 10° C

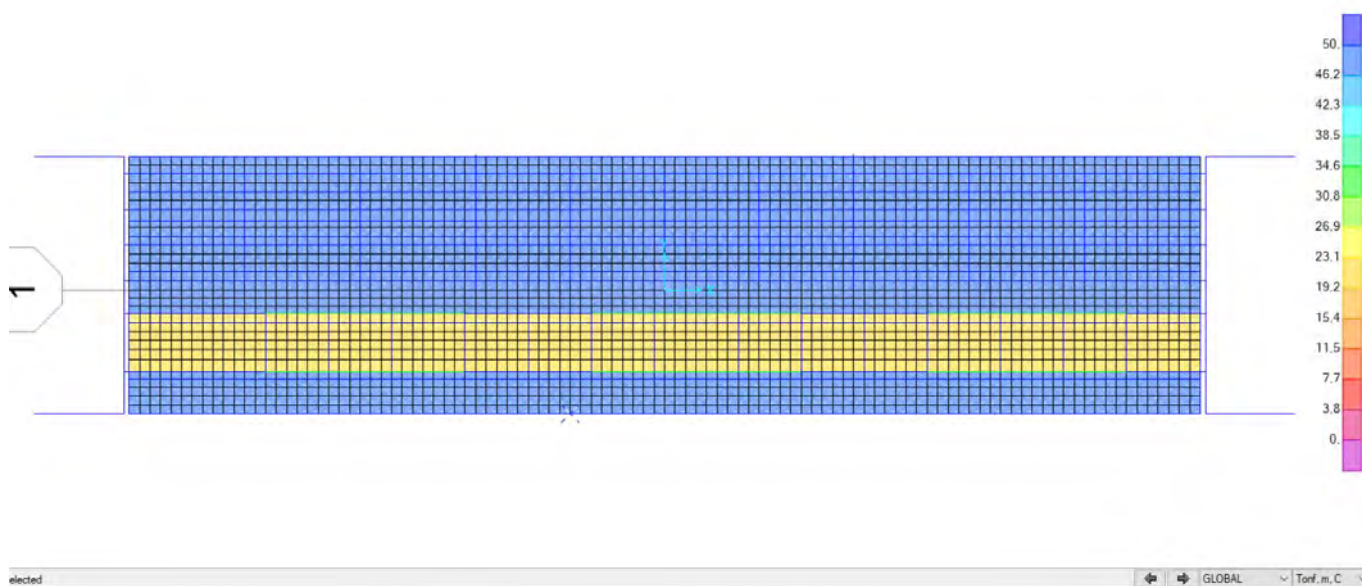


Figura 4.40 – Carregamento de Vento

Temperatura de 10°C dividida pela espessura da laje de concreto.

4.4.26 Retração de – 15° C na última Laje Concretada



Figura 4.41 – Retração da Última Concretagem

4.4.27 Temperatura Total – 30° C em toda Ponte



Figura 4.42 – Variação de Temperatura em Todo Tabuleiro

4.4.28 Empuxo de Água nos Pilares:

$$q = 0,35 \times 5,5^2 = 11,64 \text{ kN/m}^2; \text{ - Circulares}$$

$$q = 0,26 \times 5,5^2 = 7,86 \text{ kN/m}^2; \text{ - Quinas}$$

$$q = 0,72 \times 5,5^2 = 21,78 \text{ kN/m}^2; \text{ - Bloco de Fundação}$$

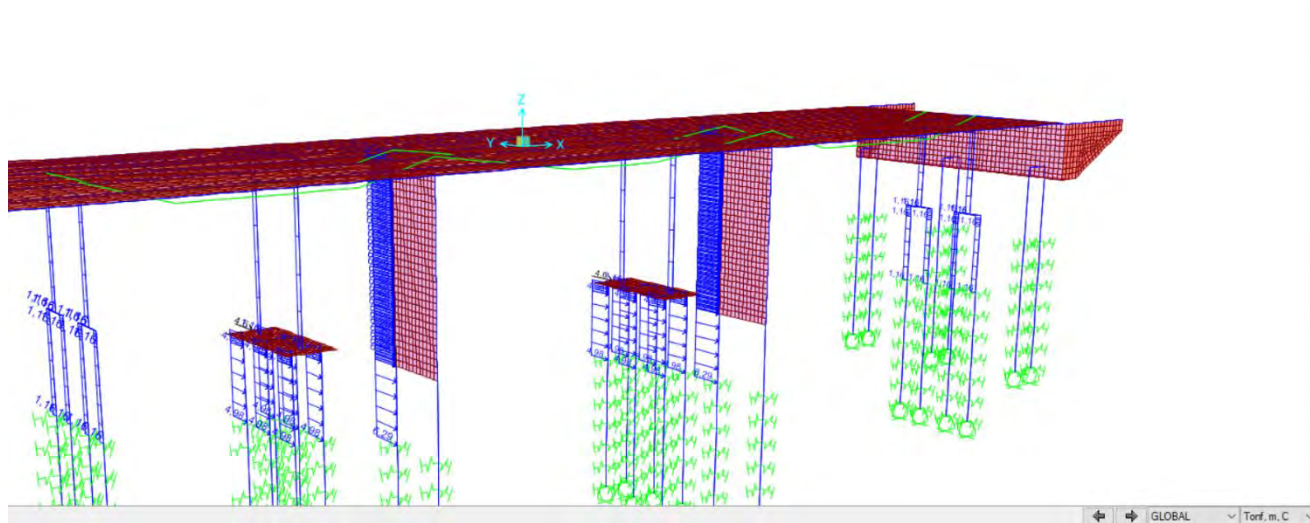


Figura 4.43 – Empuxo de Água nos Pilares

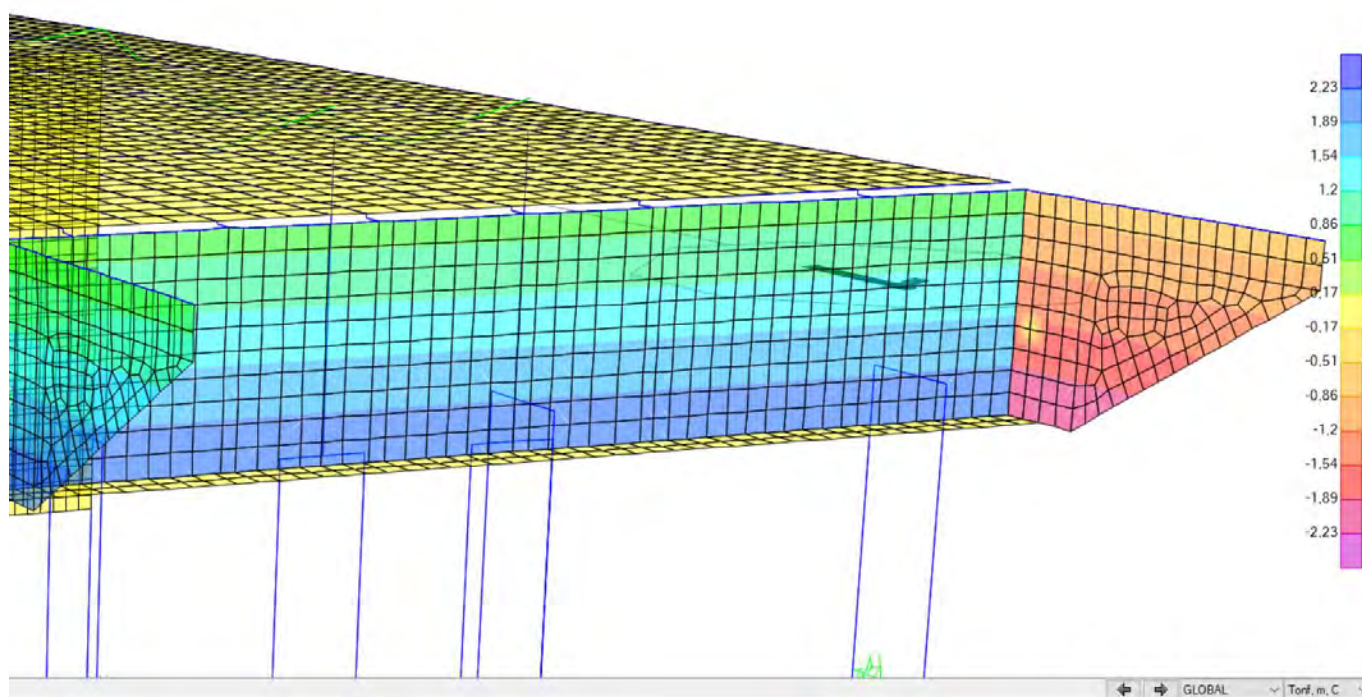


Figura 4.44 – Empuxo de Solo no Encontro

5.0 RESULTADOS

5.1 ESFORÇOS SOLICITANTES NA LONGARINA – V6

5.1.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m –COMB 2 PERM - ABERTA

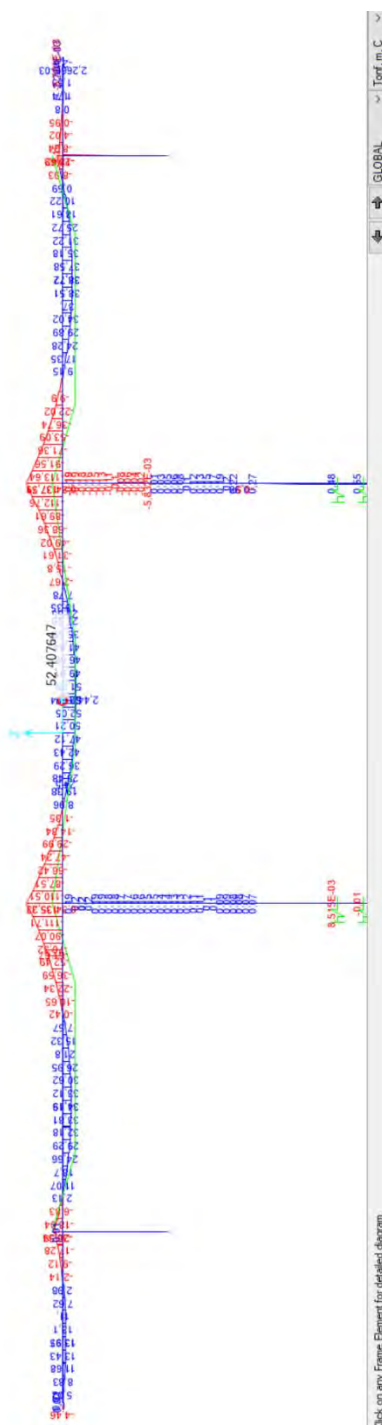


Figura 5.1 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.1.2 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB PERM – Ponte Fechada



5.2 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Fechada

5.1.3 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

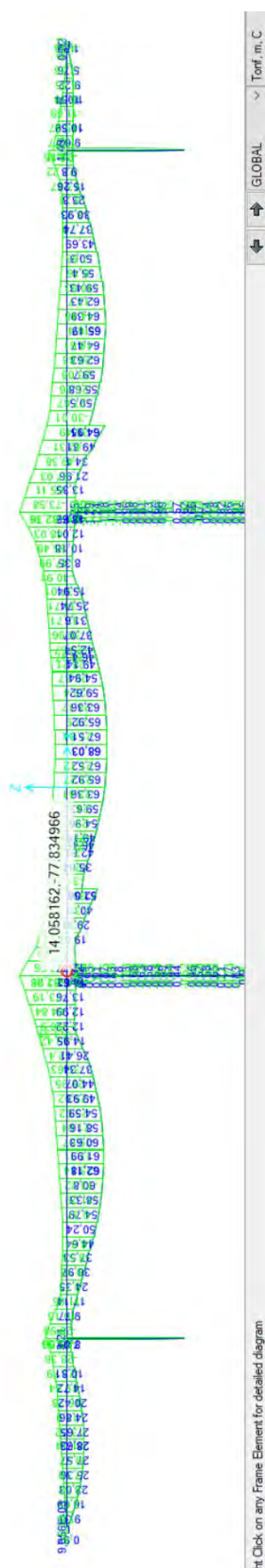


Figura 5.3 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.1.4 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

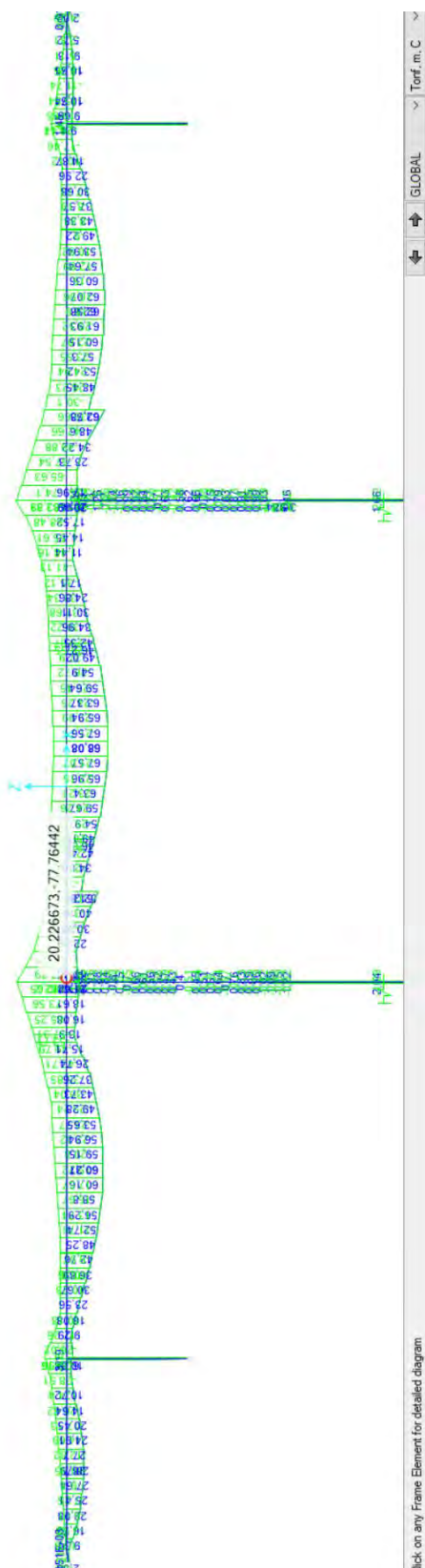


Figura 5.4 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte fechada

5.1.5 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Aberta

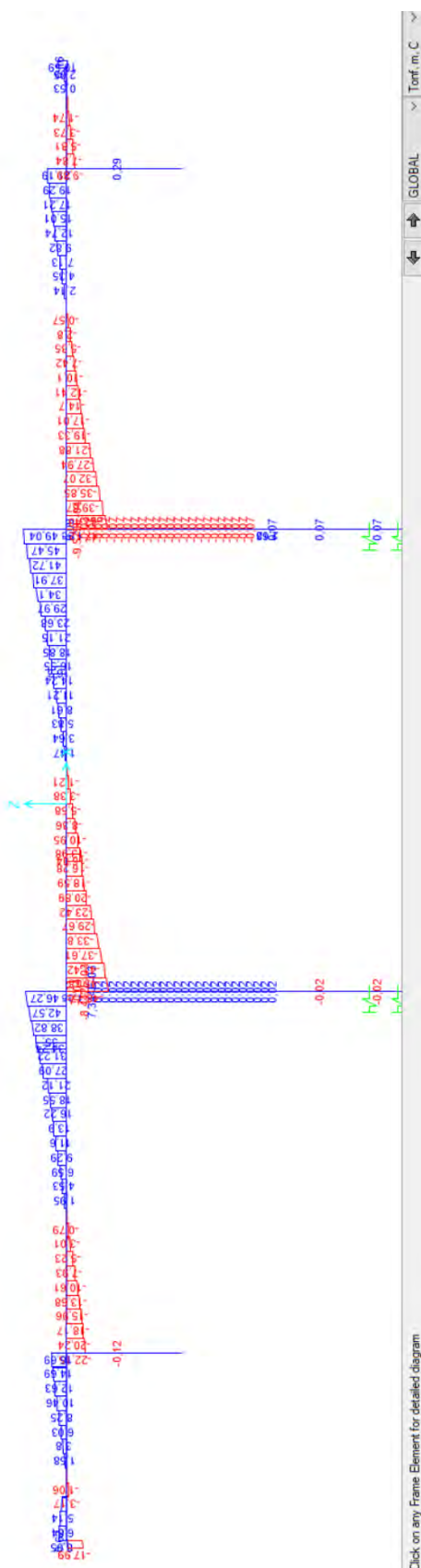


Figura 5.5 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Aberta

5.1.6 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Fechada

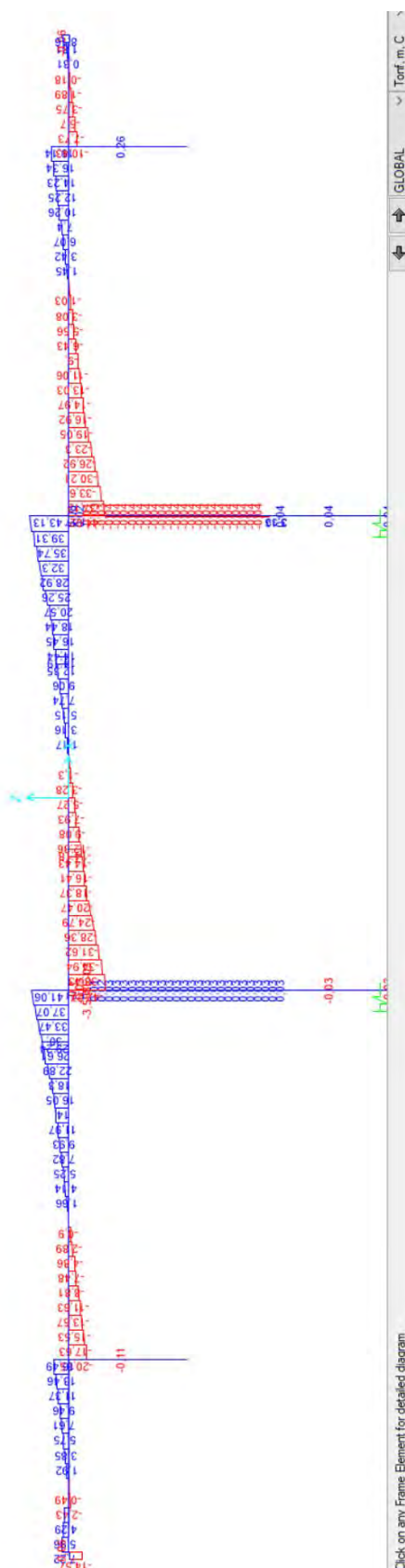


Figura 5.6 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Fechada

5.1.7 Diagrama de Cortante – $tf \times m$ – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

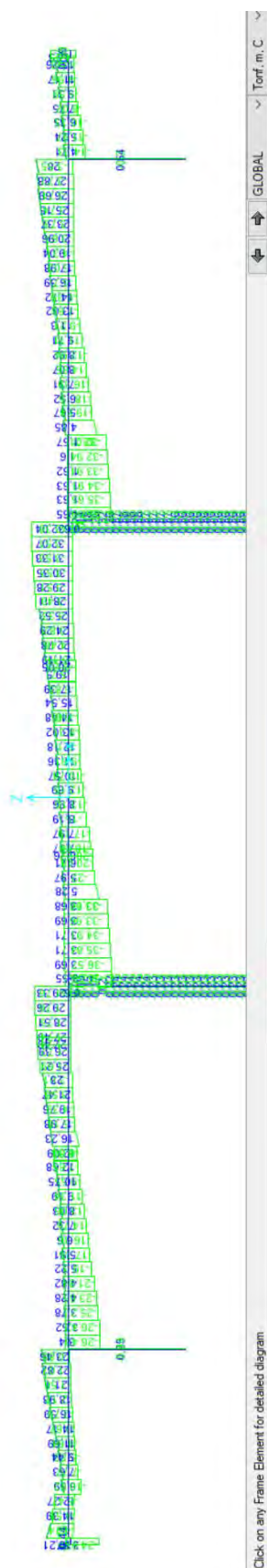


Figura 5.7 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte Aberta

5.1.8 Diagrama de Cortante – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada



Figura 5.8 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte fechada

5.2 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V5

5.2.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m –COMB 2 PERM - ABERTA

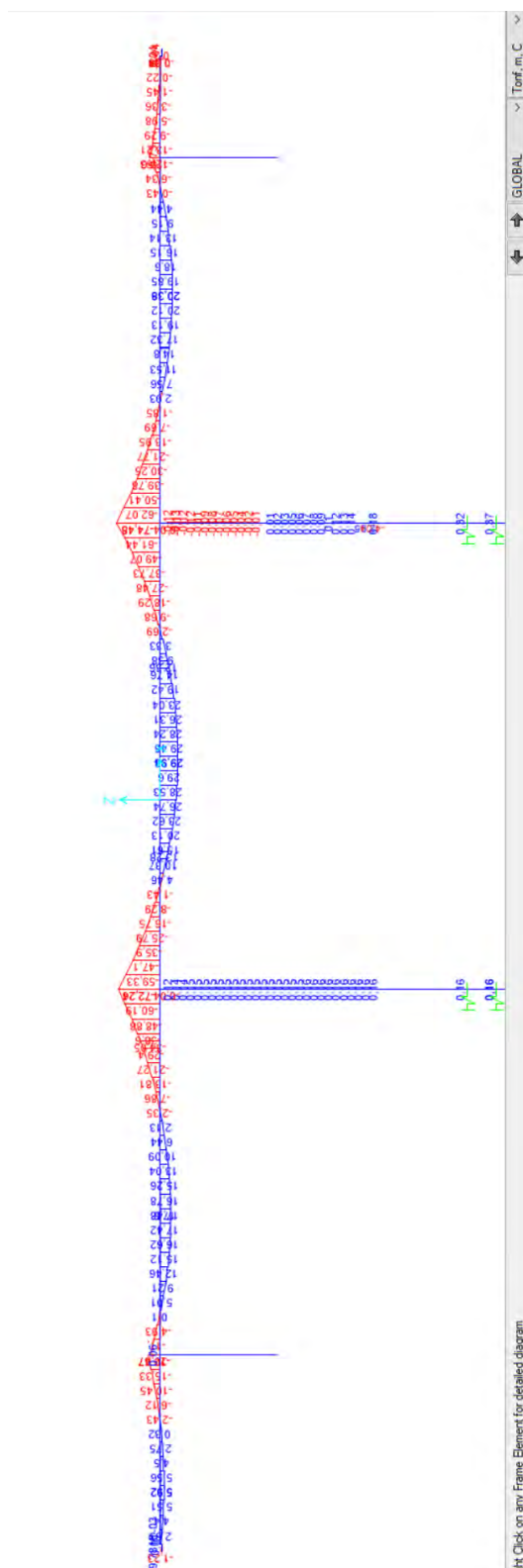


Figura 5.9 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.2.2 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB PERM – Ponte Fechada

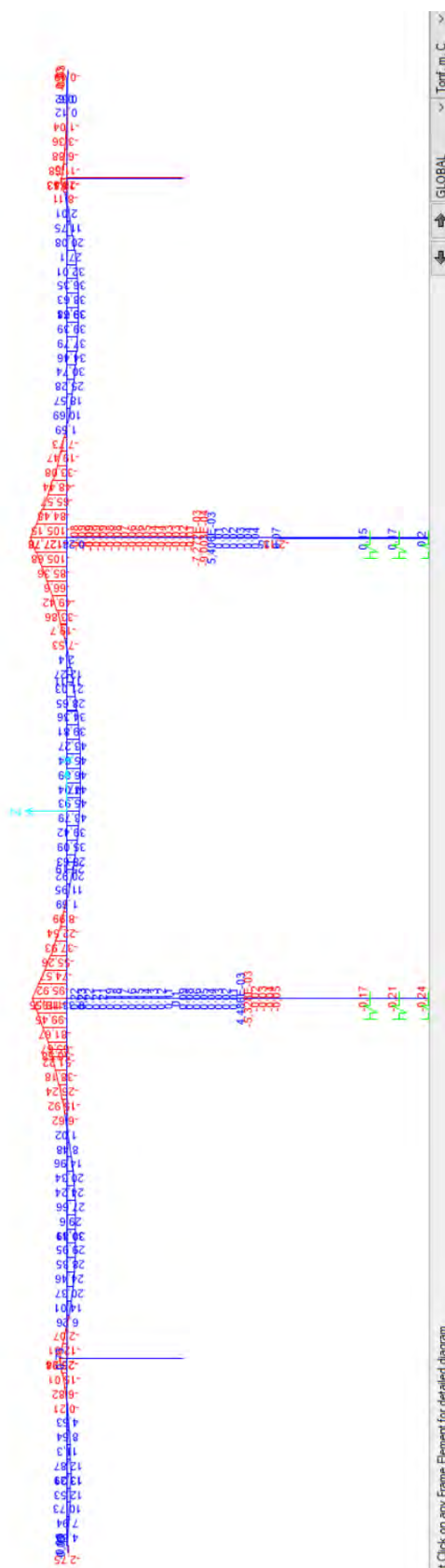


Figura 5.10 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Fechada

5.2.4 Diagrama de Momento Fletor – $tf \times m$ – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

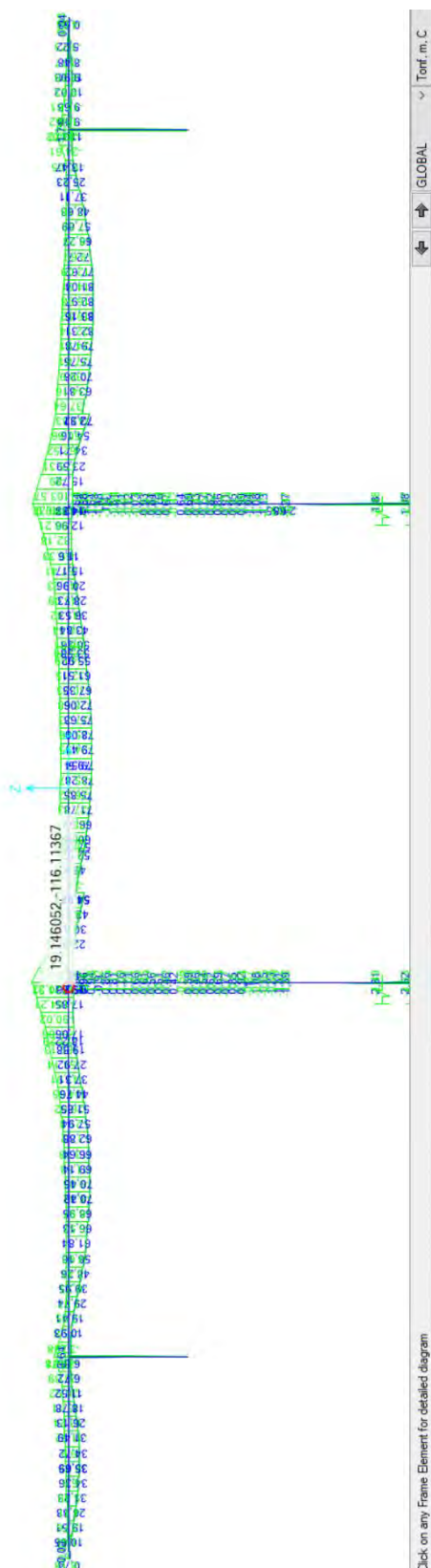


Figura 5.12 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte fechada

5.2.5 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Aberta

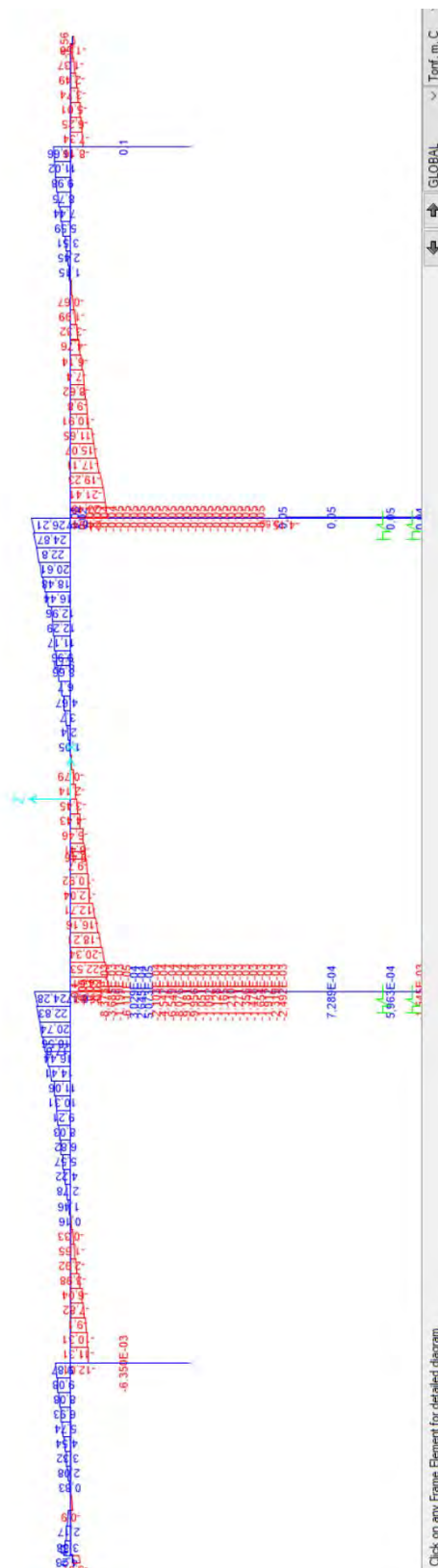


Figura 5.13 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Aberta

5.2.6 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Fechada

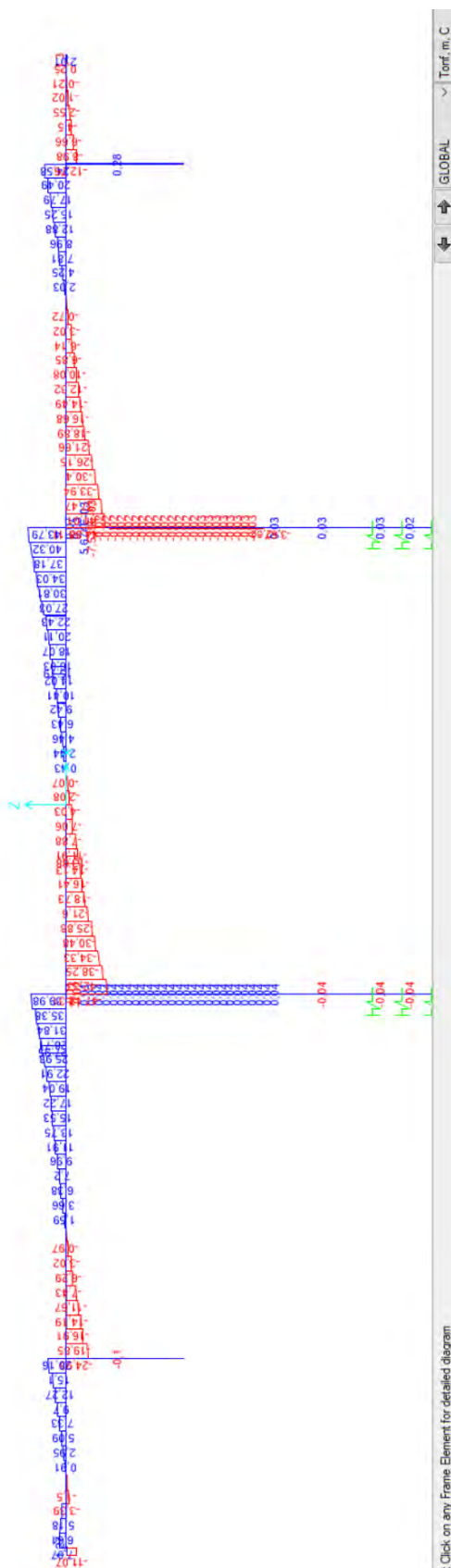


Figura 5.14 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Fechada

5.2.7 Diagrama de Cortante – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta



Figura 5.15 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte Aberta

5.2.8 Diagrama de Cortante – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

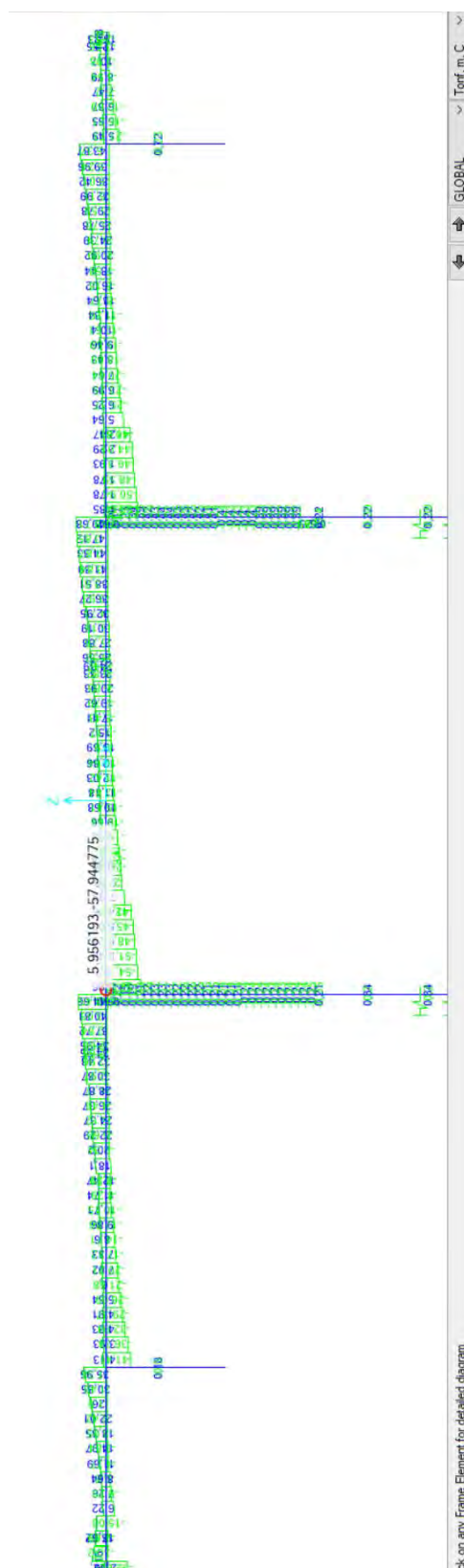


Figura 5.16 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte fechada

5.3 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V4

5.3.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m –COMB 2 PERM - ABERTA

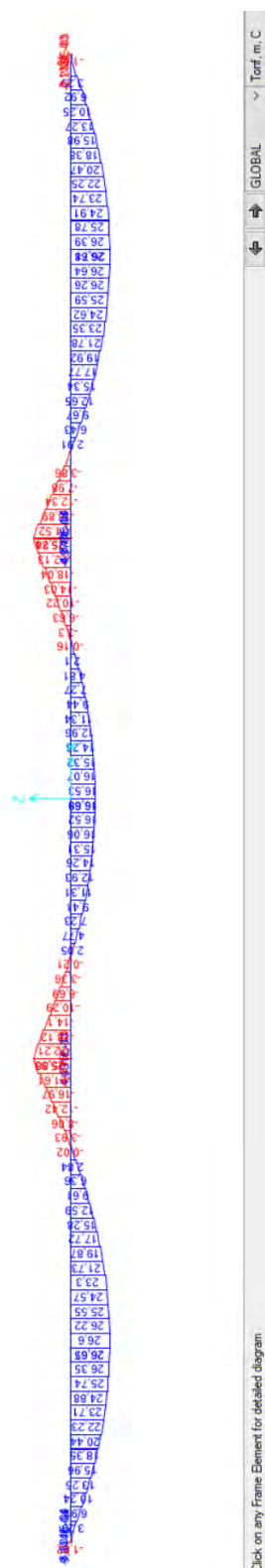


Figura 5.17 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.3.2 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB PERM – Ponte Fechada



Figura 5.18 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Fechada

5.3.3 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

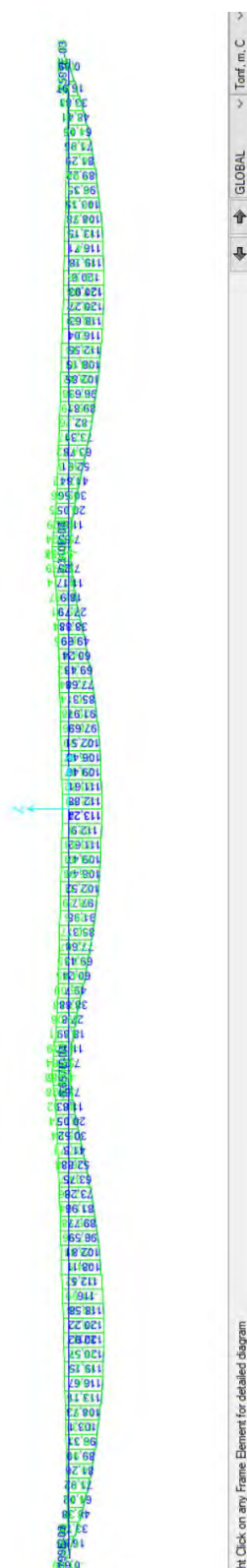


Figura 5.19 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.3.4 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

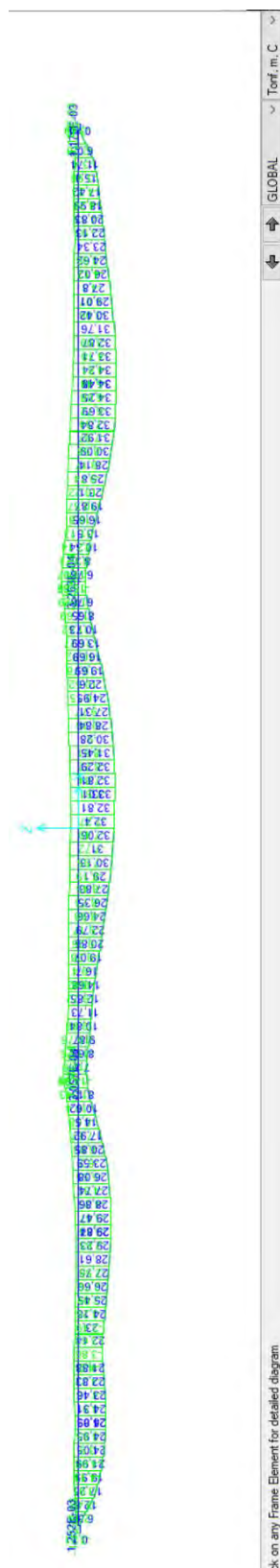


Figura 5.20 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte fechada

5.3.5 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Aberta

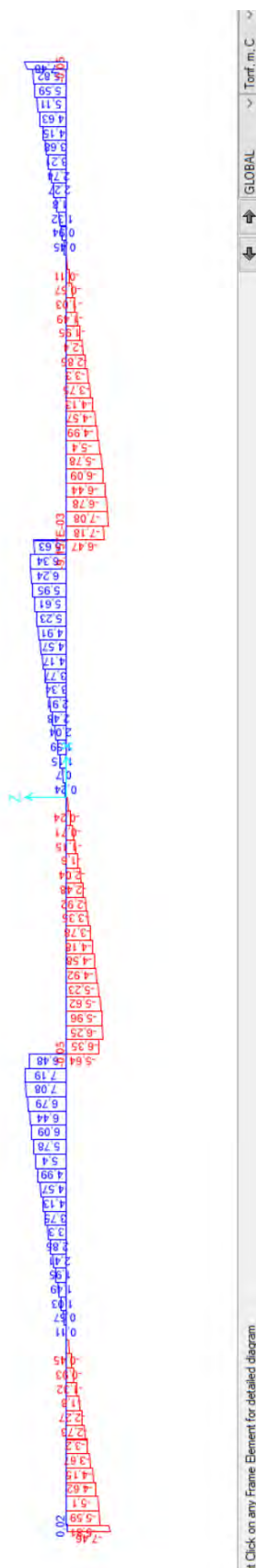


Figura 5.21 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Aberta

5.3.6 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Fechada

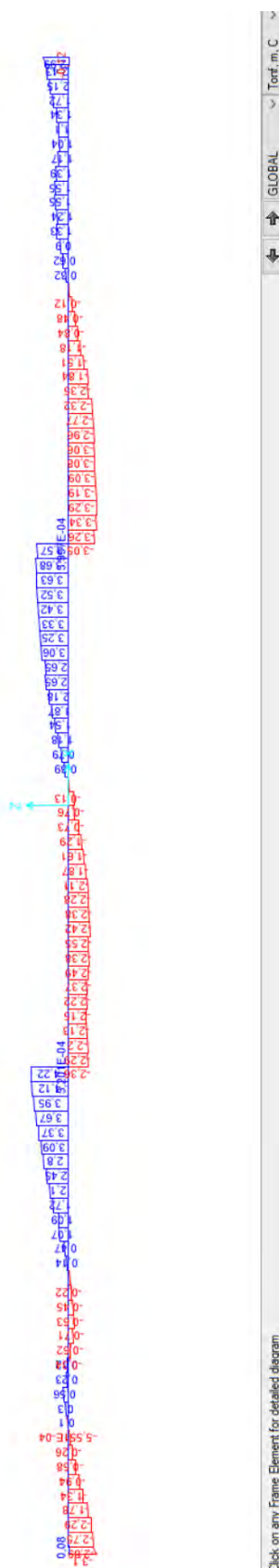


Figura 5.22 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Fechada

5.3.7 Diagrama de Cortante – $t_f \times m$ – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta



Figura 5.23 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte Aberta

5.4 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V3

5.4.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB 2 PERM - ABERTA

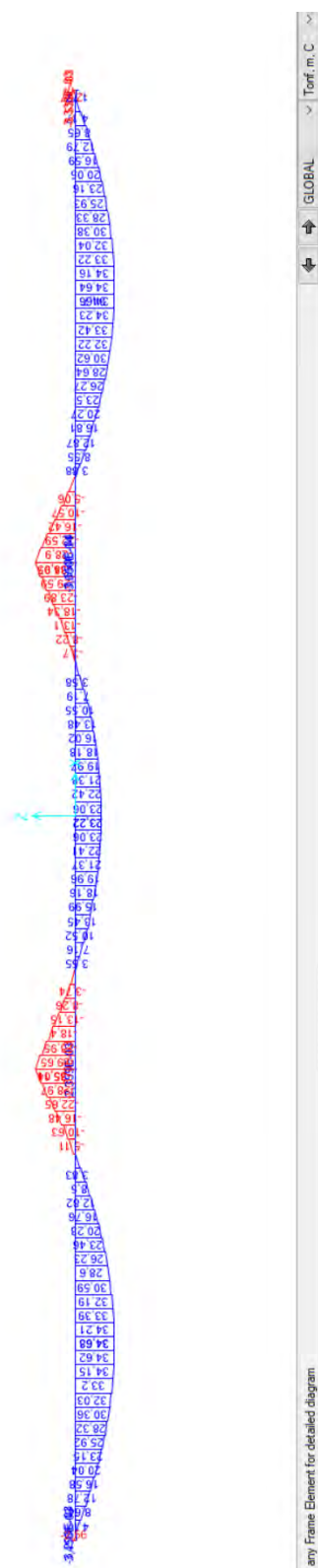


Figura 5.25 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.4.2 Diagrama de Momento Fletor – $tf \times m$ – COMB PERM – Ponte Fechada



Figura 5.26 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Fechada

5.4.3 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

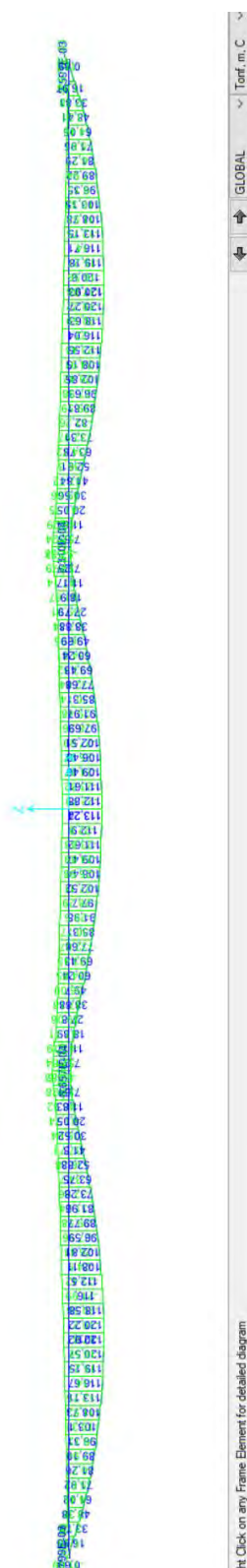


Figura 5.27 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.4.4 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

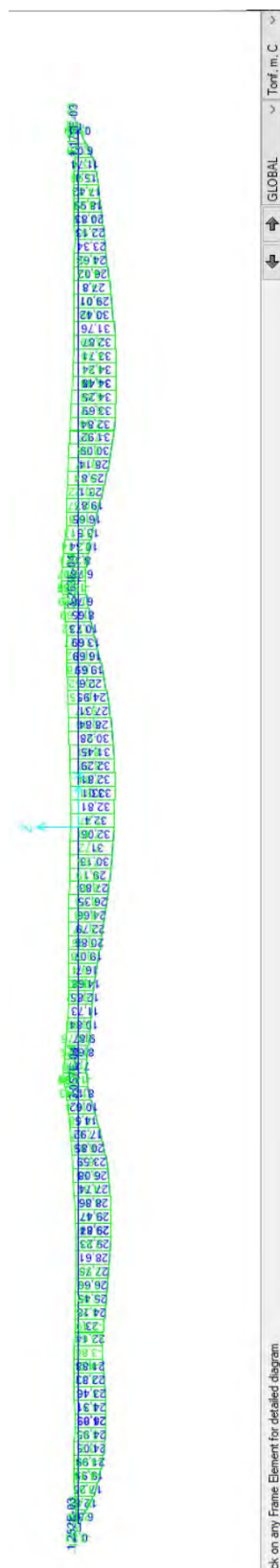


Figura 5.28 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte fechada

5.4.7 Diagrama de Cortante – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

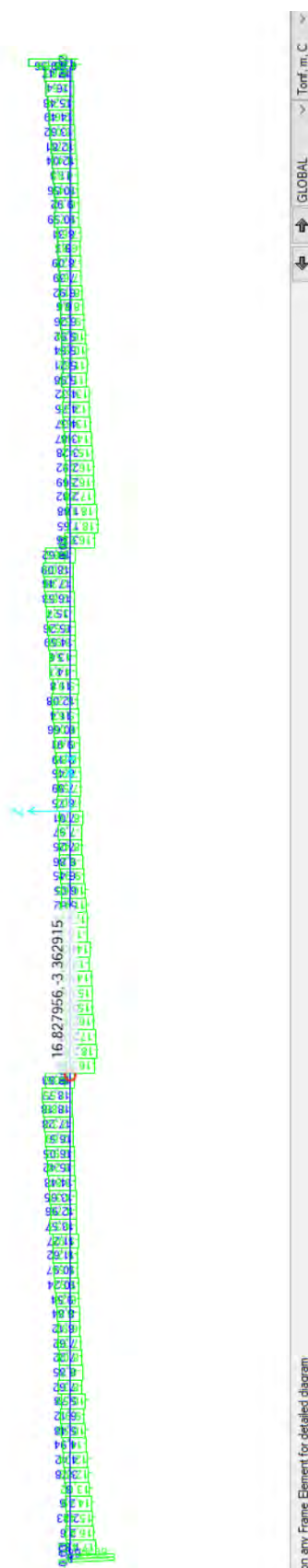


Figura 5.31 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte Aberta

5.4.8 Diagrama de Cortante – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

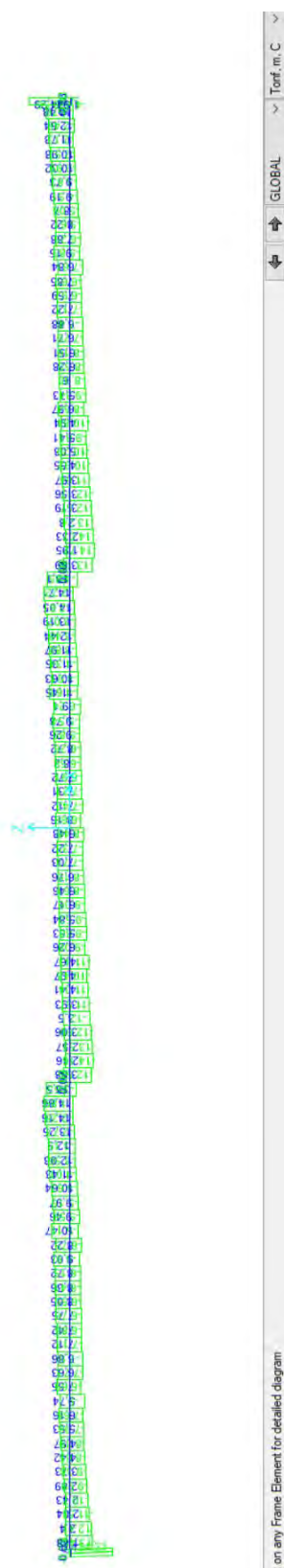


Figura 5.32 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte fechada

5.5 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V2

5.5.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB 2 PERM - ABERTA

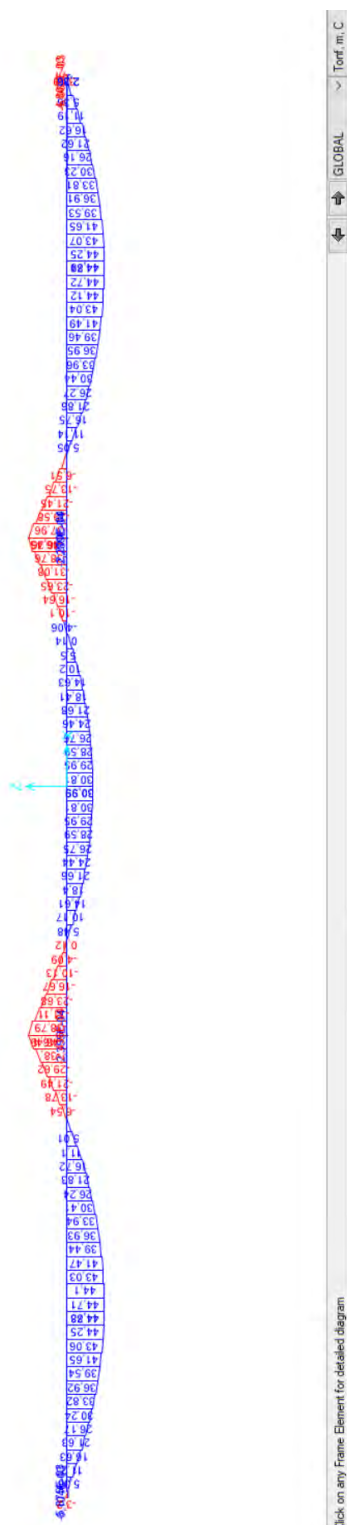


Figura 5.33 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.5.2 Diagrama de Momento Fletor – $tf \times m$ – COMB PERM – Ponte Fechada

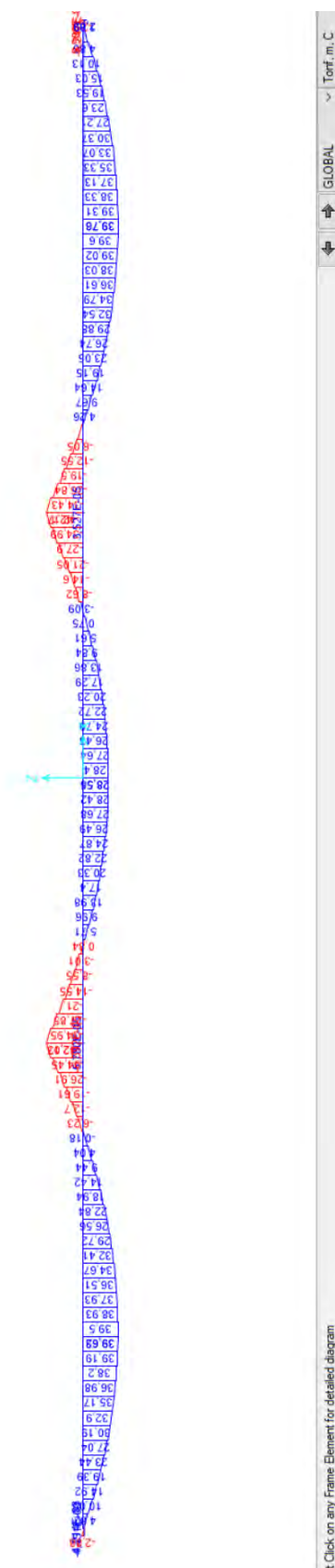


Figura 5.34 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Fechada

5.5.3 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

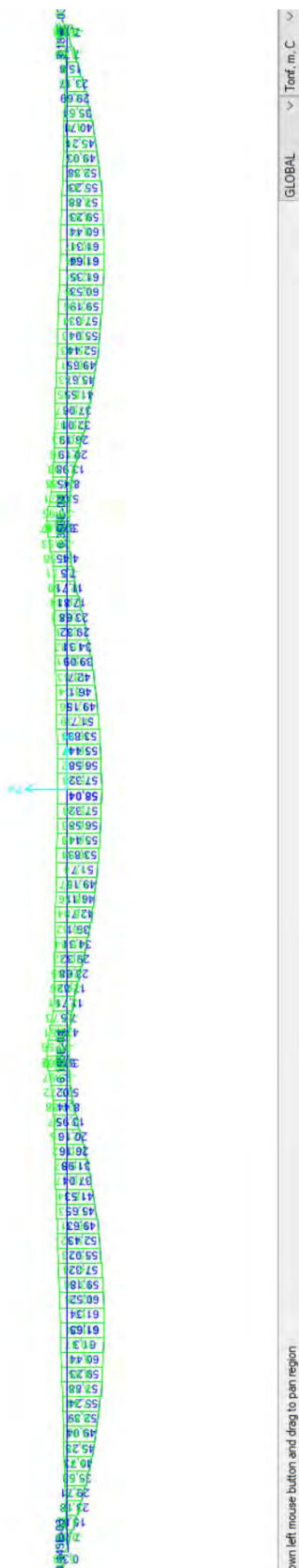


Figura 5.35 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.5.4 Diagrama de Momento Fletor – $tf \times m$ – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

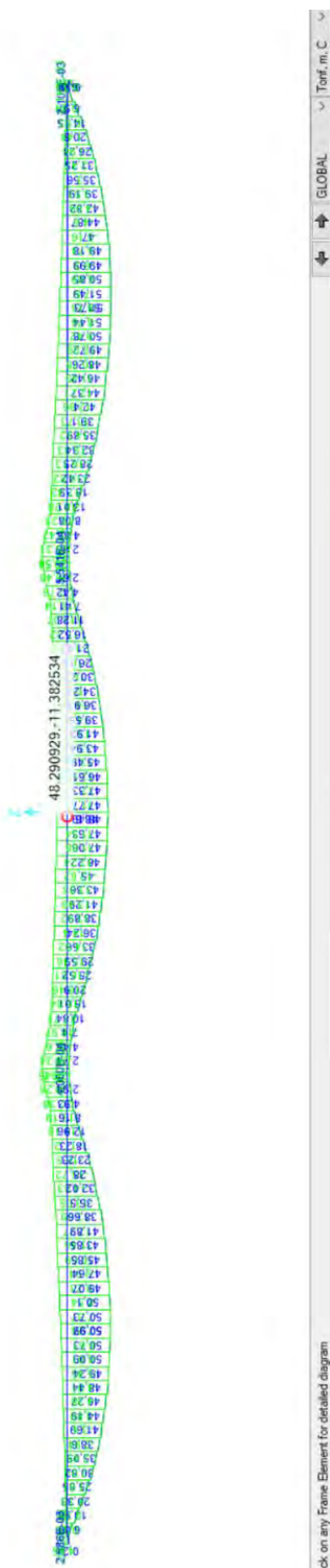


Figura 5.36 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte fechada

5.5.5 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Aberta



Figura 5.37 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Aberta

5.5.6 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Fechada

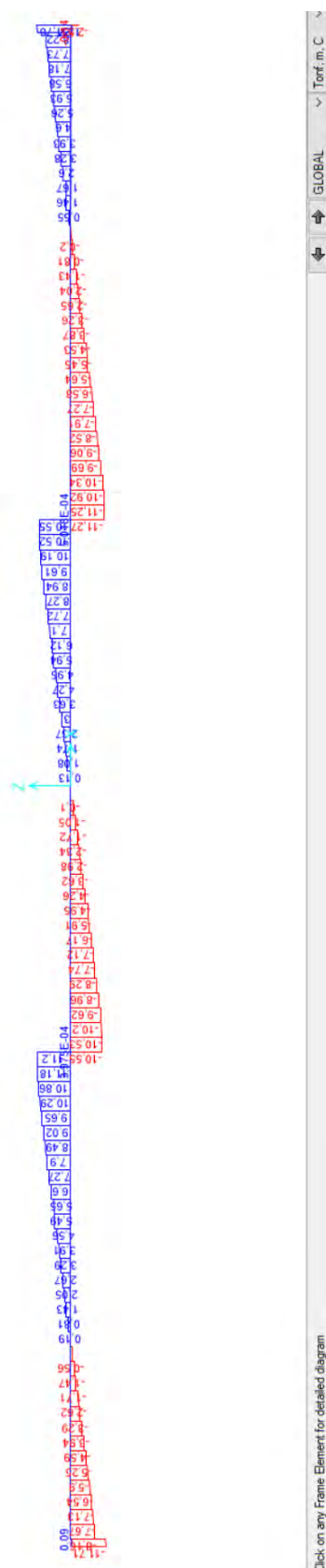


Figura 5.38 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Fechada

5.5.7 Diagrama de Cortante – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

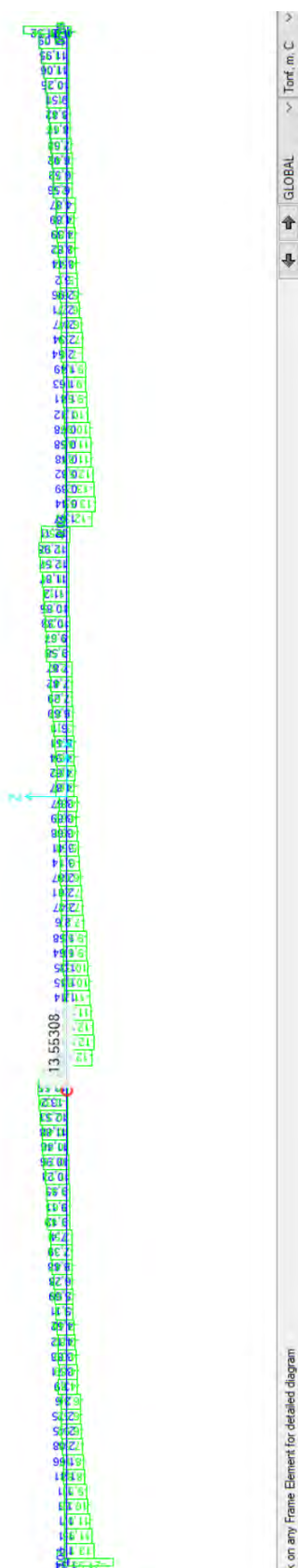


Figura 5.39 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte Aberta

5.5.8 Diagrama de Cortante – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

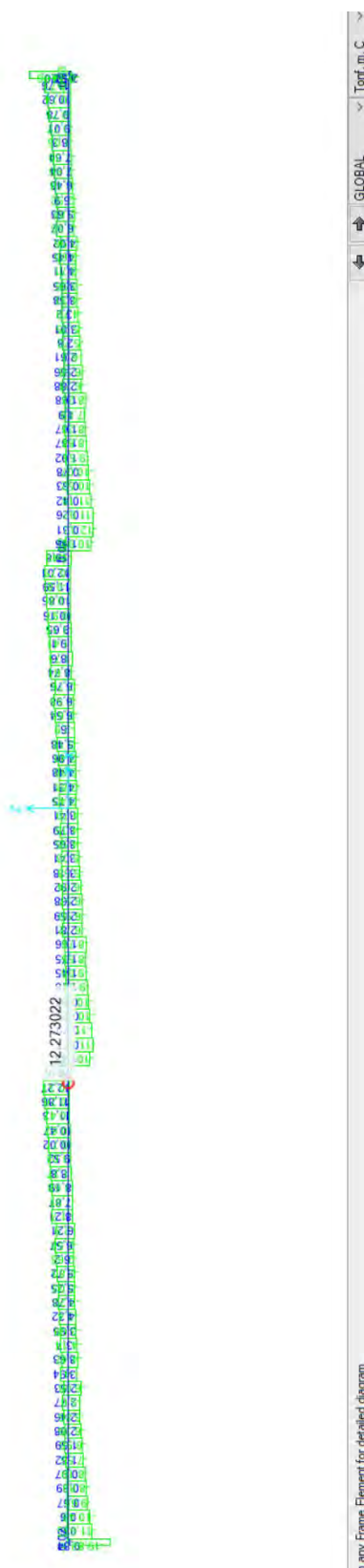


Figura 5.40 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte fechada

5.6 ESFORÇOS SOLICITANTES NAS LONGARINAS V1

5.6.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB 2 PERM - ABERTA

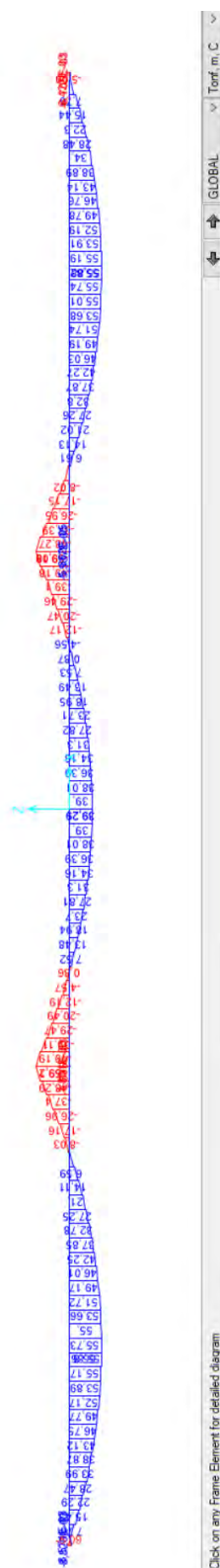


Figura 5.41 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.6.2 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB PERM – Ponte Fechada

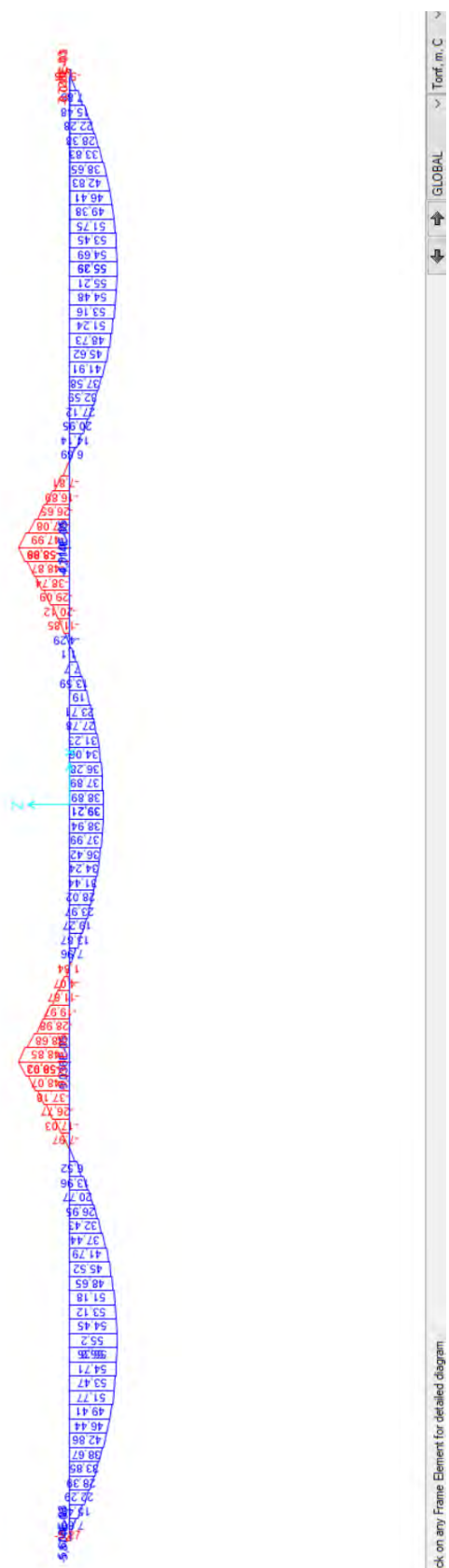


Figura 5.42 – COMB1 (PERM) – Momento Fletor – Ponte Fechada

5.6.3 Diagrama de Momento Fletor – $t_f \times m$ – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

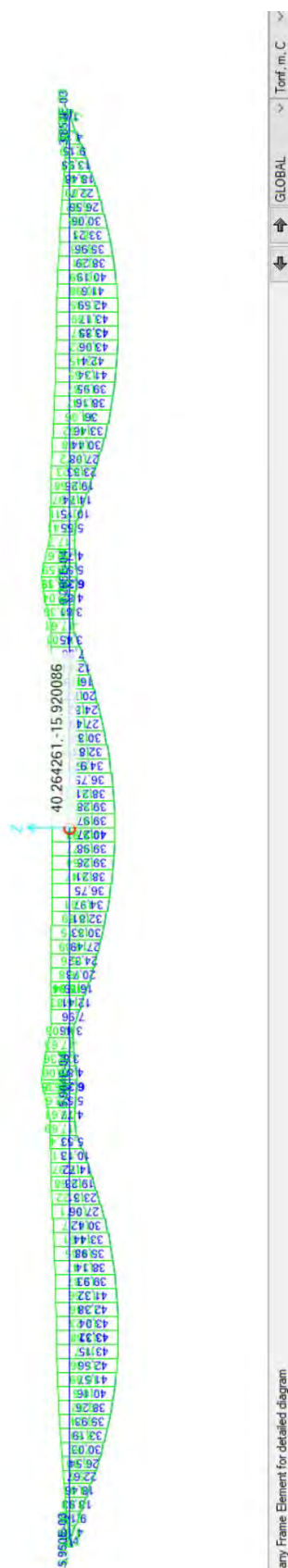


Figura 5.43 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte Aberta

5.6.4 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

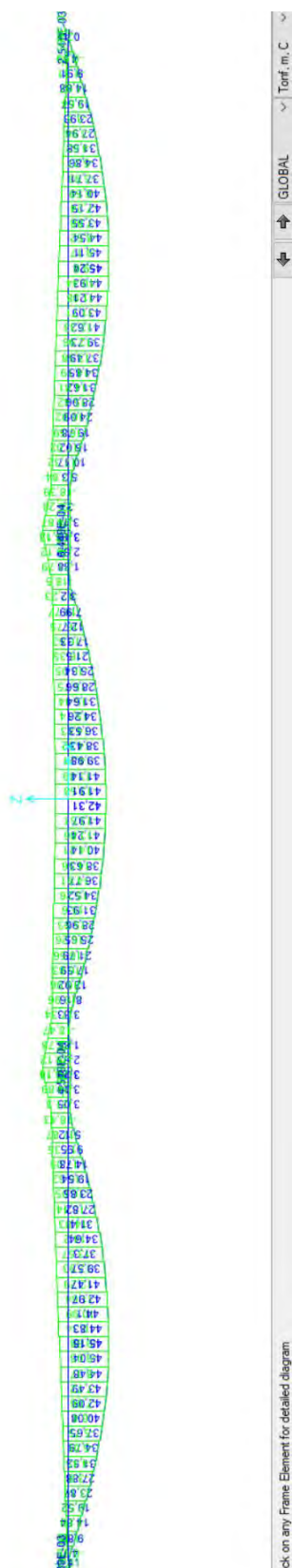


Figura 5.44 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Momento Fletor – Ponte fechada

5.6.5 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Aberta

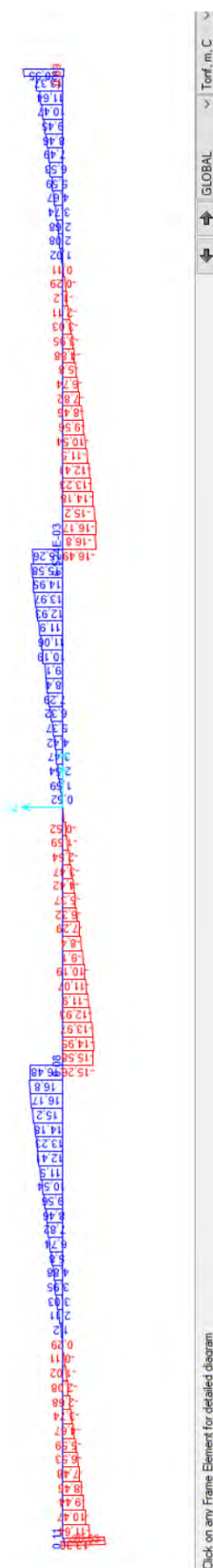


Figura 5.45 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Aberta

5.6.6 Diagrama de Esforço Cortante – tf x m – COMB2 PERM – Ponte Fechada

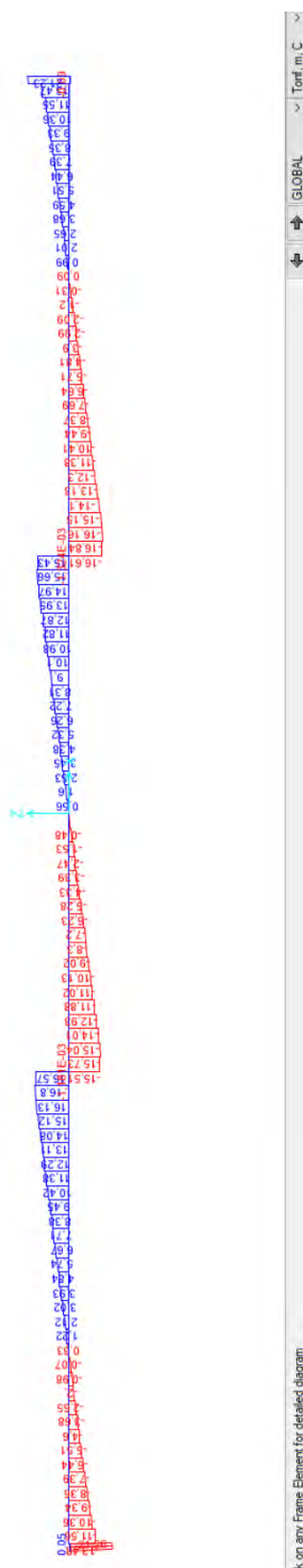


Figura 5.46 – COMB2 PERM– Esforço Cortante – Ponte Fechada

5.6.7 Diagrama de Cortante – tf x m – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Aberta

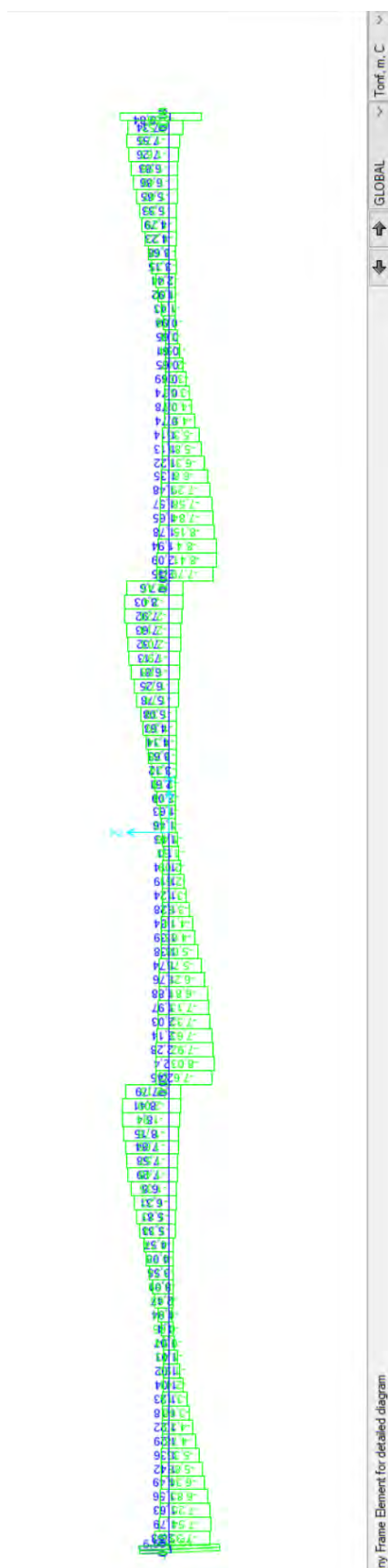


Figura 5.47 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte Aberta

5.6.8 Diagrama de Cortante – $tf \times m$ – COMB ENV-CARGAMOVEL – Ponte Fechada

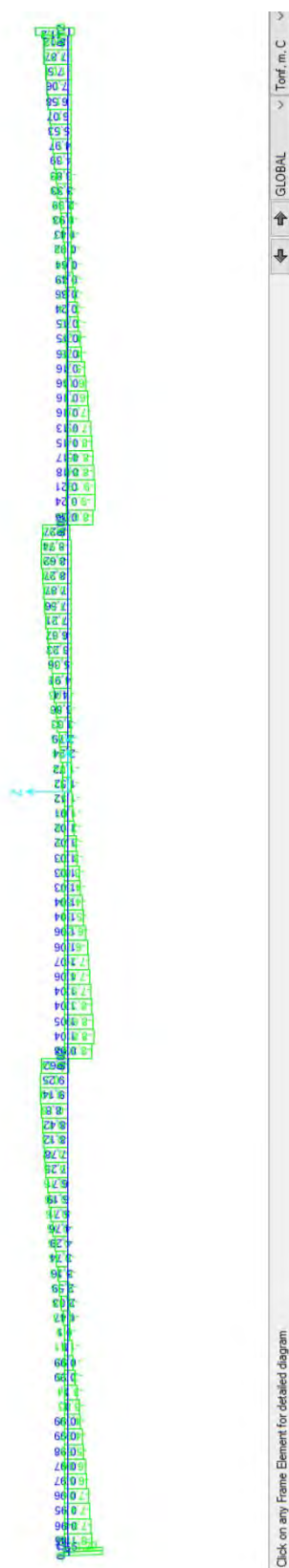


Figura 5.48 – COMB2 ENV-CARGA MOVEL – Cortante – Ponte fechada

6.0 COMBINAÇÕES

6.1 AÇÕES CONSIDERADAS

- Peso Próprio – DEAD – Atribuído pelo Programa
- Carga Permanente – PERM – 0,120 tf/m²
- Permanente Futura – PERM-FUT – 0,20 tf/m²
- Sobrecarga de Multidão – SC-MULT – 0,50 tf/m²
- TB45 – NBR 7188 – 45 tf
- Guardo Rodas New Jersey – GRODAS – 0,6tf/m
- Guardo Corpo Metálico – GCORPO – 0,2tf/m
- Empuxo de Solo – EMPUXO – (0,60tf/m² à 5,70) tf/m²
- Vento – VT
- Frenagem – FR
- Temperatura- TEMP

6.2 COMBINAÇÕES

- Peso Próprio – DEAD – ELU = 1,25 / ELS =1,0 (Metálica)
- Peso Próprio – DEAD – ELU = 1,35 / ELS =1,0 (Concreto)
- Carga Permanentes – ELU = 1,35 / ELS =1,0
- TB45 – NBR 7188 – ELU = 1,5 / ELS (Longarinas / lajes) = 1,00 / 0,80

ELS: ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

- CR: $1,0 \times \text{DEAD} + 1,0 \times (\text{PERM} + \text{PER-FUT}) + 1,0 \times \text{EMP} + 1,0 \times \text{CIV} \times (\text{TB45} + \text{SC-MULT} + \text{FN}) + 0,5 \times \text{VT} + 0,5 \times \text{TEMP}$
- CF: $1,0 \times \text{DEAD} + 1,0 \times (\text{PERM} + \text{PER-FUT}) + 1,0 \times \text{EMP} + 0,50 \times \text{CIV} \times (\text{TB45} + \text{SC-MULT} + \text{FN}) + 0,3 \times \text{VT} + 0,3 \times \text{TEMP}$
- QP: $1,0 \times \text{DEAD} + 1,0 \times (\text{PERM} + \text{PER-FUT}) + 1,0 \times \text{EMP} + 0,30 \times \text{CIV} \times (\text{TB45} + \text{SC-MULT} + \text{FN})$

ELU: ESTADO LIMITE ÚLTIMO

- $1,35/1,25 \times \text{DEAD} + 1,35 \times (\text{PERM} + \text{PER-FUT}) + 1,4 \times \text{EMP} + 1,5 \times \text{CIV} \times (\text{TB45} + \text{SC-MULT} + \text{FN}) + 0,84 \times \text{VT}$

7.0 VERIFICAÇÃO DAS SEÇÕES – LONGARINAS

7.1 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS A FLEXÃO – V6

7.1.1 Seção Central – S3

$$Mds (1) = 198,68 \text{ tf} \times m$$

$$Mds (2) = 182,12 \text{ tf} \times m$$

Como $Mds2 < Mds1$ – Verificado.

7.1.2 Seção Central – S2

$$Mds (1) = -339,29 \text{ tf} \times m$$

$$Mds (2) = -292,05 \text{ tf} \times m$$

Como $Mds2 < Mds1$ – Verificado.

7.1.3 Seção Central – S1

$$Mds (1) = 134,40 \text{ tf} \times m$$

$$Mds (2) = 129,02 \text{ tf} \times m$$

Como $Mds2 < Mds1$ – Verificado.

7.1.4 Seção Central (positivo) – Meio do Vão Esquerda – Vão novo 6 m

$$Mds (1) = 134,40 \text{ tf} \times m$$

$$Mds (2) = 75,03 \text{ tf} \times m$$

Como $Mds2 < Mds1$ – Verificado.

7.1.5 Seção Central (Negativo) – Sobre Pegão Esquerdo – Vão novo 6 m

$$Mds (1) = -86,30 \text{ tf} \times m$$

$$Mds (2) = -88,09 \text{ tf} \times m$$

Como $Mds = Mds1$ – Verificado.

7.1.6 Seção Central (Negativo) – Sobre Pegão Direito – Vão novo 3 m

$$Mds (1) = -44,77 \text{ tf} \times m$$

$$Mds (2) = -45,29 \text{ tf} \times m$$

Como $Mds = Mds1$ – Verificado.

7.2 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS A FLEXÃO - V5

7.2.1 Seção Central – S3

$$Mds (1) = 125,29 \text{ tf} \times m$$

$$Mds (2) = 207,30 \text{ tf} \times m$$

Como $Mds2 > Mds1$ – Verificar novamente

$$M(pp) = 36,41 \text{ tf} \times m$$

$$M(Perm) = 47,00 \text{ tf} \times m$$

$$M(SC_{MV}) = 75,28 \text{ tf} \times m$$

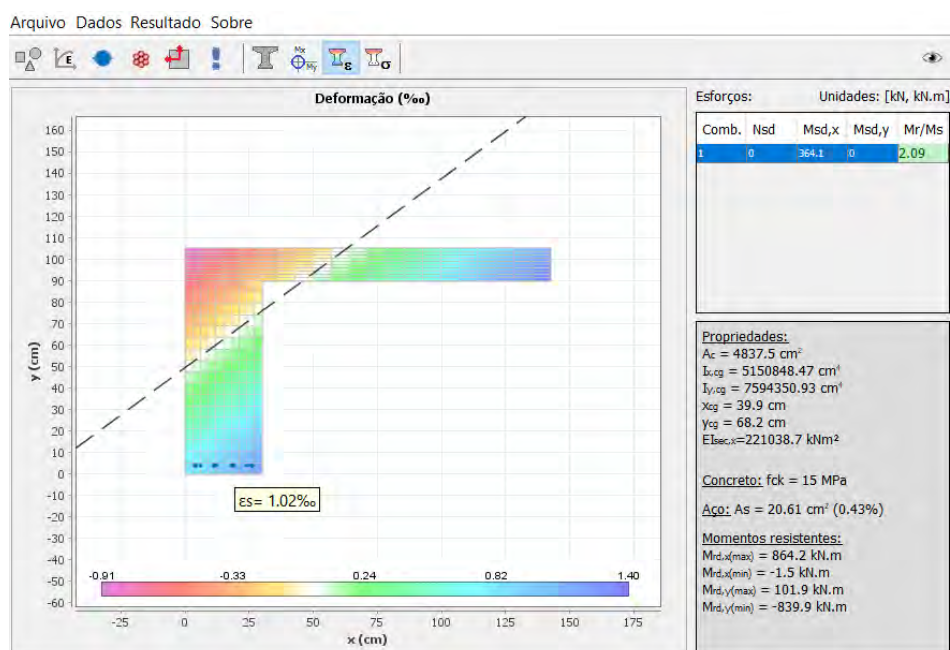


Figura 7.1 – Tensões nas Armaduras – 1ª Etapa

$$A_{s(rest)} = 11,78 \text{ cm}^2$$

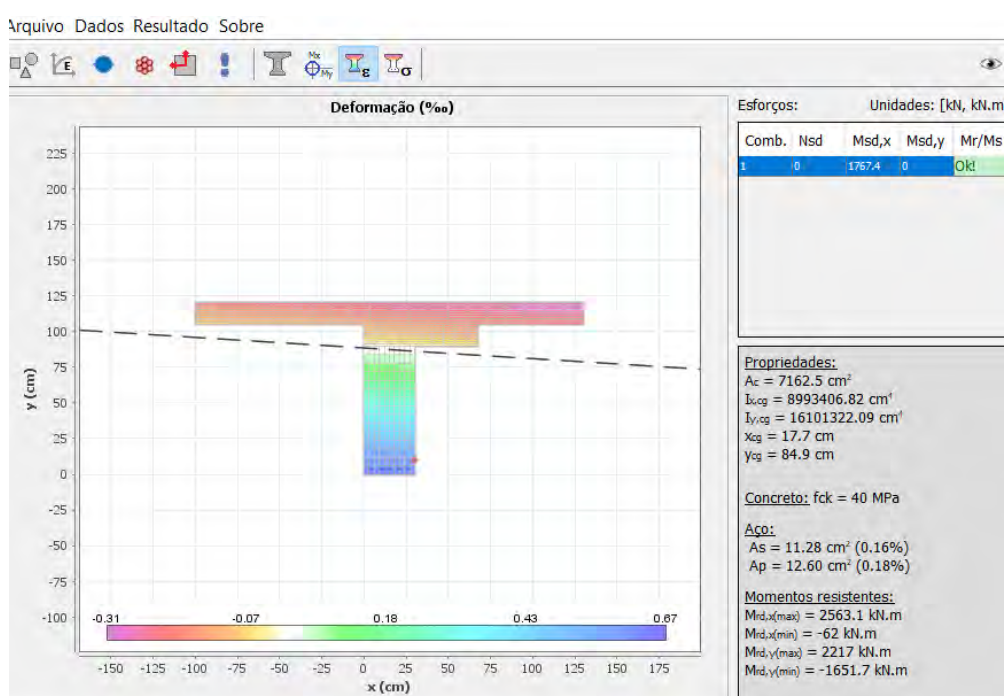


Figura 7.2 – Tensões nas Armaduras – 2ª Etapa

Seção ok!

Verificar a Fadiga

$$M(Perm) = 47,00 \text{ tf} \times m$$

$$M(Perm + MOVEL) = 84,64 \text{ tf} \times m$$

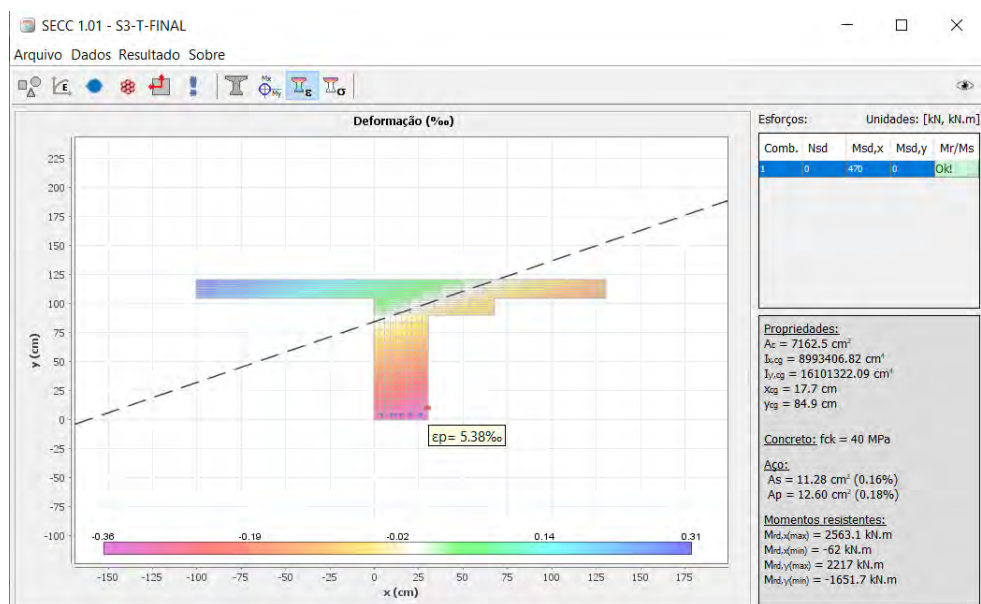


Figura 7.3 – Tensões nas Armaduras – Cargas PP+Perm

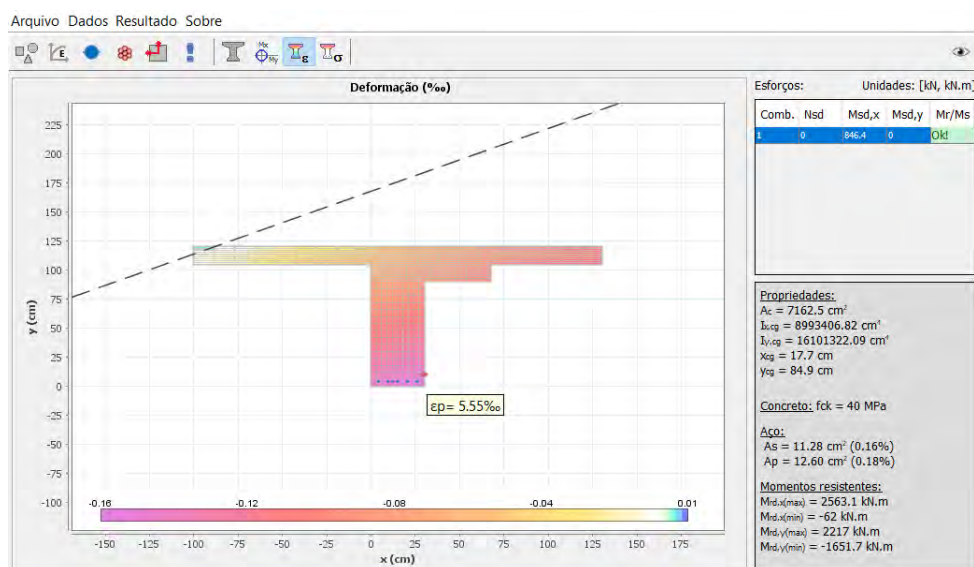


Figura 7.4 – Tensões nas Armaduras – Cargas PP+Perm

$$\Delta f_{ad} = 19500 \times 0,17 \div 1000 = 3,31 \text{ MPa} - \text{ok!}$$

7.2.2 Seção Central – S2

$$M_{ds}(1) = -134,40 \text{ tf} \times m$$

$$M_{ds}(2) = -406,26 \text{ tf} \times m$$

Como $M_{ds2} > M_{ds1}$ – Verificar novamente

$$M(pp) = -84,42 \text{ tf} \times m$$

$$M(Perm) = -127,76 \text{ tf} \times m$$

$$M(SC_{MV}) = -119,90 \text{ tf} \times m$$

$$M(d) = -113,97 \text{ tf} \times m$$

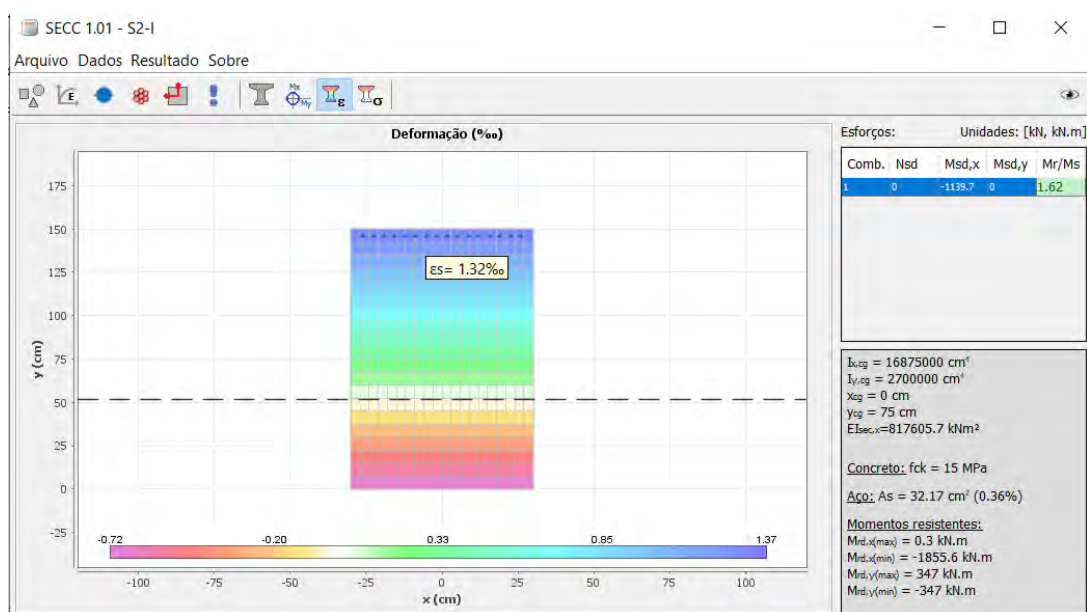


Figura 7.5 – Tensões nas Armaduras – 1ª Etapa

$$A_s(rest) = 14,33 \text{ cm}^2$$

$$+A_s(acresc) = 58,80 \text{ cm}^2$$

$$M(d) = -352,326tf \times m$$

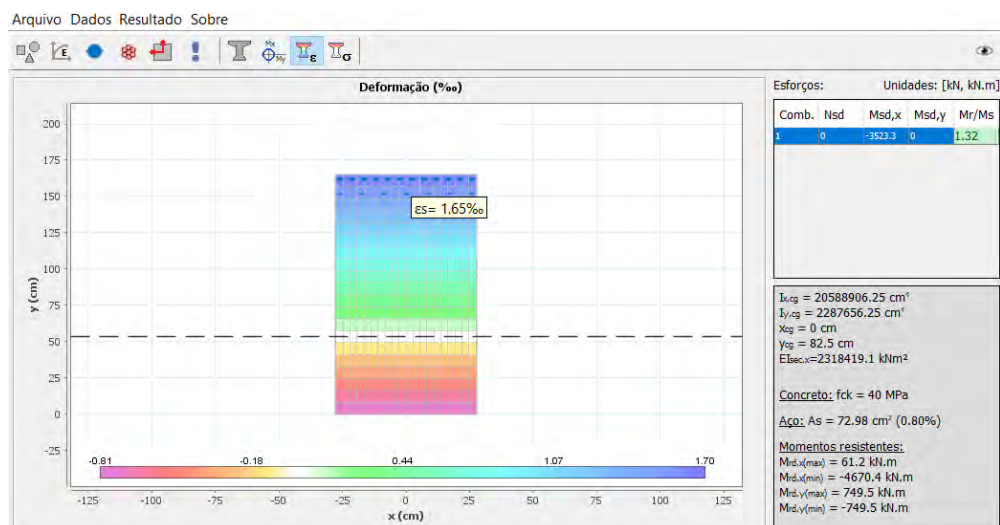


Figura 7.6 – Tensões nas Armaduras – 2ª Etapa

Base reduzida para $f_{ck} 40 \text{ MPa}$

7.2.3 Seção Central – S1

Verificada pelo Momento resistente da Seção em S2

7.2.4 Seção Central (positivo) – Meio do Vão Esquerda – Vão novo 6 m

$$M_{ds} (1) = 61,89 \text{ tf} \times m$$

$$M_{ds} (2) = 95,89 \text{ tf} \times m$$

Como $M_{ds2} > M_{ds1}$ – Verificar novamente

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
68493	30	40	125	120	5
AS		AS´		AS mín	
19,30		0,00		5,625	
ϕ		Quantidade de ferro			
5		99,00			
6,3		62			
8		39			
10		25			
12,5		16			
16		10			
20		7			
25		4			
32		3			

Figura 7.7 – Armadura de Flexão

7.2.5 Seção Central (Negativo) – Sobre Pegão Esquerdo – Vão novo 6 m

$$M_{ds} (1) = -49,74 \text{ tf} \times m$$

$$M_{ds} (2) = -86,55 \text{ tf} \times m$$

Como $M_{ds2} > M_{ds1}$ – Verificar novamente

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
61824	30	40	125	120	5
AS		AS´		AS mín	
17,34		0,00		5,625	
ϕ		Quantidade de ferro			
5		89,00			
6,3		56			
8		35			
10		23			
12,5		15			
16		9			
20		6			
25		4			
32		3			

Figura 7.8 – Armadura de Flexão

7.2.6 Seção Central (Negativo) – Sobre Pegão Direito – Vão novo 3 m

$$M_{ds} (1) = -40,92 \text{ tf} \times m$$

$$M_{ds} (2) = -48,23 \text{ tf} \times m$$

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
34450	30	40	125	120	5
AS	AS'		AS mín		
9,47	0,00		5,625		

Figura 7.9 – Armadura de Flexão

Como $M_{ds2} > M_{ds1}$ – Verificar novamente

7.3 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS AO CISALHAMENTO

7.3.1 Seção Sobre Pegão (Negativo) – Esquerda – Vão novo 6 m

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
974,60	30		120		40	10
<u>Modelo I:</u>						
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,271		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,4226	0,1404	4,21				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
12,68	6,34	12				
			<u>Modelo II:</u>			
			Entre com o valor de θ (30 a 45):			
			45			
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,271		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,5046	0,1404	4,21				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
15,14	3,78	20				
Prescrições complementares da NBR 6118						
Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)			Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)	
30	30			30	30	

Figura 7.10 – Armadura de Cisalhamento

7.3.2 Seção Sobre Pegão (Negativo) – Esquerda – Vão novo 3 m

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
942,00	30		120		40	10
Modelo I:						
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,262		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,3995	0,1404	4,21				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
11,98	5,99	13				
Modelo II:						
Entre com o valor de θ (30 a 45):						
45						
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,262		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,4770	0,1404	4,21				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
14,31	3,58	21				
Prescrições complementares da NBR 6118						
Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		
30	30		30	30		

Figura 7.11 – Armadura de Cisalhamento

8.0 ARMADURAS DAS LAJES

8.1 ARMADURA DE FLEXÃO

Abaixo esquema de espraio de cargas da roda do Trem Tipo:

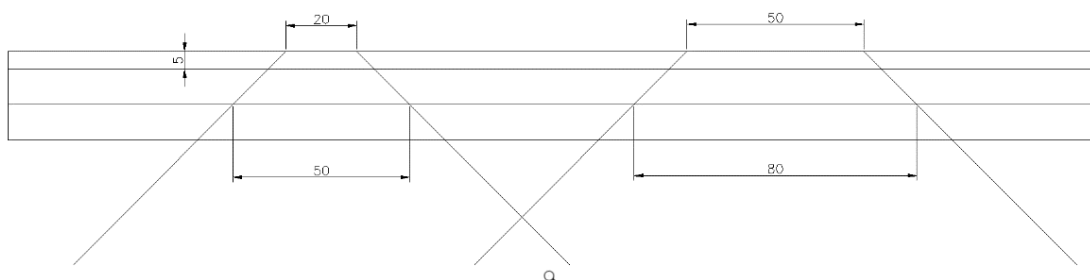


Figura 8.1 – Espraio de Cargas – Rodas TB45 – Ponte Metálica

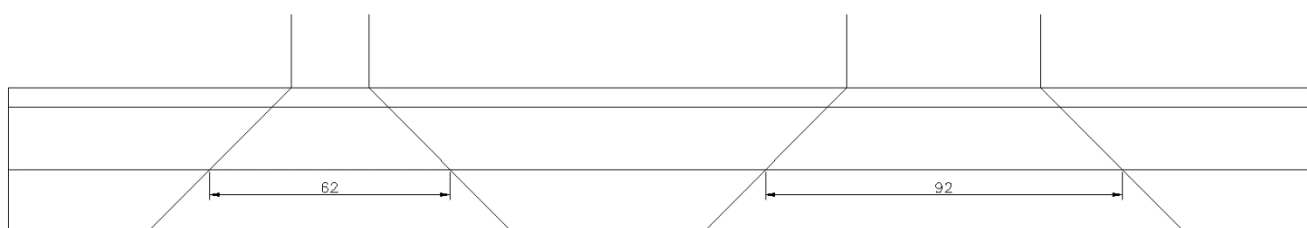


Figura 8.2 – Espraio de Cargas – Rodas TB45 – Ponte de Concreto - Centro

8.1.1 Esforços Solicitantes – Cargas Permanentes – Tabuleiro – SAP2000

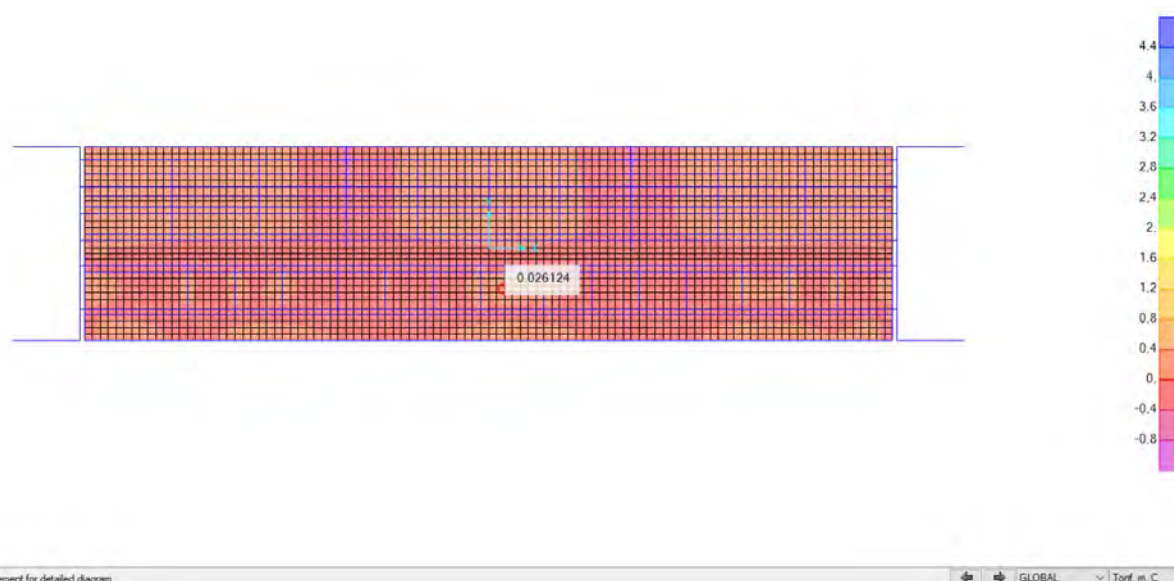


Figura 8.3 – Esforços Solicitantes das Lajes –CPERM-M11

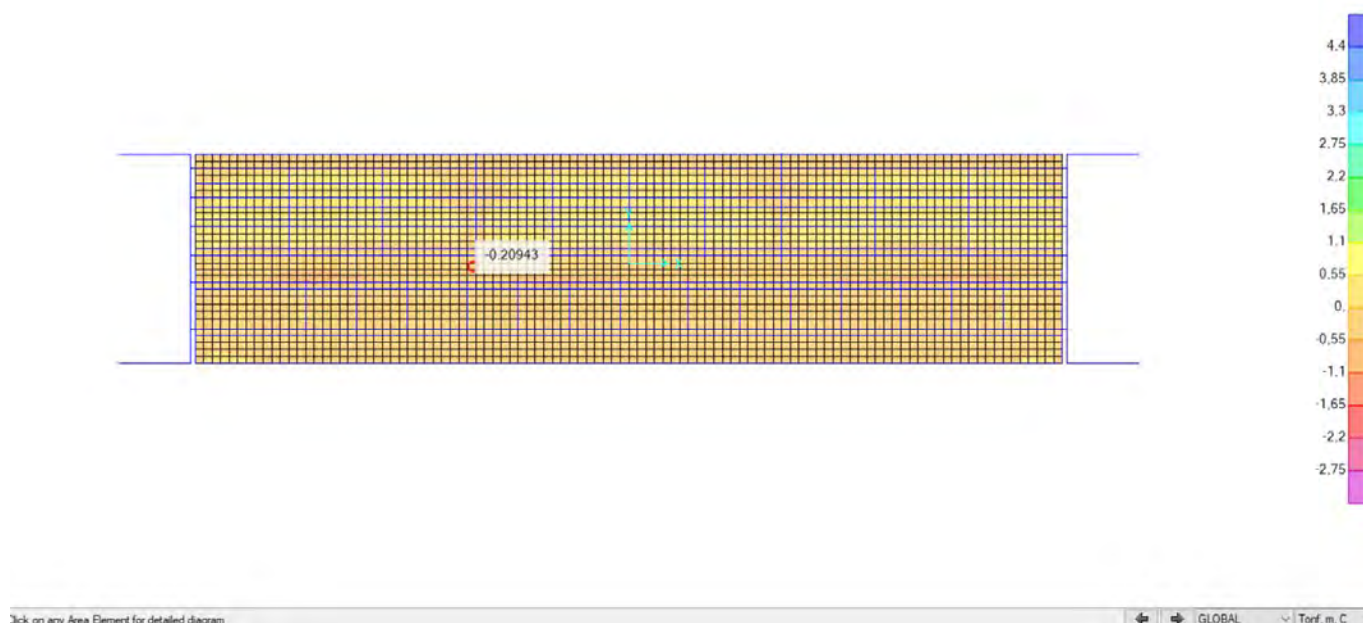


Figura 8.4 – Esforços Solicitantes das Lajes –CPERM-M22

8.1.2 Esforços Solicitantes – Fechamento das Lajes – SAP2000



Figura 8.5 – Esforços Solicitantes das Lajes – Temperatura DIF - 10°C - M11

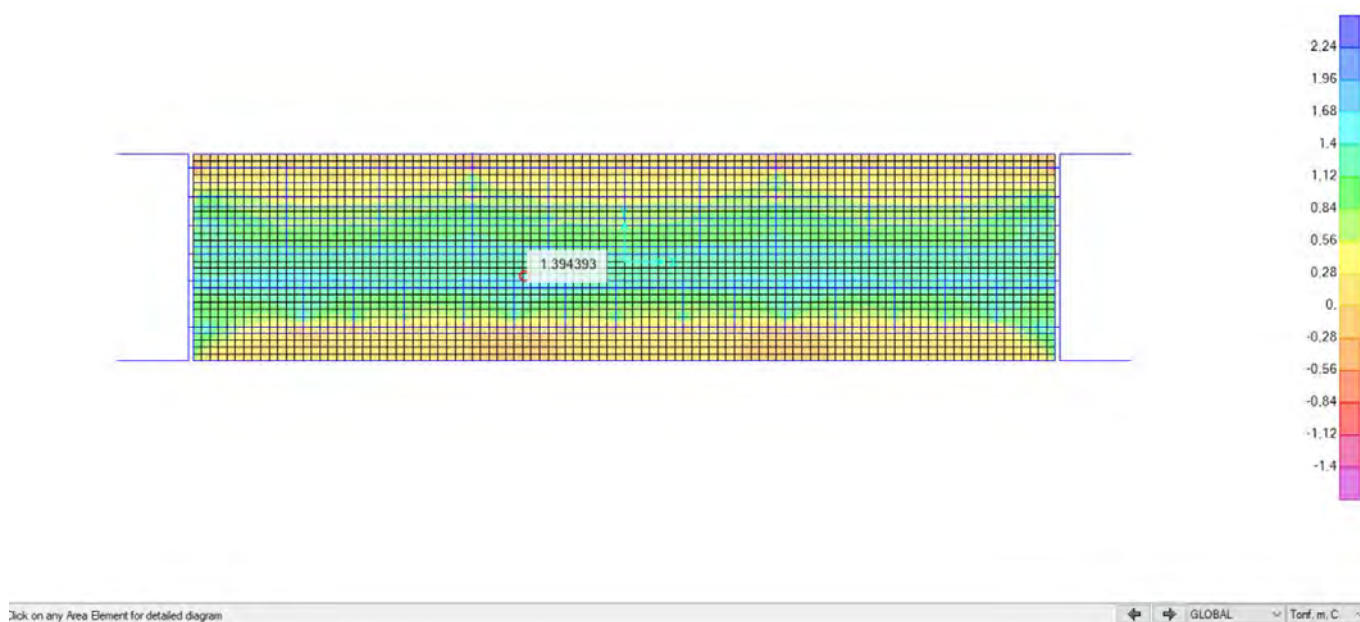


Figura 8.6 – Esforços Solicitantes das Lajes – Temperatura DIF - 10°C – M22

8.1.3 Esforços Solicitantes – Carga Móvel – SAP2000

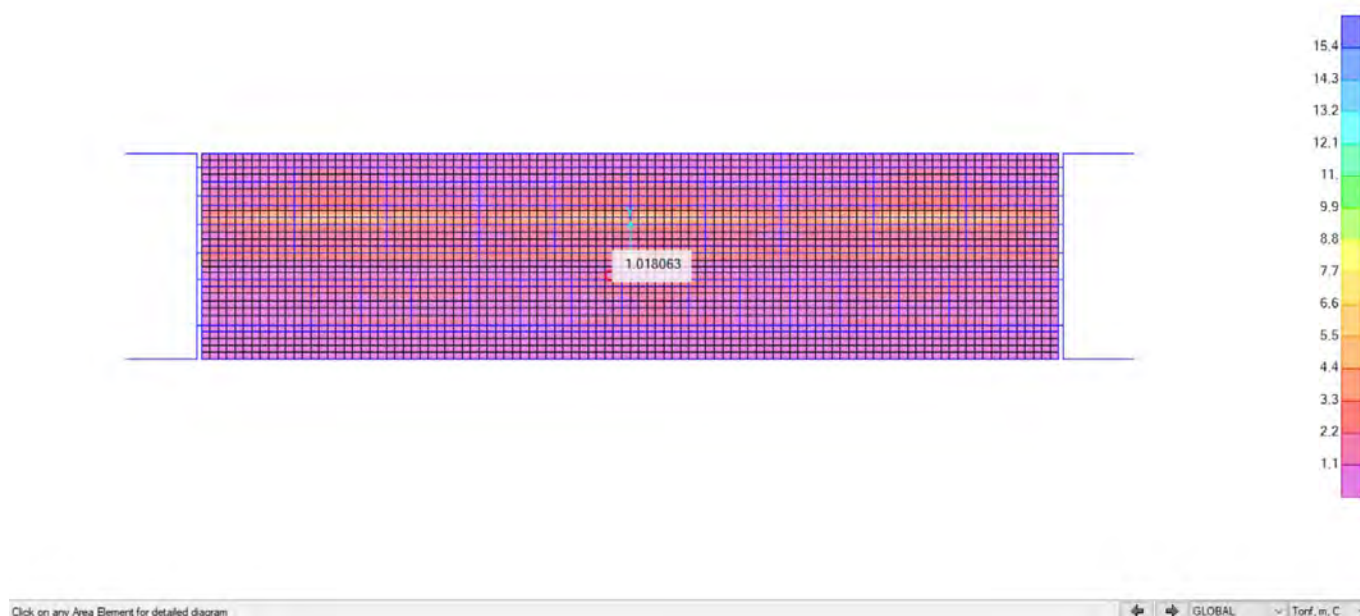


Figura 8.7 – Esforços Solicitantes das Lajes – Carga Móvel – M11

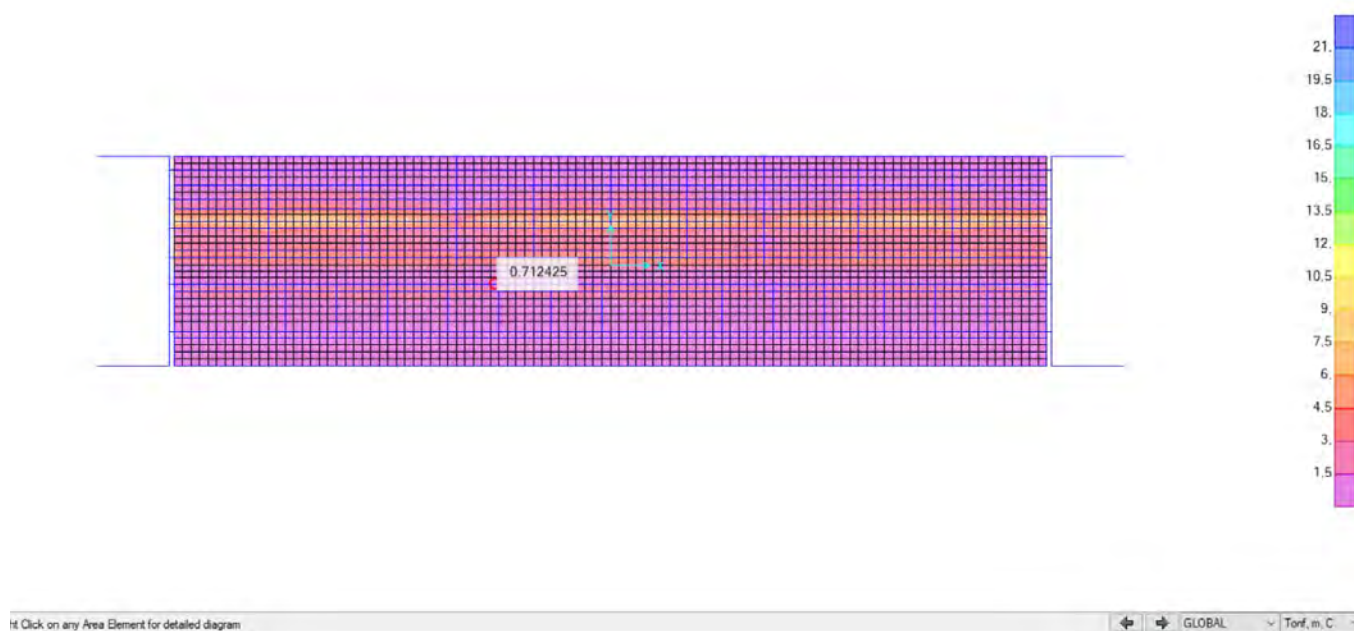


Figura 8.8 – Esforços Solicitantes das Lajes – Carga Móvel – M22

8.1.4 Armaduras Sugeridas pelo SAP – Carga Móvel – SAP2000



Figura 8.9 – Armadura AS1 - Inferior – ELU – PERM+SC+TEMP



Figura 8.10 – Armadura AS2 - Inferior – ELU – PERM+SC+TEMP

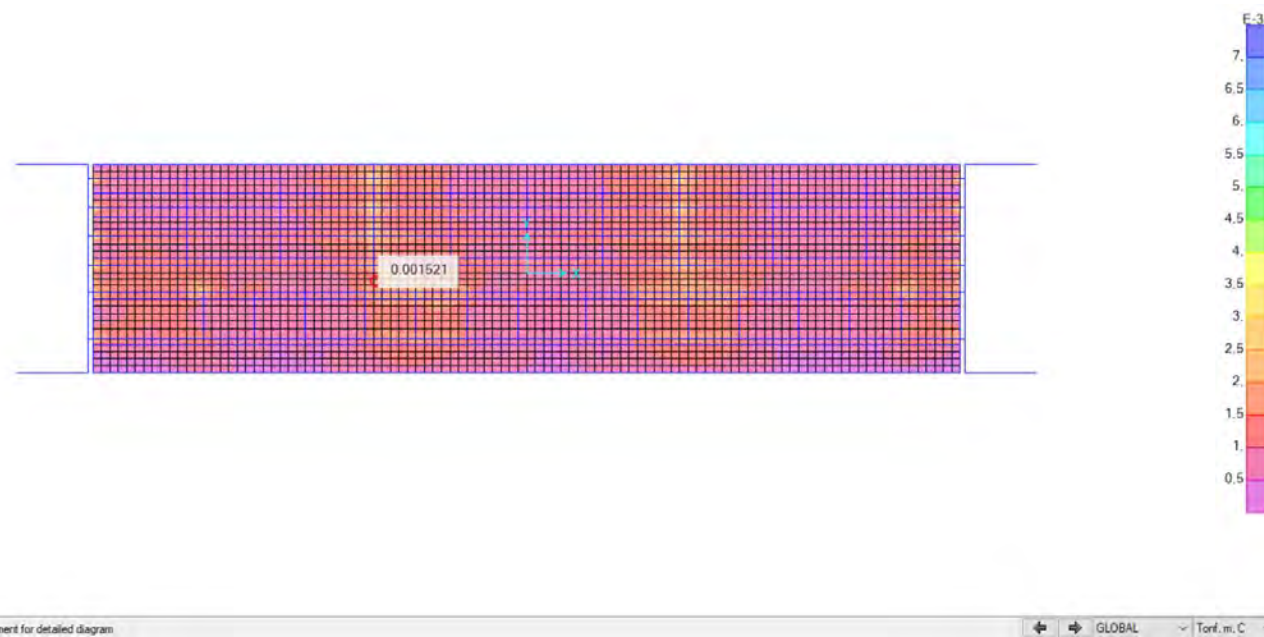


Figura 8.11 – Armadura AS1 - Superior– ELU – PERM+SC+TEMP



Figura 8.12 – Armadura AS2 - Superior– ELU – PERM+SC+TEMP

As armaduras serão dimensionadas por tabela de Rush com respeito as tensões pontuais identificadas pelo SAP2000 nos pontos de ligação entre as duas estruturas.

8.1.5 Esforços Solicitantes – Cargas Permanentes – Tabuleiro – SAP2000

A seguir segue modelo linear utilizado no SAP2000 para compatibilização dos esforços.

Nele é aplicado uma carga equivalente a que gera o momento fletor na tabela de RUSCH, para se realizar uma análise onde vãos são carregados alternativamente, bem como a capacidade ou não do apoio realizar o pleno engastamento sugerido pela tabela. O engastamento sem possibilidade pelos vãos adjacentes podem levar torção indesejada as vigas.



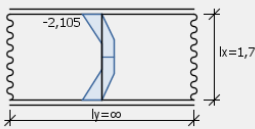
Figura 8.13 – Esforços Solicitantes das Lajes – Peso Próprio + Cargas Permanentes

8.1.6 Esforços Solicitantes – Cargas móveis – TB45

Lajes Ponte Metálica

TRüsch 1.0

Arquivo Opções Resultados Sobre



Dimensões:

$l_x = \infty$ m

$l_y = 1,70$ m

$t = 0,80$ m

$a = 2$ m

Vinculações:

Borda superior: Engastada

Borda inferior: Engastada

Borda esquerda: Indefinida

Borda direita: Indefinida

Direção do tráfego: ☐ ☒ ☐

Coefficiente de Impacto (ψ): 1,35

Calcular Mxm Mym Mye

bx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,25	0,19	0,12	0,05	0,0	0,1
1,0	0,32	0,26	0,13	0,09	0,0	0,28
1,5	0,42	0,4	0,34	0,25	0,0	0,35
2,0	0,58	0,56	0,51	0,4	0,03	0,35
2,5	0,72	0,7	0,66	0,55	0,08	0,37
3,0	0,85	0,84	0,8	0,78	0,2	0,8
4,0	1,06	1,06	1,01	0,98	0,55	2,2
5,0	1,21	1,21	1,18	1,14	1,0	4,25
6,0	1,32	1,32	1,3	1,26	1,4	7,6
7,0	1,41	1,41	1,4	1,36	2,0	11,8
8,0	1,47	1,47	1,47	1,44	2,4	16,2
9,0	1,52	1,52	1,52	1,5	3,0	21,6
10,0	1,54	1,54	1,54	1,53	3,5	26,3

Resultados:

Tabela Utilizada: 27

Cargas Móveis:

$M_L = 0,193$

$M_P = 0,000$

$M_{P'} = 0,226$

$M_{ye} = -2,105$ tf.m/m

Cargas Permanentes:

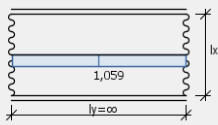
$k_{ye} = -0,083$

$M_{ye} = -0,241g$ tf.m/m

Figura 8.14 –Tabela de Rusch – Laje com 2 Engastamentos

Lajes Ponte de Concreto

Arquivo Opções Resultados Sobre



Dimensões:

$l_x = \infty$ m

$l_y = 2,55$ m

$t = 0,62$ m

$a = 2$ m

Vinculações:

Borda superior: Engastada

Borda inferior: Engastada

Borda esquerda: Indefinida

Borda direita: Indefinida

Direção do tráfego: ☐ ☒ ☐

Coefficiente de Impacto (ψ): 1,35

Calcular Mxm Mym Mye

bx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,097	0,051	0,031	0,008	0,0	0,01
1,0	0,149	0,091	0,051	0,023	0,0	0,01
1,5	0,187	0,134	0,08	0,038	0,0	0,03
2,0	0,215	0,168	0,096	0,064	0,0	0,05
2,5	0,248	0,198	0,137	0,096	0,0	0,13
3,0	0,287	0,239	0,179	0,141	0,05	0,24
4,0	0,361	0,315	0,262	0,222	0,13	0,57
5,0	0,43	0,389	0,338	0,295	0,21	0,83
6,0	0,498	0,457	0,412	0,37	0,28	1,33
7,0	0,56	0,52	0,479	0,433	0,33	2,03
8,0	0,61	0,58	0,54	0,49	0,42	2,89
9,0	0,66	0,63	0,59	0,54	0,48	3,82
10,0	0,71	0,67	0,63	0,58	0,56	4,85

Resultados:

Tabela Utilizada: 27

Cargas Móveis:

$M_L = 0,103$

$M_P = 0,000$

$M_{P'} = 0,021$

$M_{xm} = 1,059$ tf.m/m

Cargas Permanentes:

$k_{xm} = 0,007$

$M_{xm} = 0,045g$ tf.m/m

Figura 8.15 –Tabela de Rusch – Laje com 2 Engastamentos - X

Arquivo Opções Resultados Sobre

Dimensões:

lx = ∞ m

ly = 2,55 m

t = 0,92 m

a = 2 m

Vinculações:

Borda superior: Engastada

Borda inferior: Engastada

Borda esquerda: Indefinida

Borda direita: Indefinida

Direção do tráfego: ☐ ☒ ☐

Coefficiente de Impacto (ψ): 1,35

Calcular Mxm Mym Mye

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,097	0,051	0,031	0,008	0,0	0,01
1,0	0,149	0,091	0,051	0,023	0,0	0,01
1,5	0,187	0,134	0,08	0,038	0,0	0,03
2,0	0,215	0,168	0,096	0,064	0,0	0,05
2,5	0,248	0,198	0,137	0,096	0,0	0,13
3,0	0,287	0,239	0,179	0,141	0,05	0,24
4,0	0,361	0,315	0,262	0,222	0,13	0,57
5,0	0,43	0,389	0,338	0,295	0,21	0,83
6,0	0,498	0,457	0,412	0,37	0,28	1,33
7,0	0,56	0,52	0,479	0,433	0,33	2,03
8,0	0,61	0,58	0,54	0,49	0,42	2,89
9,0	0,66	0,63	0,59	0,54	0,48	3,82
10,0	0,71	0,67	0,63	0,58	0,56	4,85

Resultados:

Tabela Utilizada: 27

Cargas Móveis:

M_l=0,075

M_p=0,000

M_p'=0,021

M_{sm}=0,769 tf.m/m

Cargas Permanentes:

k_{sm}=0,007

M_{sm}=0,045g tf.m/m

Figura 8.16 –Tabela de Rusch – Laje com 2 Engastamentos - y

Momentos:

$$M_{xm} = 1,059tf \times m$$

$$M_{ym} = 1,42tf \times m$$

$$M_{Ye} = -3,04tf \times m$$

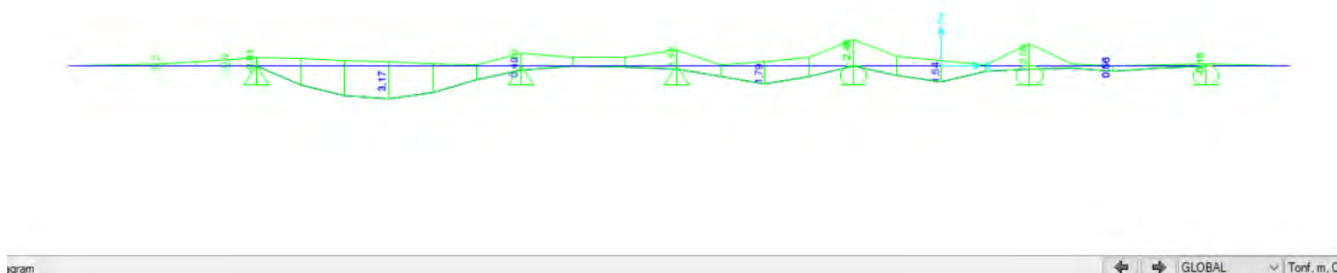


Figura 8.17 – Esforços Solicitantes das Lajes – Envoltória de Máximos e Mínimos _TB45

8.1.7 Estimativa das Armaduras da Laje

Para estimativa de armadura da laje é feito o cálculo à flexão simples das principais seções, com verificação de tensão das armaduras para fadiga – Neste Memorial apenas a Laje da Ponte de concreto e da junção necessita de verificação:

Esforços Solicitantes – Direção Y – Maiores Esforços Positivos

$$Md = 0,50 \times 1,35 + 1,50 \times 3,17 = 5,43tf \times m$$

$$M_{per} = 0,675tf \times m$$

$$MFad = 2,553 tf \times m$$

Camada Superior Comprimida – Fck-40MPa

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
3879	100	40	32	29	5
AS		AS'		AS mín	
4,37		0,00		4,8	

Figura 8.18 – Armadura de Flexão da Laje

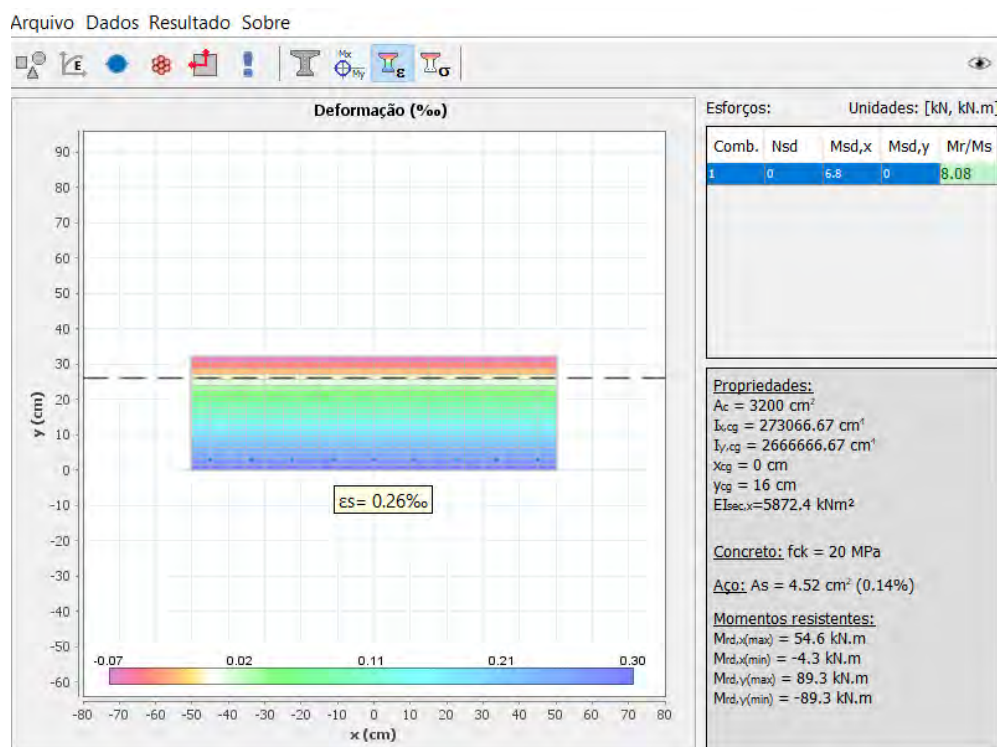


Figura 8.19 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes

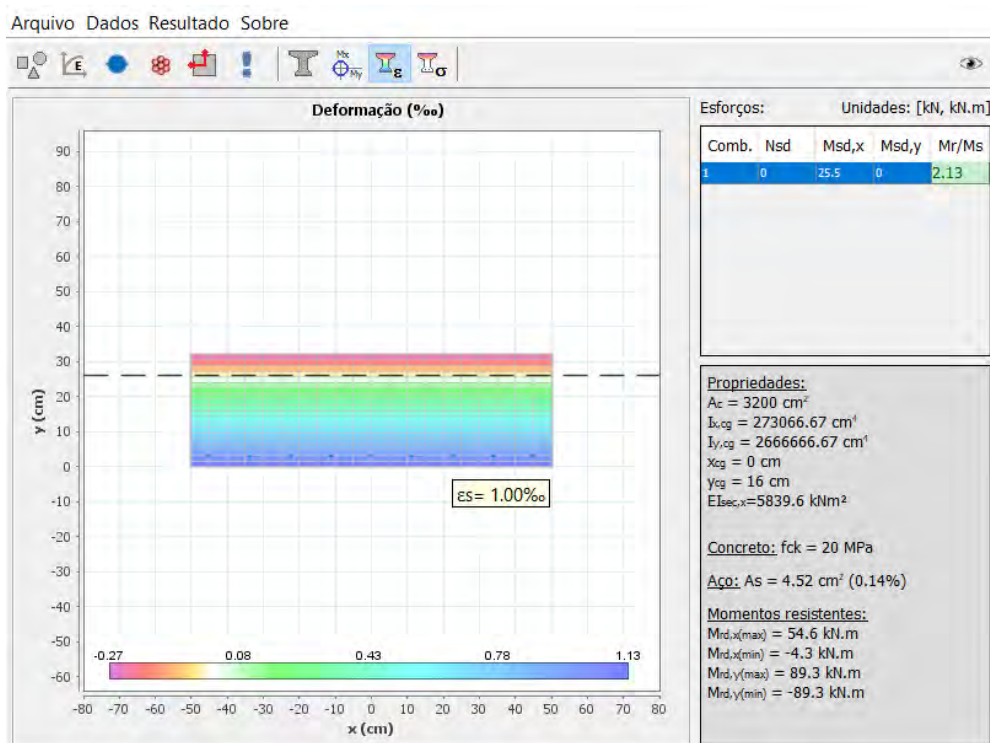


Figura 8.20 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes + SC

$$\Delta = 0,74 \times \frac{210000}{1000} = 155 \text{ MPa} - ok - \text{Manter Armadura Inferior} - \text{Apenas Tratamento}$$

Esforços Solicitantes – Direção Y – Maiores Esforços Negativos – Balanço da Passarela

$$M_d = -5,16 \text{ tf} \times m$$

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
3685	100	15	20	18	5
AS		AS'		AS mín	
7,30		0,00		3	

Figura 8.21– Armadura de Flexão da Laje

Esforços Solicitantes – Direção X – Maiores Esforços Positivos

$$M_d = 2,13 \text{ tf} \times m$$

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
1728	100	40	20	18	5
AS		AS'		AS mín	
3,14		0,00		3	

Figura 8.22 – Armadura de Flexão da Laje

8.2 DEFORMAÇÕES DAS LAJES

- PP + Cargas Permanentes

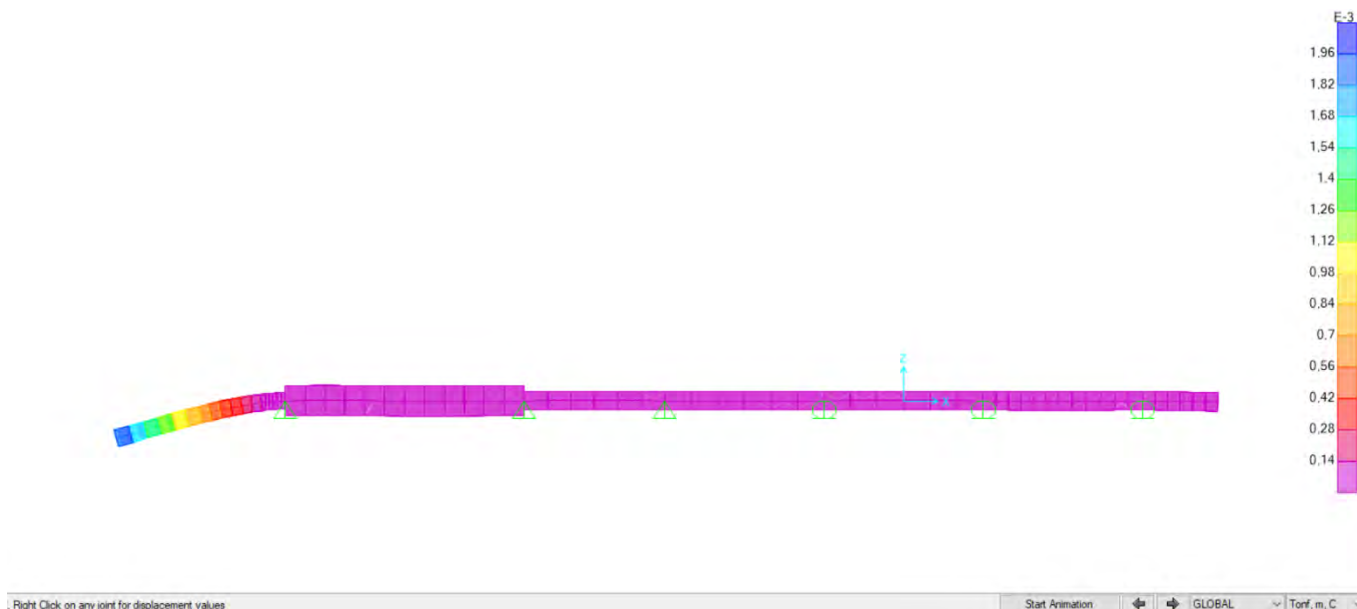


Figura 8.23 – Deformação Devido ao PP.+PERM

- Carga Móvel

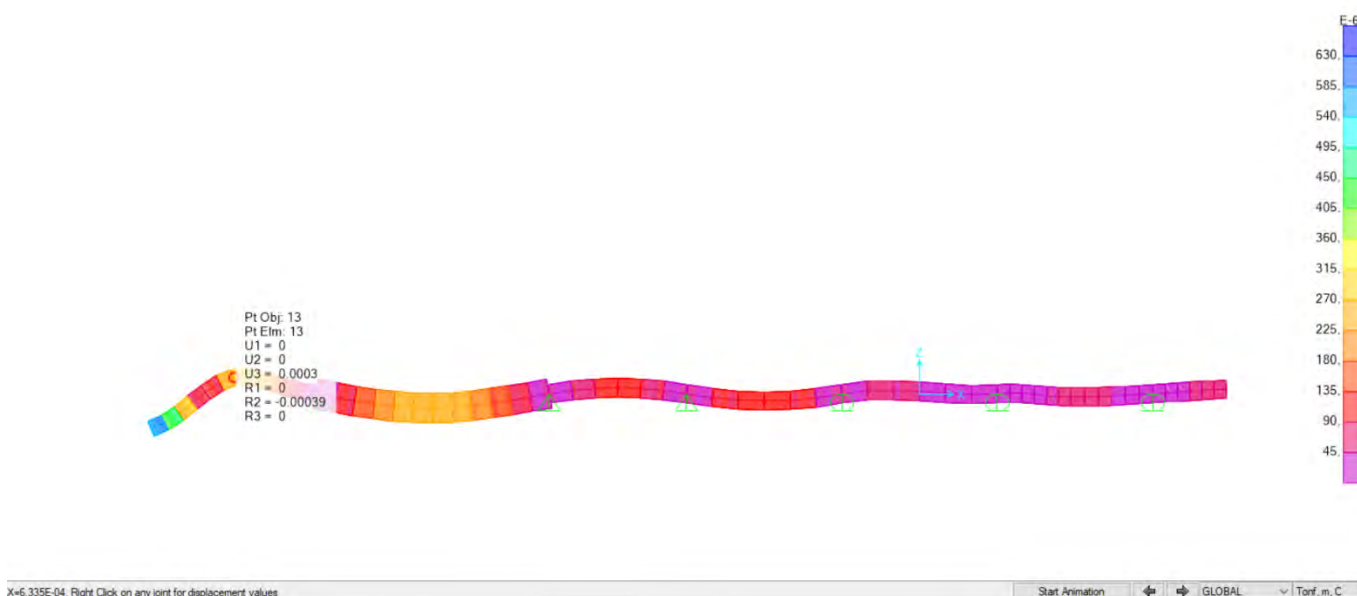


Figura 8.24 – Deformação para Cargas Móveis

$(PP+PERM) \times 3$ (Fluência) = 6 mm – L/595 OK!

MÓVEL= 0,30mm - $l/11666$ – OK! (Efeito de Incomodidade ao Pedestre).

9.0 ARMADURA DAS TRAVESSAS

9.1 DIMENSIONAMENTO DA TRAVESSA – PONTE SEPARADA-MAIORES ESFORÇOS

9.1.1 ESFORÇOS SOLICITANTES



Figura 9.1 – Diagrama de Momento Fletor – tfxm - ELU

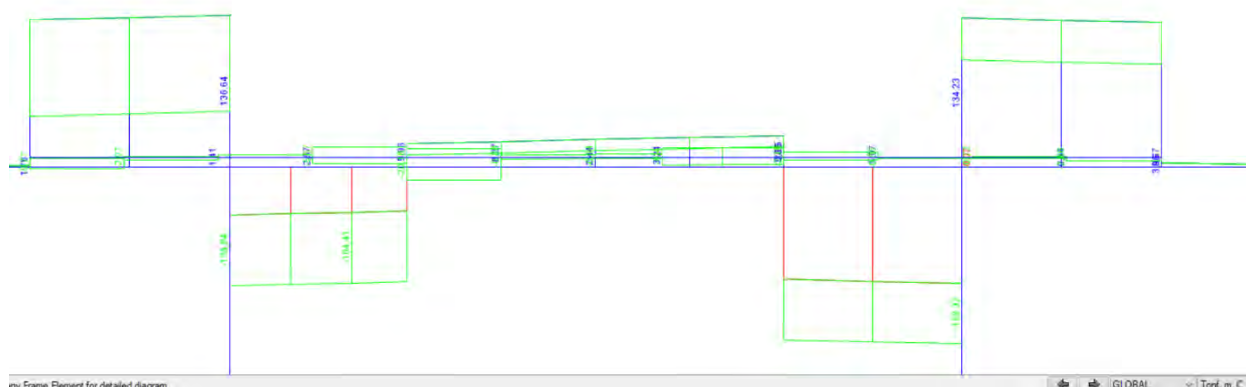


Figura 9.2 – Diagrama de Cortante – tf – ELU

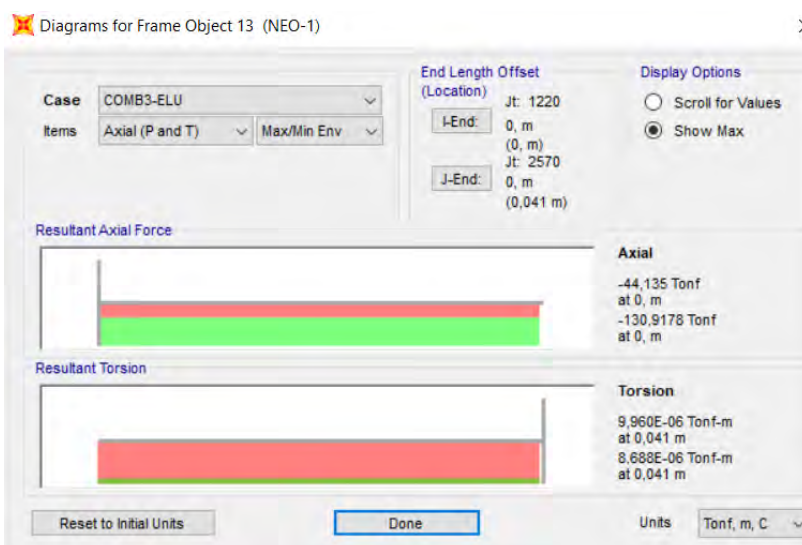


Figura 9.3 – Esforço Normal no Neoprene – tf – ELU

9.1.2 Armadura de Flexão – Como Consolo Curto

DADOS BÁSICOS

GEOMETRIA							Tipo de Consolo		Curto	
b	a1	h	cob	d	a	a / d	a3	bAPOIO	a2,Min.	h1,Min.
cm	cm	cm	cm	cm	cm	adim.	cm	cm	cm	cm
80	93	80	5	74,00	55	0,74	30	40	15	25

MATERIAL			SEGURANÇA				
fck	fyk	fyd	γ_f	γ_c	γ_s	γ_n	μ
MPa	MPa	MPa	adim	adim	adim	adim	adim
40	500	435	1,4	1,4	1,15	1,10	1,40

ARMADURA DO TIRANTE

Descrição	F _k	F _d	H _d	A _{s,tir. Cál.}	A _{s,tir. Adotado}		Ø
	tf	tf	tf	cm ²	cm ²	Armadura	adim.
Consolo B/C	93,57	144,10	28,82	34,58	37,70	12xØ20	0,08

ARMADURA SUPLEMENTAR

Descrição	A _{s, Cost.}	A _{s, Cost. Adotado}		A _{s, Estribo}	A _{s, Est. Adotado}	
	cm ² / m	cm ² / m	Armadura	cm ² / m	cm ² / m	Armadura
Consolo B/C	18,69	24,13	2 x 6 x Ø16mm	12,91	19,63	4 x 4 x Ø12,5mm

VERIFICAÇÃO DA BIELA DE COMPRESSÃO

f _{cd}	Tensão Base do Apoio			Verificação da Biela Comprimida		
	fcd2	Verifica!	σ _d	fcd1	Verifica!	σ _d
kgf / cm ²	kgf / cm ²		kgf / cm ²	kgf / cm ²		kgf / cm ²
285,71	157,71	≥	120,08	210,29	≥	165,55

Figura 9.4 – Dimensionamento a Flexão

9.1.3 Armadura de Cisalhamento da Travessa

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
1364,00	80		75		40	12,5
Modelo I:						
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,227		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,3118	0,1404	11,23				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
24,94	6,24	19				
Modelo II:						
Entre com o valor de θ (30 a 45):						
45						
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,227		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,3723	0,1404	11,23				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
29,78	7,45	16				
Prescrições complementares da NBR 6118						
Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)			Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)	
80	30			80	30	

Figura 9.5 – Dimensionamento a Flexão

10.0 ARMADURA DOS ENCONTROS – PONTE UNIDA- MAIORES ESFORÇOS

10.1 DIMENSIONAMENTO DOS ENCONTROS

10.1.1 ESFORÇOS SOLICITANTES

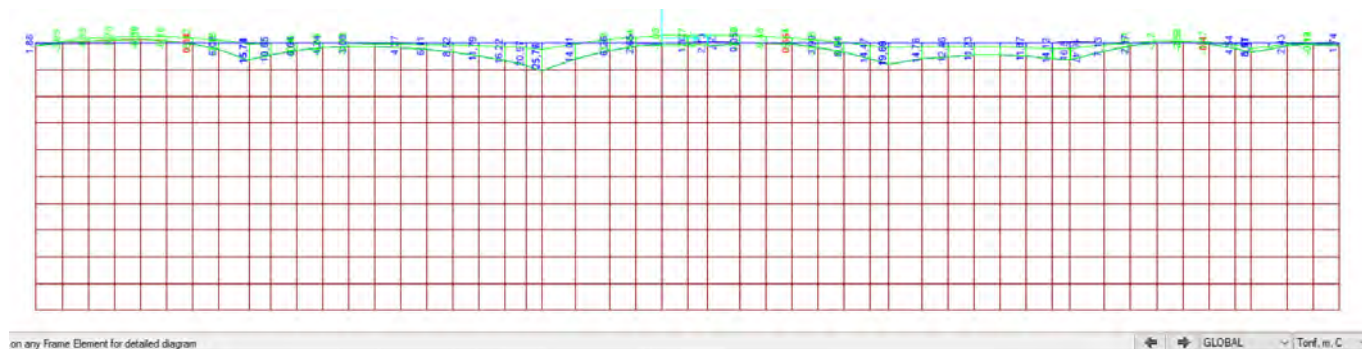


Figura 10.1 – Diagrama de Momento Fletor M3 – tfxm – ELU



Figura 10.2 – Diagrama de Momento Fletor M2 – tfxm – ELU

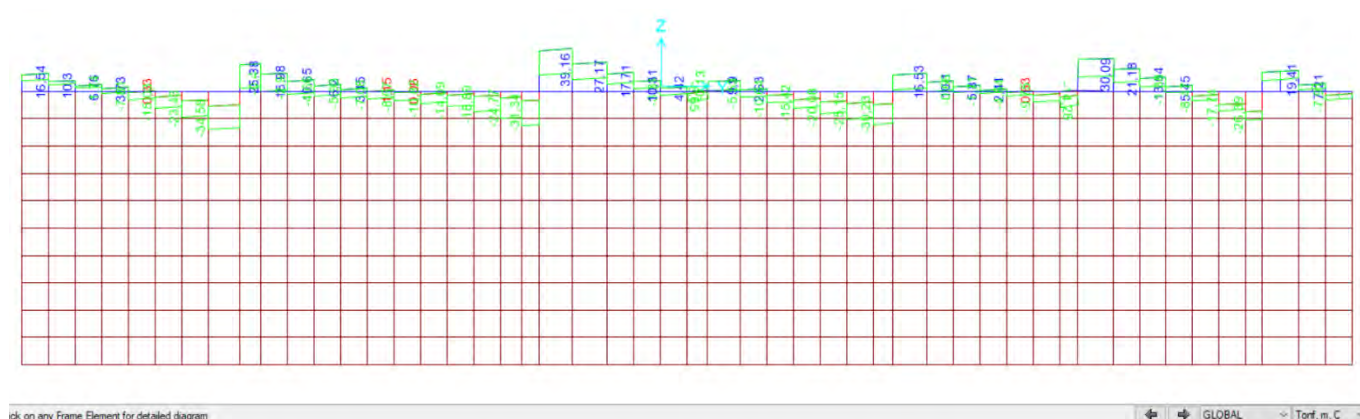


Figura 10.3 – Diagrama de Cortante – tf – ELU

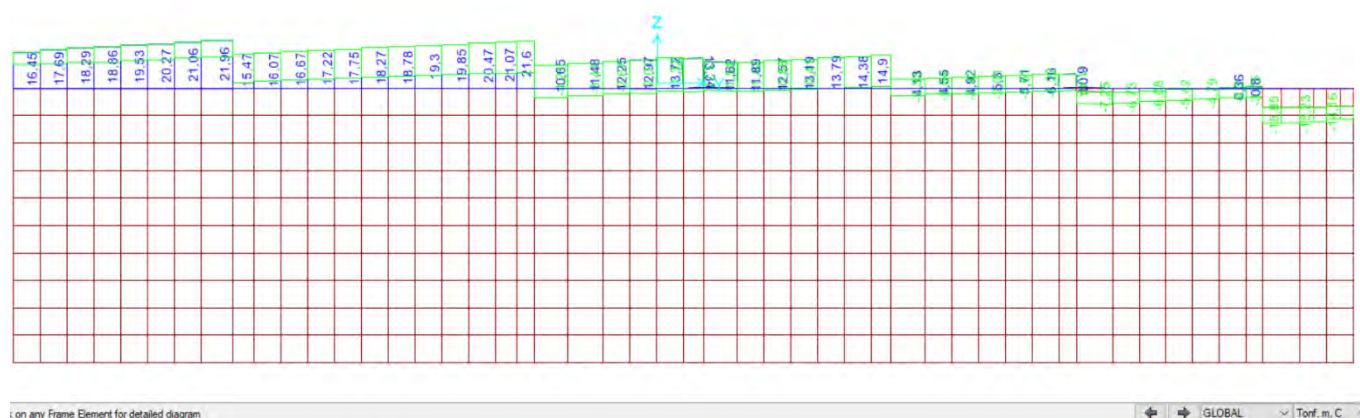


Figura 10.4 – Diagrama de Torção – tfxm– ELU

10.1.2 Armadura de Flexão Composta

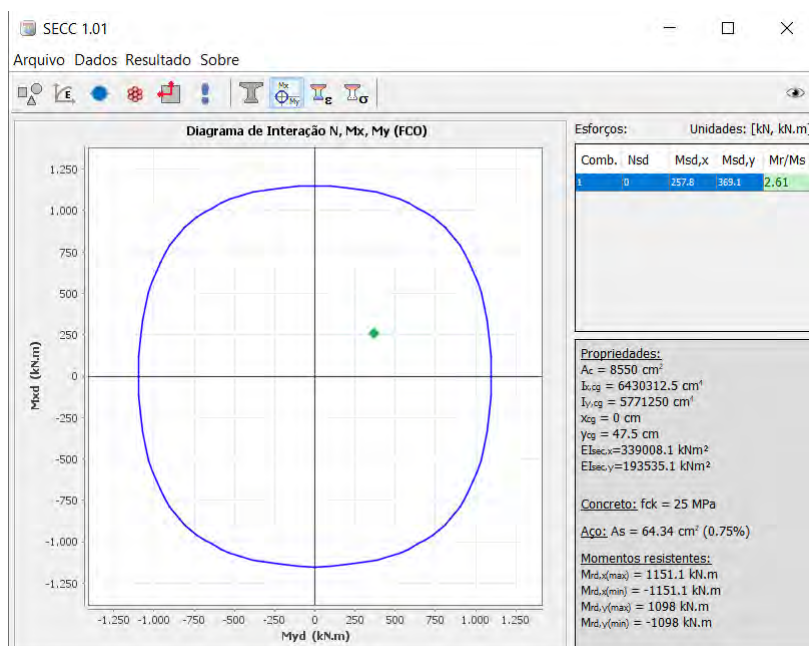


Figura 10.5 – Dimensionamento a Flexão

10.1.3 Armadura de Cisalhamento Do Encontro

Dimensionamento ao Cisalhamento + Torção - Modelo2					
Entre com Inclinação das bielas (30º a 45º):					
30					
Cisalhamento					
Dados de entrada:					
Vsd (kN)	b (cm)	d (cm)	Cob (cm)	fck (MPa)	Ø (mm)
391,6	250	90	5	25	12,5
Verificação da biela de concreto:					
τ _{wd} (kN/cm²)	τ _{wd2} (kN/cm²)	Ok			
0,017	0,376				
Cálculo da armadura:					
Asw = Asw mín (cm²/m)	Asw Mín (cm²/m)		Asw/perna x metro		
25,65	25,65		12,82		
Prescrições complementares da NBR 6118					
Ø Máximo (mm)		Espaçamento máximo (cm)			
250		30			
Torção:					
Dados de entrada:					
Tsd (kgf.m)	c1 (cm)	he	Obs. : A/u ≥ he ≥ 2c1		
21960	3	28	he deve ser menor do que a espessura real em caso de peças vazadas.		
Resultados:					
A/u	2 C1	τ _{td} (kN/cm²)	τ _{td2} (kN/cm²)	Biela	
34,910	6,0	0,030	0,402	Ok	
Armaduras:					
A90 (cm²/m)		Asl (cm²)			
2,87		16,71			
Prescrições complementares da NBR 6118					
Ø Máximo (mm)		Espaçamento máximo (cm)			
250		30			
Resumo					
Verificação em conjunto		Estribos Totais (por perna)		Asl (cm²)	
		A90 (cm²/m)			
0,120	Ok	12,82		16,71	

Figura 10.6 – Dimensionamento ao Cisalhamento

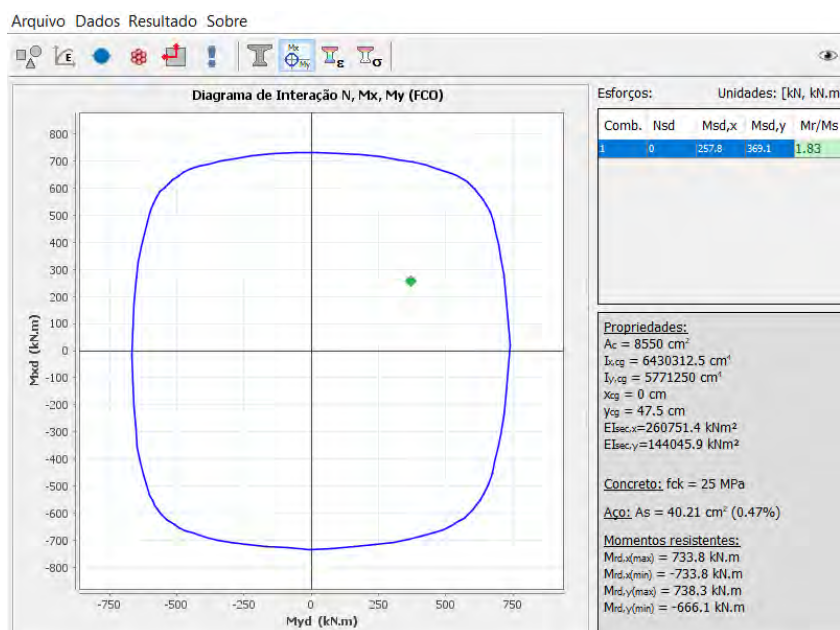


Figura 10.7 – Verificação Pós-Torção

11.0 DIMENSIONAMENTO DOS PILARES – PONTE UNIDA-MAIORES ESFORÇOS

11.1 ESFORÇOS SOLICITANTES

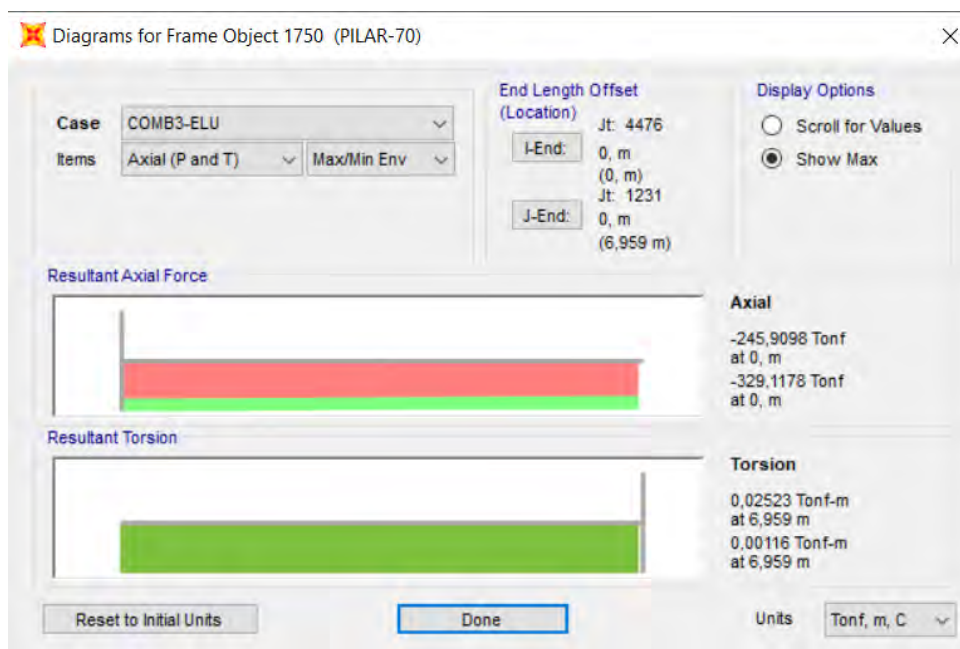


Figura 11.1 – Esforços Normal



Figura 11.2 – Esforços de Flexão M2

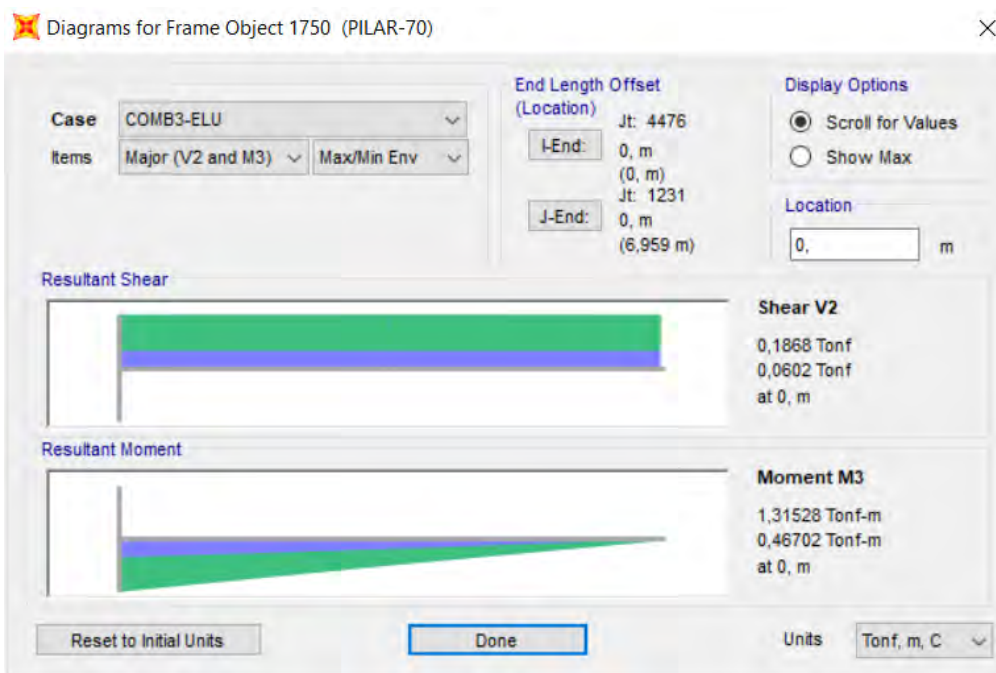


Figura 11.3 – Esforços de Flexão M3

Pilares de canto				
Dados de entrada				
b (cm)	h (cm)	le (b)(cm)	le (h)(cm)	f _{ck} (MPa)
70	70	1200	1200	40
N (kN)	M _A (b) (kNxcm)	M _B (b) (kNxcm)	M _A (h) (kNxcm)	M _B (h) (kNxcm)
2351	-31293	32815	0	9357
Seção da extremidade (Topo)				
M _{adot} (b) (kNxcm)			M _{adot} (h) (kNxcm)	
43810,20			11849,04	
Seção da extremidade (Base)				
M _{adot} (b) (kNxcm)			M _{adot} (h) (kNxcm)	
45941,00			13099,80	
Seção intermediária				
λ _b			λ _h	
59,31			59,31	
M _{d,Tot} (b) (kNxcm)			M _{d,Tot} (h) (kNxcm)	
24077,27			47415,15	

Figura 11.4 – Cálculo dos Efeitos na Seção do Pilar

Arquivo Dados Resultado Sobre

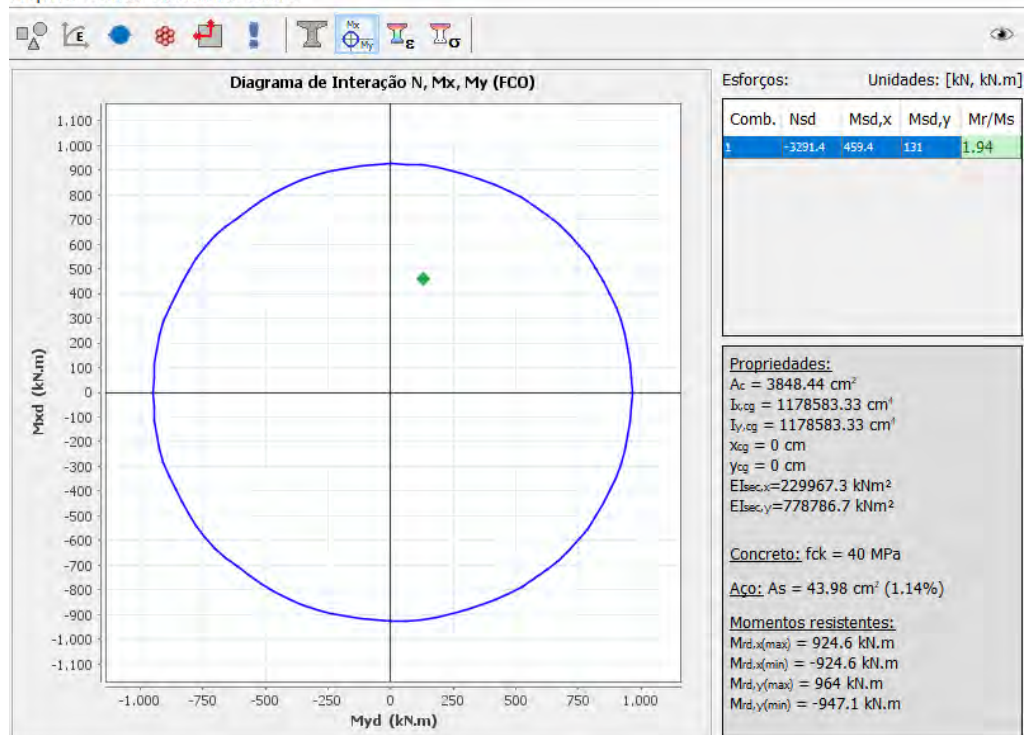


Figura 11.5 – Verificação dos Pilares

12.0 DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS

12.1 ESFORÇOS SOLICITANTES – PONTE UNIDA-MAIORES ESFORÇOS

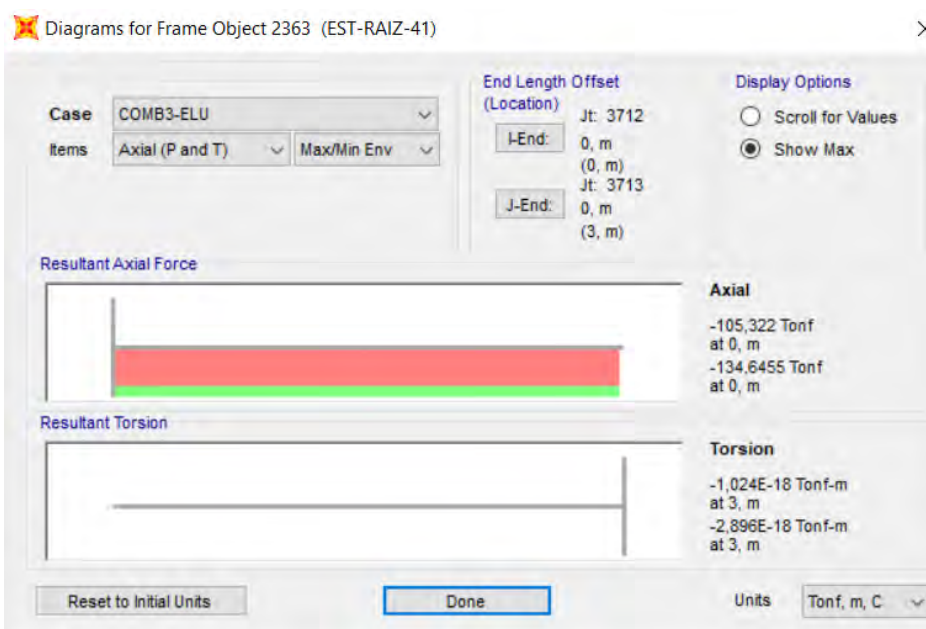


Figura 12.1 – Esforços Normal

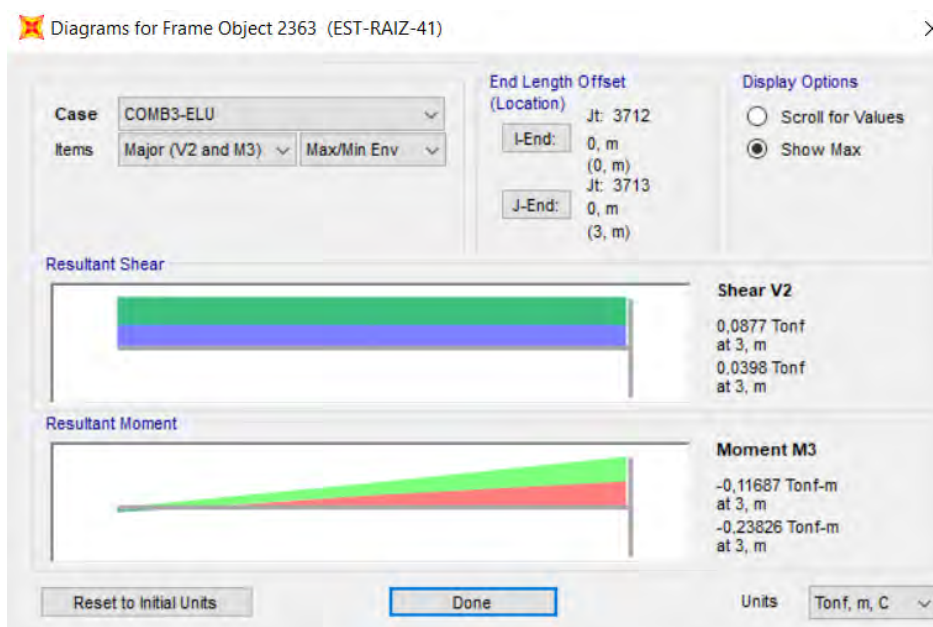


Figura 12.2 – Esforços de Flexão M3

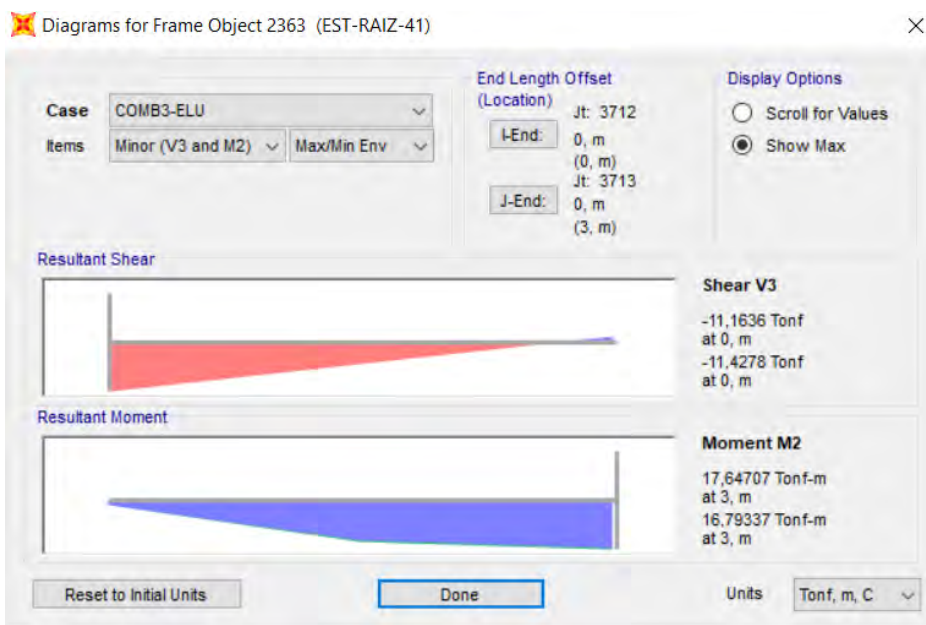


Figura 12.3 – Esforços de Flexão M2

Pilares de canto				
Dados de entrada				
b (cm)	h (cm)	le (b)(cm)	le (h)(cm)	f _{ck} (MPa)
40	40	500	500	40
N (kN)	M _A (b) (kNxcm)	M _B (b) (kNxcm)	M _A (h) (kNxcm)	M _B (h) (kNxcm)
961,8	0	12707	0	0
Seção da extremidade (Topo)				
M _{adot} (b) (kNxcm)			M _{adot} (h) (kNxcm)	
3635,60			3635,60	
Seção da extremidade (Base)				
M _{adot} (b) (kNxcm)			M _{adot} (h) (kNxcm)	
17789,80			3635,60	
Seção intermediária				
λ _b			λ _h	
43,25			43,25	
M _{d,Tot} (b) (kNxcm)			M _{d,Tot} (h) (kNxcm)	
12179,34			7843,48	

Figura 12.4 – Cálculo dos Efeitos na Seção da Estaca

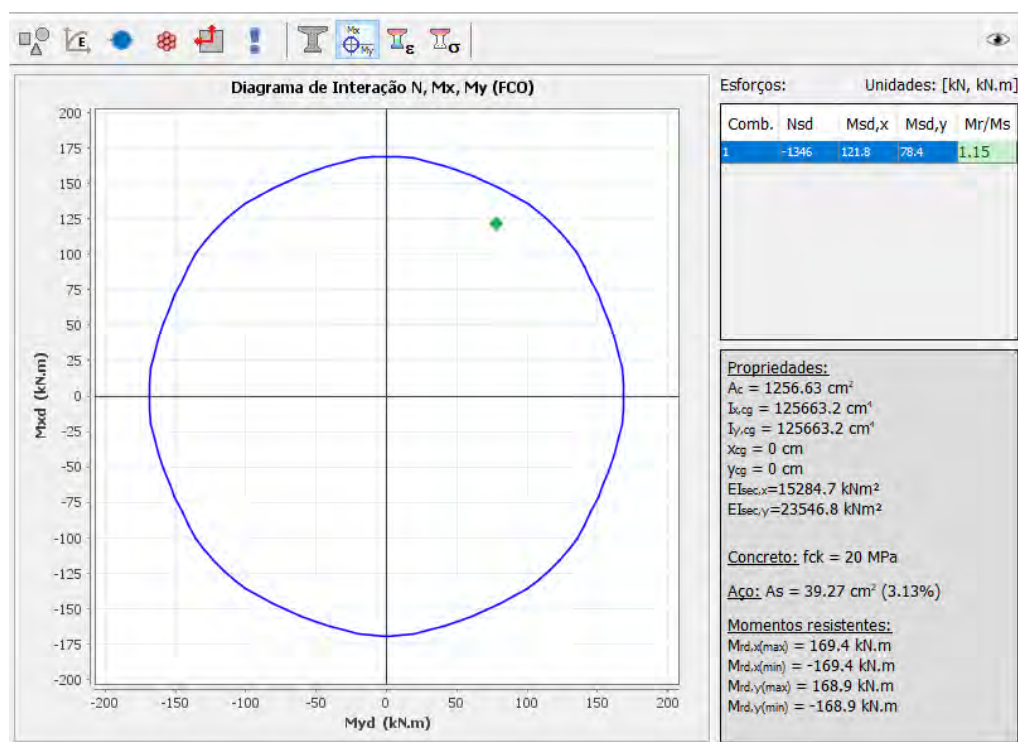


Figura 12.5 – Armação das Estacas

13.0 DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS – PONTE UNIDA

13.1 BLOCOS DOS ENCONTROS

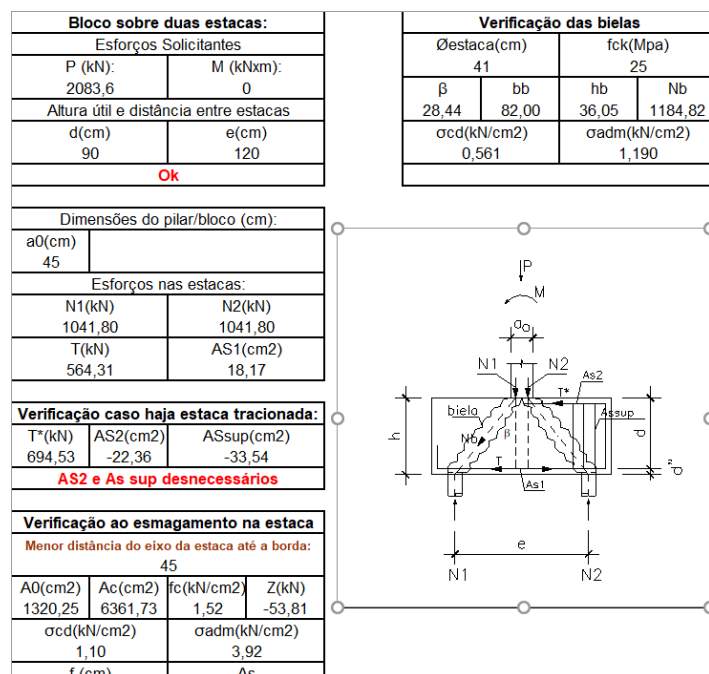


Figura 13.1 – Bloco dos Encontros

13.2 BLOCO DOS PILARES

13.2.1 Direção 1,20 m

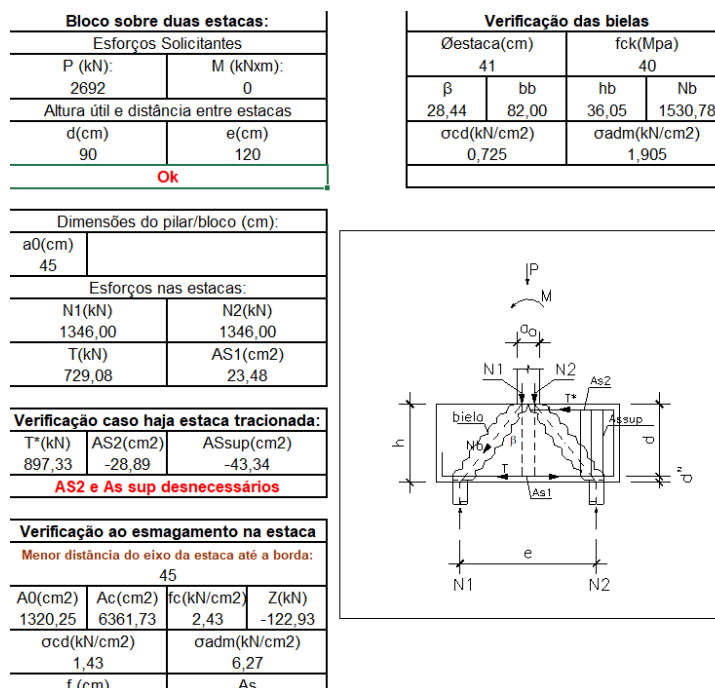


Figura 13.2 – Bloco dos Pilares – Direção Longitudinal

13.2.2 Direção 1,95 m

Bloco sobre duas estacas:	
Esforços Solicitantes	
P (kN): 2692	M (kNm): 0
Altura útil e distância entre estacas	
d(cm) 90	e(cm) 195
Ok	

Verificação das bielas			
Øestaca(cm)		fck(Mpa)	
41		40	
β	bb	hb	Nb
43,78	82,00	29,60	1864,30
σcd(kN/cm²)		σadm(kN/cm²)	
1,075		1,905	

Dimensões do pilar/bloco (cm):	
a0(cm)	45
Esforços nas estacas:	
N1(kN)	N2(kN)
1346,00	1346,00
T(kN)	AS1(cm²)
1289,92	41,53

Verificação caso haja estaca tracionada:		
T*(kN)	AS2(cm²)	ASsup(cm²)
1458,17	-46,95	-43,34
AS2 e As sup desnecessários		

Verificação ao esmagamento na estaca			
Menor distância do eixo da estaca até a borda:			
45			
A0(cm²)	Ac(cm²)	fc(kN/cm²)	Z(kN)
1320,25	6361,73	2,43	-122,93
σcd(kN/cm²)		σadm(kN/cm²)	
1,43		6,27	
f (cm)		As	

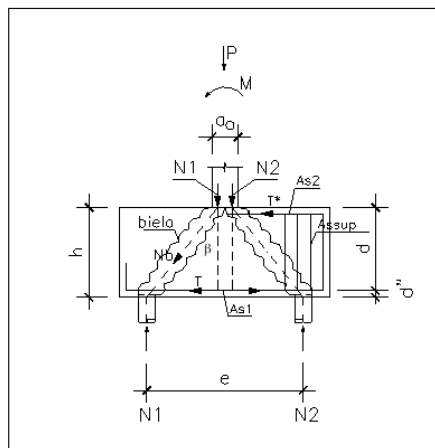


Figura 13.3 – Bloco dos Pilares – Direção Transversal

Os blocos foram armados para a carga máxima das estacas observados no SAP2000, cargas essas, resultantes já do equilíbrio das forças no bloco.



Figura 13.4 – Esforços nas Estacas – Lateral 1

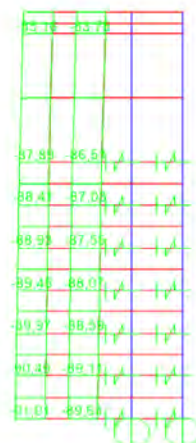
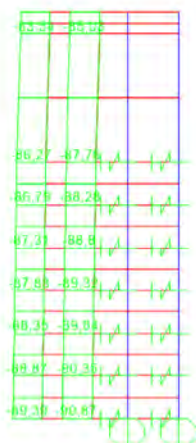


Figura 13.5 – Esforços nas Estacas - Central

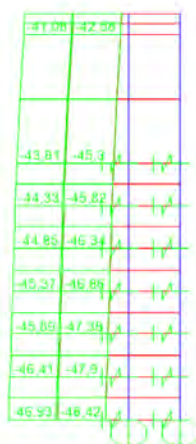


Figura 13.6 – Esforços nas Estacas – Lateral 2

14.0 DEFORMAÇÕES GERAIS

14.1 PP+PERM+SCTB45

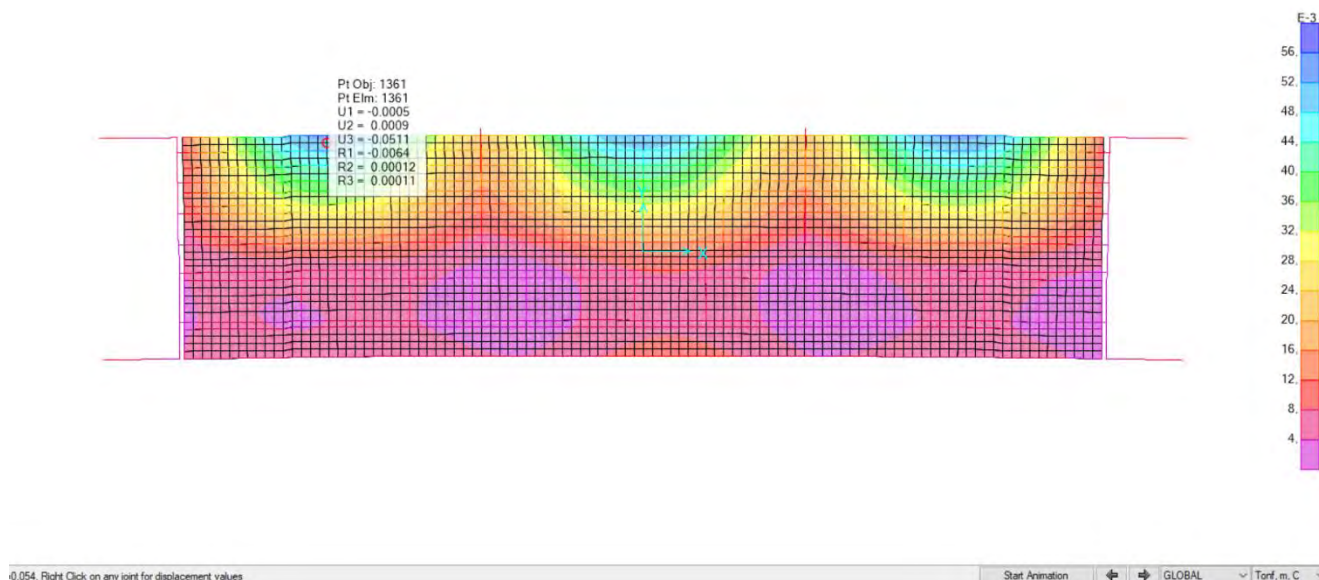


Figura 14.1 – Deformação devido a Soma dos Carregamentos

$$\delta T = 5cm = \frac{\ell}{350} - OK$$

14.2 SCTB45

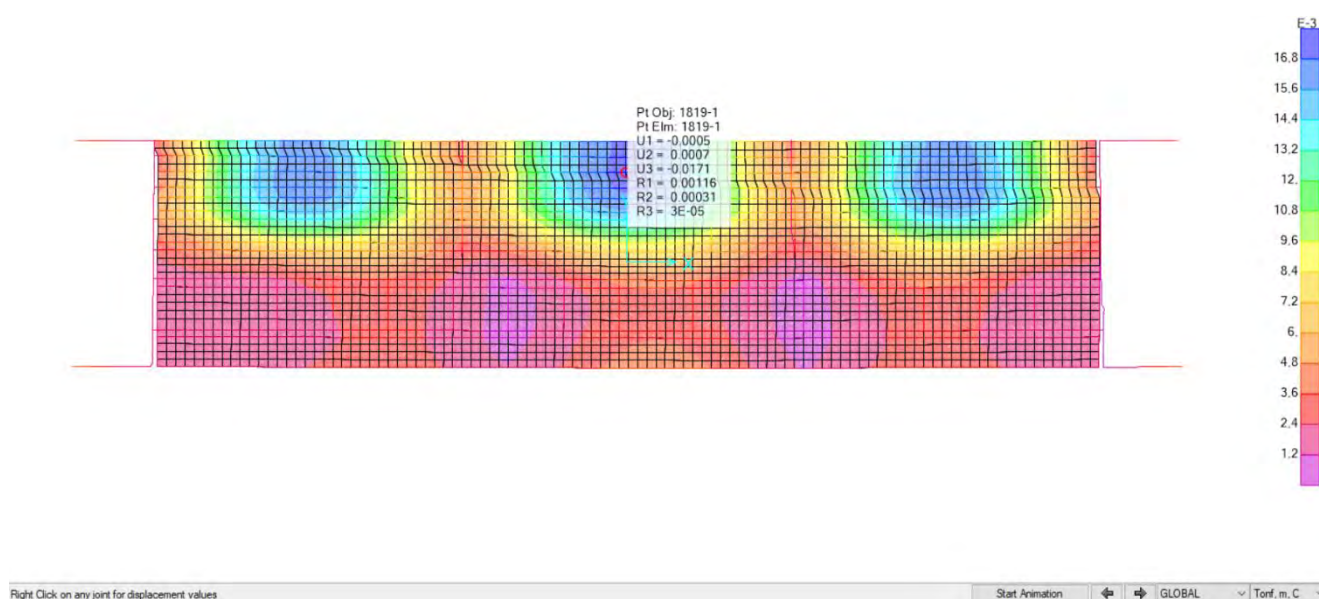


Figura 14.2 – Deformação devido a Sobrecarga Móvel

$$\delta_{sc} = 1,16 = \ell/1551,72 - OK$$

15.0 FRETAGENS

15.1 PROTENSÃO

FRETAGEM - PROTENSÃO

9 cordoalhas de Ø 15,2

Carga de Ruptura Mínima =

265,8 kN/cordoalha

Força de Protensão =

182,7 tf

fy =

500 Mpa

fyd =

434,8 Mpa

Fretagem Vertical

h =

1,2 m

a =

0,2 m

n =

1

Ft =

182,7 tf

Z =

45,7 tf

Asz =

14,7 cm²

b' =

0,5 m

Ø 12,

c/ 7,5

(2 camadas)

15,1cm²

Fretagem Horizontal

b =

0,3 m

a' =

0,2 m

n =

1

Ft =

182,7 tf

Z =

18,3 tf

Asz =

5,9 cm²

h' =

1,2 m

Ø 12,

c/ 7,5

(1 camadas)

18,1cm²

Figura 15.1 – Fretagem da Protensão

Alongamento dos cabos:

$$\Delta \ell = \left(\left(\frac{182,7 + 126,95}{2} \times 10 \times 42 \right) \div 195 \times 9 \times 1,40 \right) - 265 \text{ mm}$$

15.2 BASE DAS VIGAS DE CONCRETO:

$N=27\text{tf}$

FRETAGEM - PROTENSÃO			
9 cordoalhas de $\varnothing 15,2$			
Carga de Ruptura Mínima =	265,8	kN/cordoalha	
Força de Protensão =	27,0	tf	
$f_y =$	500	Mpa	
$f_{yd} =$	434,8	Mpa	
Fretagem Vertical			
$h =$	0,4	m	
$a =$	0,025	m	
$n =$	1		
$F_t =$	27,0	tf	
$Z =$	7,6	tf	
$A_{sz} =$	2,4	cm ²	
$b' =$	0,3	m	
	$\varnothing 12,$	$c/7,5$	(1 camadas) 4,5cm ²
Fretagem Horizontal			
$b =$	0,3	m	
$a' =$	0,025	m	
$n =$	1		
$F_t =$	27,0	tf	
$Z =$	7,4	tf	
$A_{sz} =$	2,4	cm ²	
$h' =$	0,2	m	
	$\varnothing 12,$	$c/7,5$	(1 camadas) 3,0cm ²

Figura 15.2 – Fretagem Sob Apoio das vigas de concreto

15.3 PILARETES-GERAIS

N=27tf

FRETAGEM - PROTENSÃO			
9 cordoalhas de $\varnothing 15,2$			
Carga de Ruptura Mínima =	265,8	kN/cordoalha	
Força de Protensão =	96,0	tf	
$f_y =$	500	Mpa	
$f_{yd} =$	434,8	Mpa	
Fretagem Vertical			
$h =$	0,45	m	
$a =$	0,2	m	
$n =$	1		
$F_t =$	96,0	tf	
$Z =$	16,0	tf	
$A_{sz} =$	5,2	cm ²	
$b' =$	0,45	m	
	$\varnothing 12,$	$c/7,5$	(1 camadas) 6,8cm ²
Fretagem Horizontal			
$b =$	0,3	m	
$a' =$	0,25	m	
$n =$	1		
$F_t =$	96,0	tf	
$Z =$	4,8	tf	
$A_{sz} =$	1,5	cm ²	
$h' =$	0,45	m	
	$\varnothing 12,$	$c/7,5$	(1 camadas) 6,8cm ²

Figura 15.3 – Armadura dos Pilaretes