

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

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 REQUISITOS E PARÂMETROS DE DURABILIDADE DA CONSTRUÇÃO	5
2.3 PARÂMETROS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	5
2.4 NORMAS E BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	6
3.0 AÇÕES CONSIDERADAS	6
3.1 PESO PRÓPRIO	6
3.2 CARGAS PERMANENTES	6
3.3 CARGAS MÓVEIS	7
4.0 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	8
4.1 MODELO ESTRUTURAL – 2ª ETAPA	8
4.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	9
4.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS UTILIZADAS – 2ª ETAPA.....	10
4.4 CARREGAMENTOS APLICADOS	14
5.0 RESULTADOS – 1ª FASE	25
5.1 ESFORÇOS DEVIDO AO PESO PRÓPRIO	25
5.2 ESFORÇOS DEVIDO AO PESO PRÓPRIO - CONCRETAGEM.....	27
5.3 ESFORÇOS DEVIDO AS CARGAS PERMANENTES	29
5.4 ESFORÇOS DEVIDO AS CARGAS MÓVEIS.....	31
5.5 ESFORÇOS DEVIDO A PROTENSÃO.....	33
5.6 RESUMO DE ESFORÇOS / ANÁLISE DE TENSÕES	35
6.0 COMBINAÇÕES.....	40
6.1 AÇÕES CONSIDERADAS	40
6.2 COMBINAÇÕES	40
7.0 VERIFICAÇÃO DAS SEÇÕES – LONGARINAS.....	41
7.1 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS A FLEXÃO	41
7.2 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS AO CISALHAMENTO	52
8.0 VERIFICAÇÃO DA VTR4 – TRAVESSA DE SAÍDA DE CABOS	54
8.1 ARMAÇÃO DE FLEXÃO.....	54

1.0 OBJETIVO

Este documento tem a finalidade de apresentar a memória de cálculo do dimensionamento do reforço estrutural da ponte existente sobre o Rio Sapucaí Mirim (Conceição dos Ouros) – Trecho Cachoeira de Minas – Paraisópolis. O reforço estrutural será executado na ponte existente com o objetivo de adequá-la a nova largura necessária, bem como sua capacidade de carga ao trem tipo TB45 da NBR7188-2013.

O resultado final do reforço comporá uma única ponte anexada a ponte metálica projetada na memória de cálculo parte B. Este memorial estudará o reforço na ponte existente independentemente, sem a conexão com a ponte metálica requerido pelo projeto, objetivando esclarecer qual o melhor momento para realiza-lo: antes ou depois da conexão de ambas as pontes, além de servir posteriormente para um comparativo de interação entre as duas pontes.

2.0 METODOLOGIA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com objetivo de encontrar os esforços solicitantes correspondentes a estrutura projetada, o tabuleiro foi modelado com o uso do software SAP2000, baseado no método dos elementos finitos.

O cálculo do reforço foi idealizado para ser feito com protensão externa, com cordoalhas engraxadas, já que, a aplicação da protensão externa acelera os trabalhos, dispensando formas e furos ao longo de toda estrutura de concreto armado, gerando ainda, pouco acréscimo de peso próprio. Serão necessários blocos desviadores, para dar ao cabo traçado ideal que alivie o tabuleiro, executados em concreto entre travessas em pontos estratégicos que gerem o mais eficiente momento hiperestático. Para confiabilidade frente as dificuldades de um modelo hiperestático, os esforços de protensão foram obtidos tanto por meio de cabo diretamente lançado no programa, quanto pela aplicação de cargas equivalentes (Ambos apresentaram resultados semelhantes).

Para chegar à armadura necessária ou momento fletores resistentes serão realizadas duas etapas: Primeiramente o peso próprio das vigas e nova concretagem atuam sobre a estrutura antiga, deixando tensões residuais nas armaduras estimadas pelo Memorial Parte A. Com a armadura restante disponível e o cabo de protensão, as seções de momento positivo foram verificadas aos novos momentos fletores atuantes, quando da implantação das cargas permanentes e carga móvel. Essa verificação foi feita considerando o cabo protendido e também através da conversão da armadura ativa residual em armadura passiva, para credibilidade dos resultados. A armadura negativa foi calculada com alívio do momento pelo hiperestático de protensão, porém sem uso do cabo, devido a rápida alteração de traçado.

O trem tipo TB45 foi considerado passando sobre a laje onde poderia causar maior solicitação nas longarinas, de forma a obter os esforços solicitantes para realização do reforço.

A ponte foi analisada independente, para que, após a análise da interação entre as estruturas, tenha-se conhecimento do melhor momento para realizar a protensão, bem como o efeito da mesma na estrutura unificada e separada. Para o entendimento da real interação das estruturas é necessário o cálculo de cada uma separada, afim de realizar um comparativo final.

2.2 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 a 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 esgoto junto a água sob a ponte e que o mesmo pode entrar em contato com pilares e blocos, e ainda, se aproximar, da estrutura do tabuleiro. O Fck 40MPa não acrescenta substancialmente no preço final das obras, e auxiliará, também, na redução da deformação com ganho na mesa colaborante da seção mista.

2.3 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 $E = 19750 \text{ kN/cm}^2$

2.4 **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

3.0 **AÇÕES CONSIDERADAS**

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. Para as lajes foi lançado um carregamento correspondente a espessura para verificação da carga de etapa de concretagem sobre as vigas existentes.

Nome do carregamento:

- Dead
- PP NOVO + ANTIGO

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 especificados.

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 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 0,30tf/m² para análise da estrutura global e 0,50tf/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)

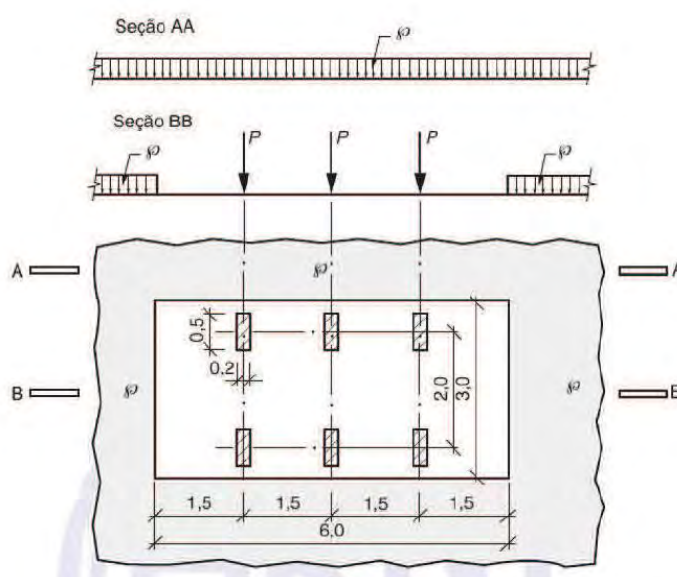


Figura 3.1 – Disposição das Rodas dos Veículos – NBR 7188

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

O modelo foi idealizado no SAP2000 conforme figura a seguir, onde o tabuleiro é constituído de 5 vãos hiperestáticos, tendo os seguintes comprimentos: 6, 13, 16, 13, e 3 metros. O primeiro e último vão são pequenos acréscimos de comprimento para que a ponte tenha o mesmo comprimento que a metálica ao lado, projetada em maior comprimento que a antiga para evitar que sua fundação fique em um ponto de grande declividade e risco de erosão.

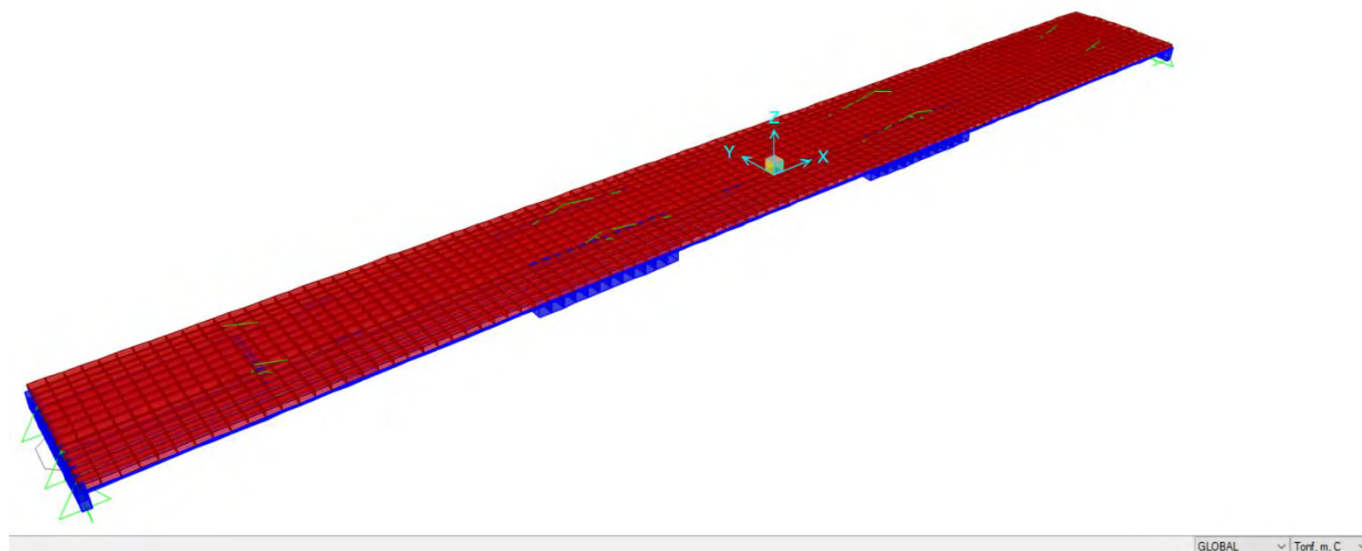


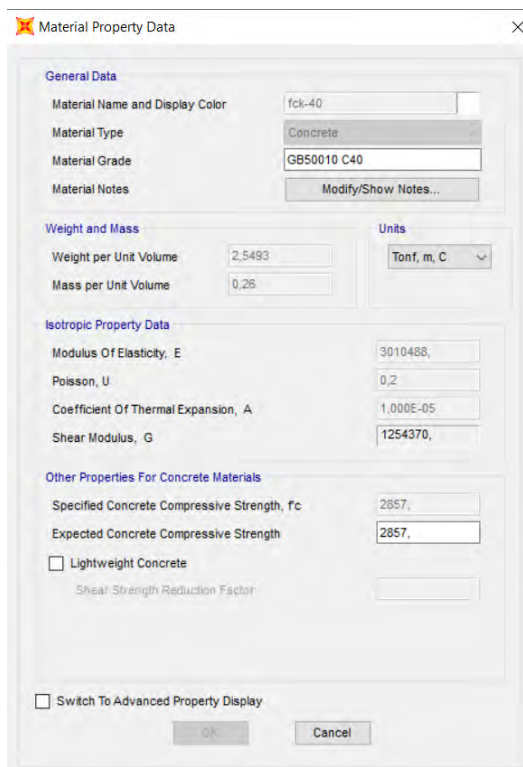
Figura 4.1 – Vista Tridimensional do Modelo Lançado



Figura 4.2 – Vista em Planta do Tabuleiro

4.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Concreto Utilizado: 40 Mpa



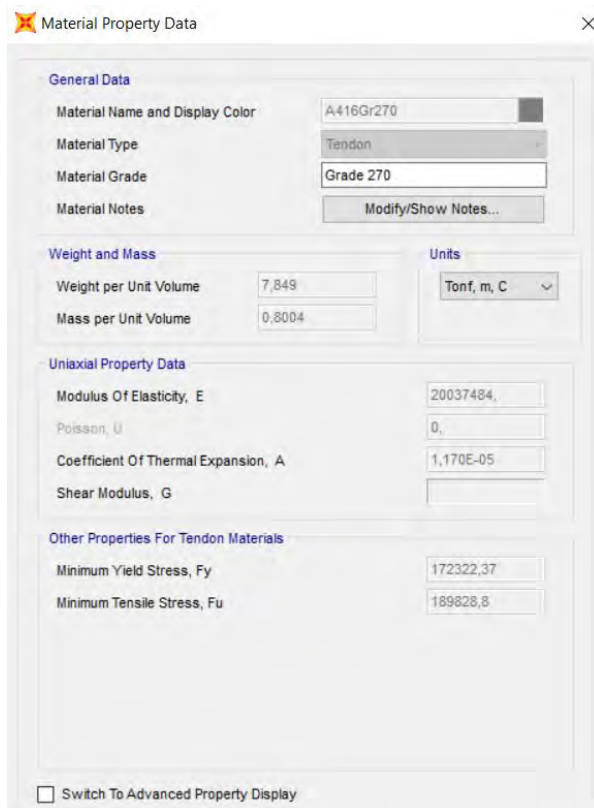
The image shows a software dialog box titled "Material Property Data". It contains several sections for defining material properties:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: fck-40
 - Material Type: Concrete
 - Material Grade: GB50010 C40
 - Material Notes: (with a "Modify/Show Notes..." button)
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 2,5493
 - Mass per Unit Volume: 0,26
- Units:**
 - Unit: 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: (disabled field)
- Switch To Advanced Property Display:**
 - ☐ Switch To Advanced Property Display

At the bottom are "OK" and "Cancel" buttons.

Figura 4.3 – 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

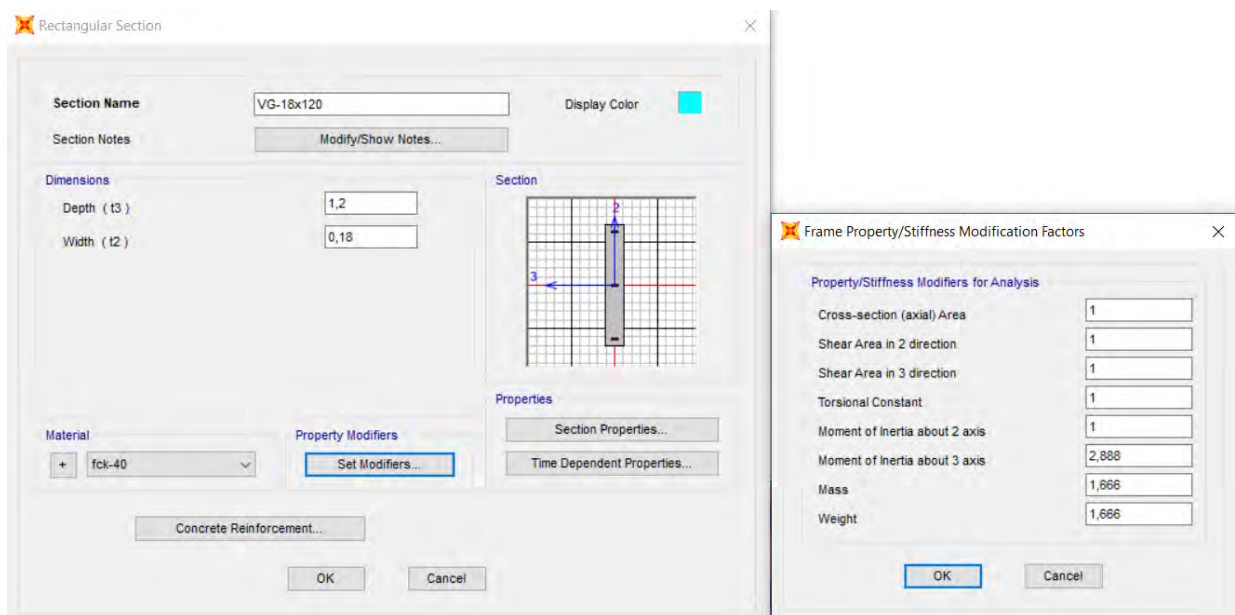
Minimum Tensile Stress, F_u : 189828,8

☐ Switch To Advanced Property Display

Figura 4.4 – Propriedades do Aço

4.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS UTILIZADAS – 2ª ETAPA

4.3.1 PROPRIEDADES DA LONGARINA – TRECHOS DE M. POSITIVOS



Rectangular Section

Section Name: VG-18x120

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Depth (t3): 1,2

Width (t2): 0,18

Material

fck-40

Property Modifiers

Set Modifiers...

Concrete Reinforcement...

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area: 1

Shear Area in 2 direction: 1

Shear Area in 3 direction: 1

Torsional Constant: 1

Moment of Inertia about 2 axis: 1

Moment of Inertia about 3 axis: 2,888

Mass: 1,666

Weight: 1,666

Figura 4.5 – Seção da Viga – Trechos Positivos

A base da Longarina foi reduzida com fator modular para homogeneizar a seção de concreto com a da mesa.

$$n = \frac{Ec(40)}{Ec(15)}$$

$$n = 0,61$$

4.3.2 PROPRIEDADE DA LONGARINA EM REGIÕES DE M. NEGATIVO

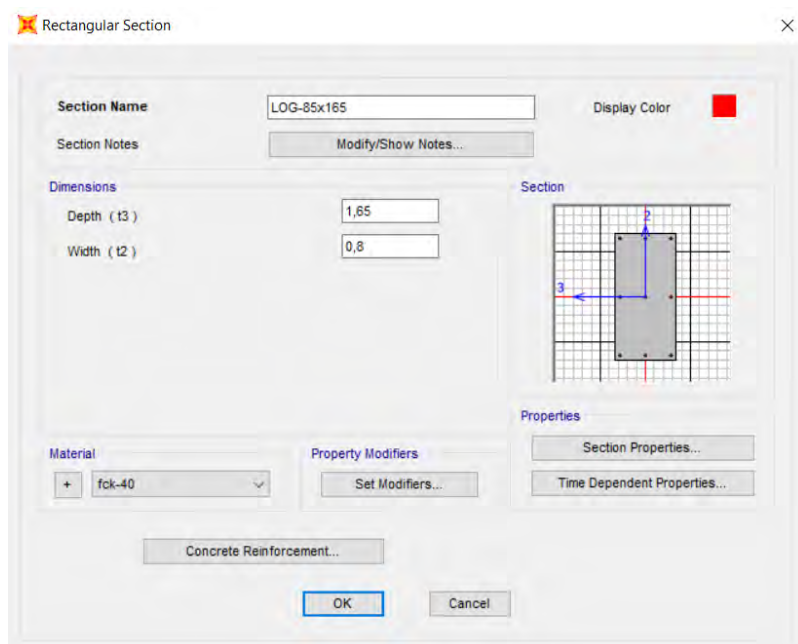
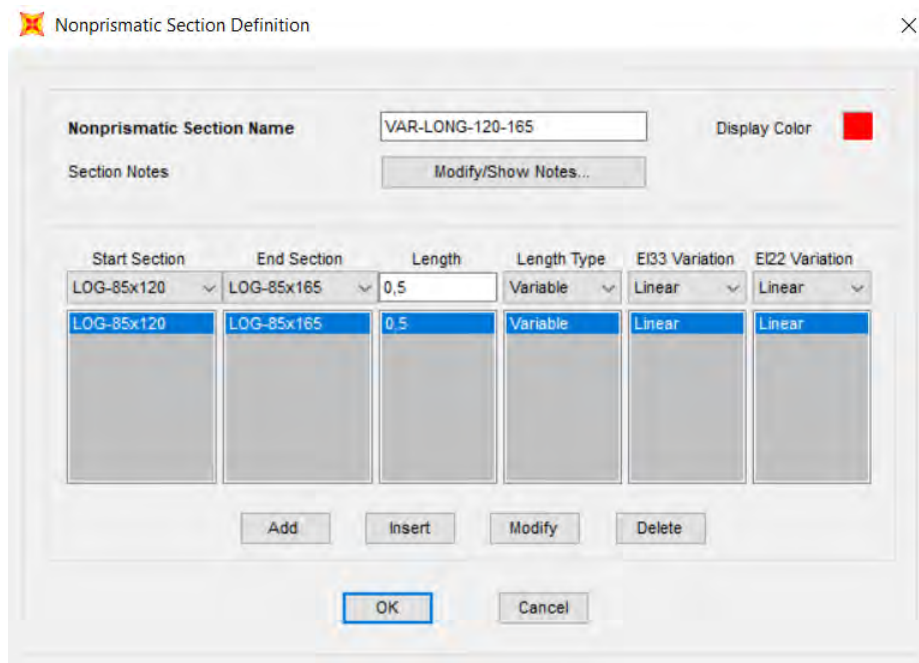


Figura 4.6 – Seção da Viga – Trechos Negativos

A base da Longarina foi reduzida com fator modular para homogeneizar a seção de concreto a da mesa.

4.3.3 LONGARINA VARIÁVEL



Nonprismatic Section Definition

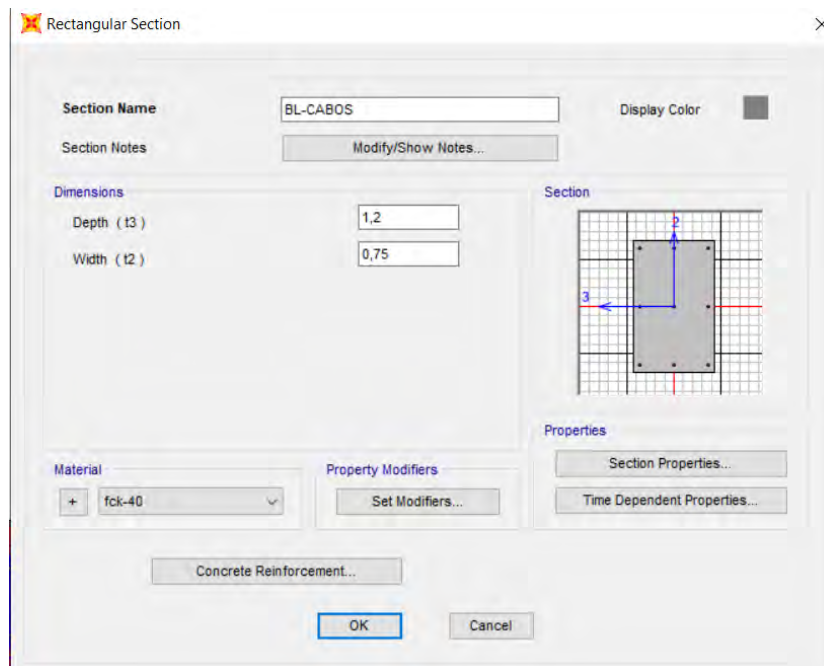
Nonprismatic Section Name: VAR-LONG-120-165 Display Color: ■

Section Notes:

Start Section	End Section	Length	Length Type	EI33 Variation	EI22 Variation
LOG-85x120	LOG-85x165	0,5	Variable	Linear	Linear

Figura 4.7 – Longarina para Trechos Variáveis

4.3.4 BLOCOS PARA CABOS DE PROTENSÃO



Rectangular Section

Section Name: BL-CABOS Display Color: ■

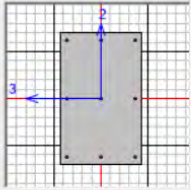
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3): 1,2

Width (t2): 0,75

Section



Material

fck-40

Property Modifiers

Properties

Figura 4.8 – Bloco de Ancoragem dos Cabos

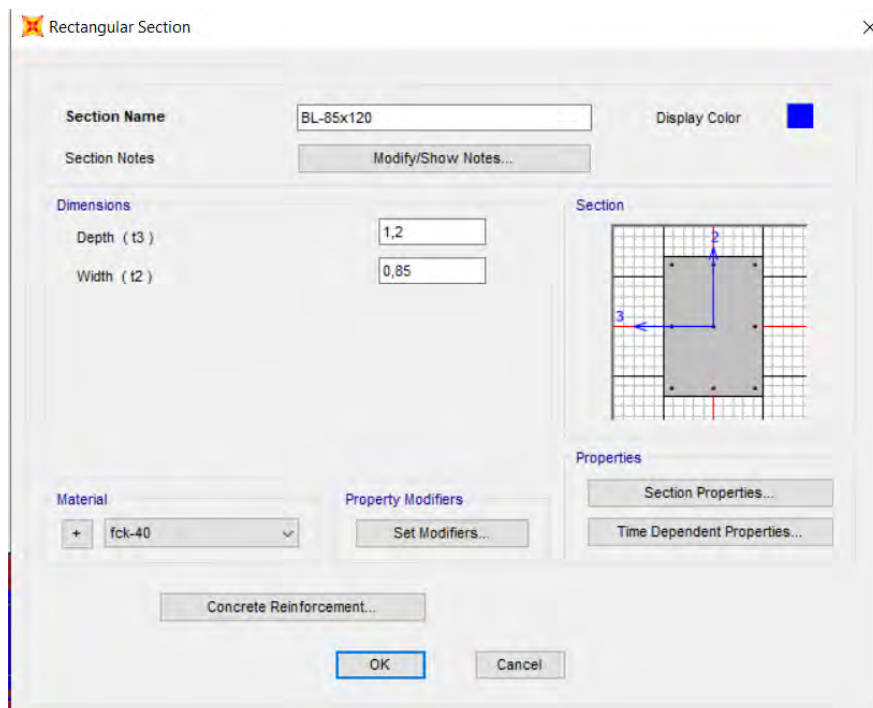


Figura 4.9 – Blocos Desviadores

4.3.5 LAJES

4.3.5.1 Laje de 20 centímetros

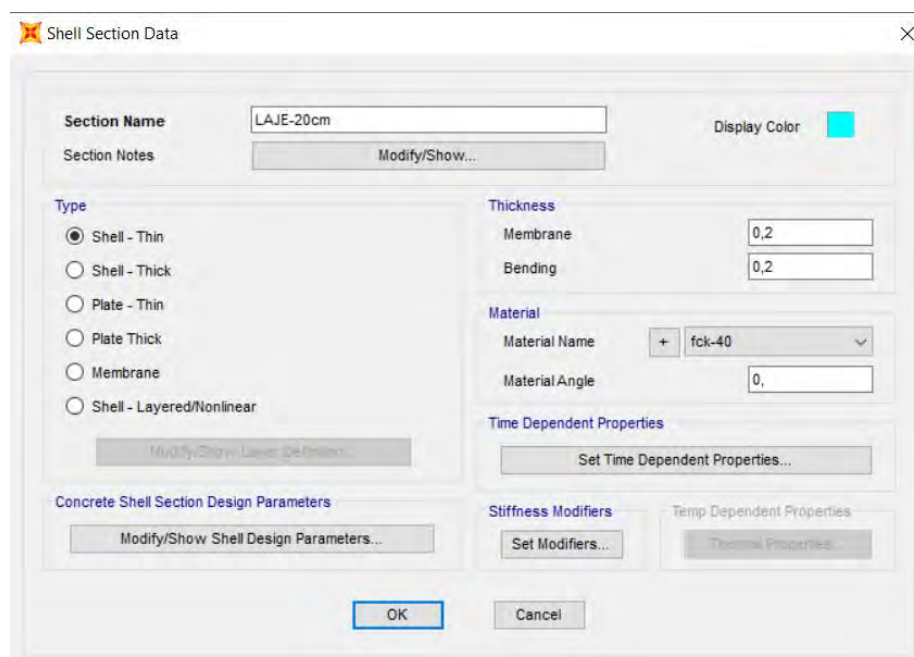


Figura 4.10 – Propriedades da Laje de 20 Centímetros

4.3.5.2 Laje de 32 centímetros

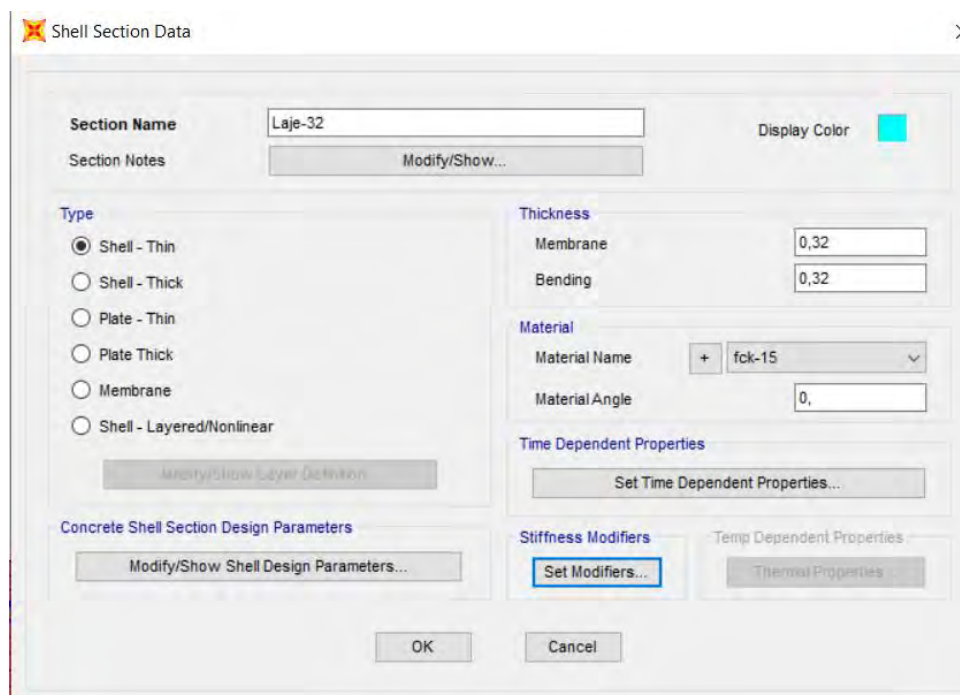


Figura 4.11 – Laje de 32 Centímetros

4.4 **CARREGAMENTOS APLICADOS**

4.4.1 1ª ETAPA – PESO DAS LAJES SOBRE AS VGS EXISTENTES

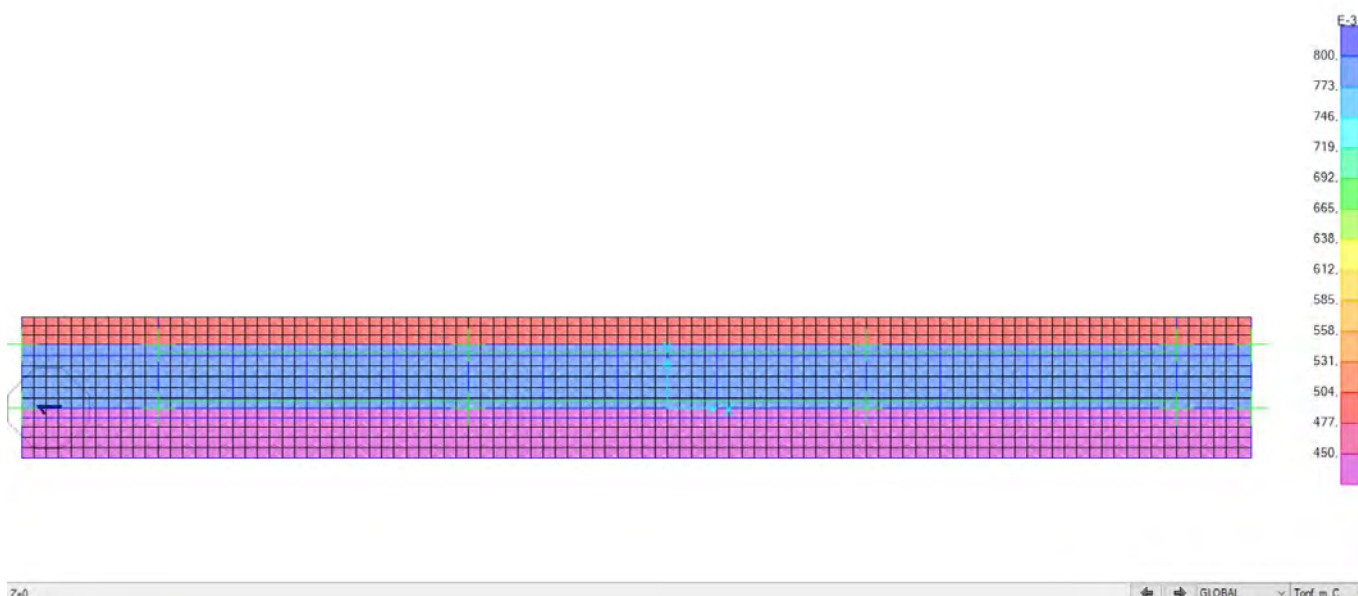


Figura 4.12 – Carregamento devido a Concretagem

4.4.2 2ª ETAPA – “PERM”



Figura 4.13 – Carregamento do Revestimento Sobre A Ponte

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



Figura 4.14 – Cargas Devido a Pavimento Futuro

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

4.4.4 Permanentes Guarda Corpo - 2ª Fase – “GC”

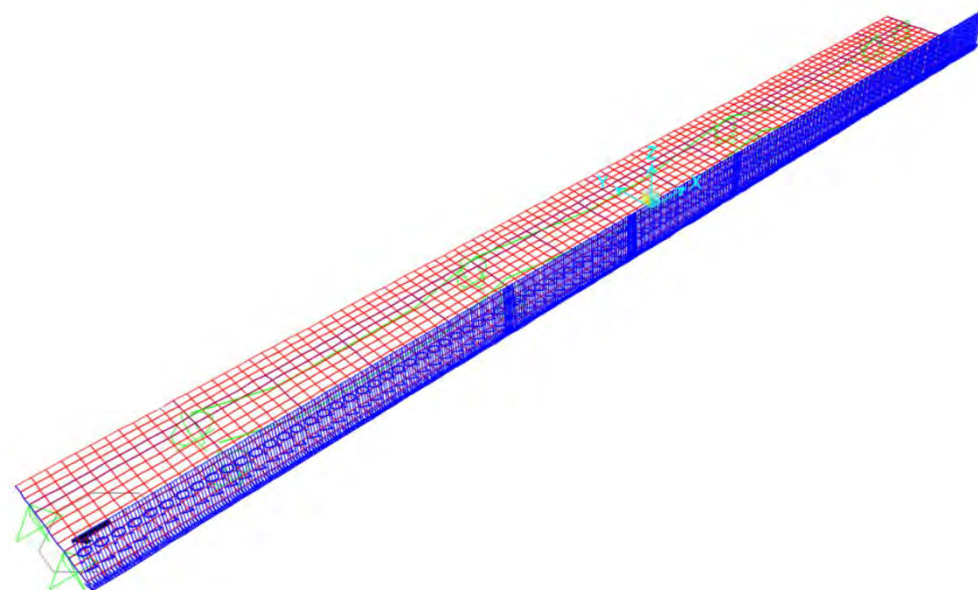


Figura 4.15 – Cargas Guarda Corpo - GC

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

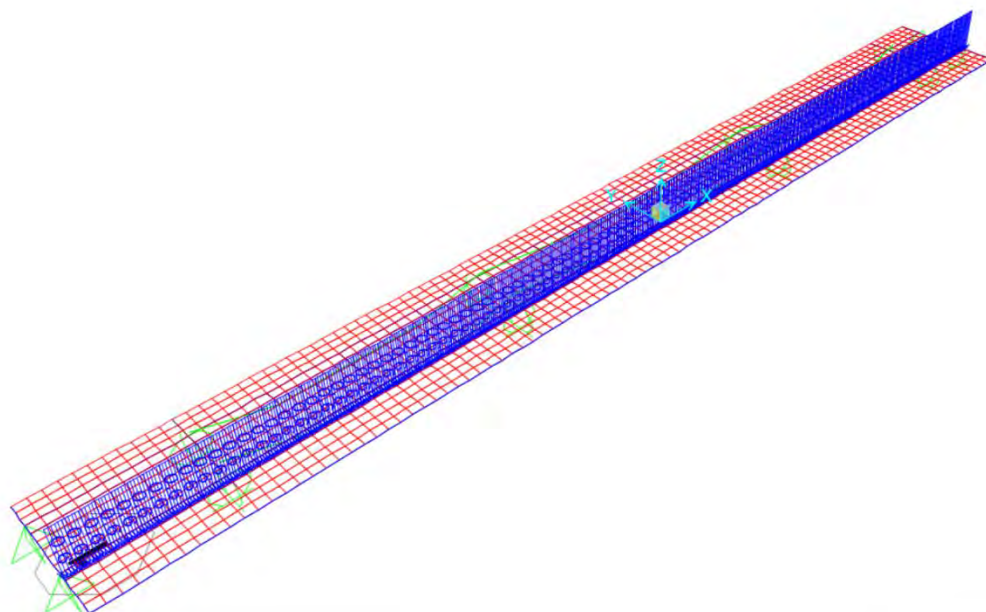
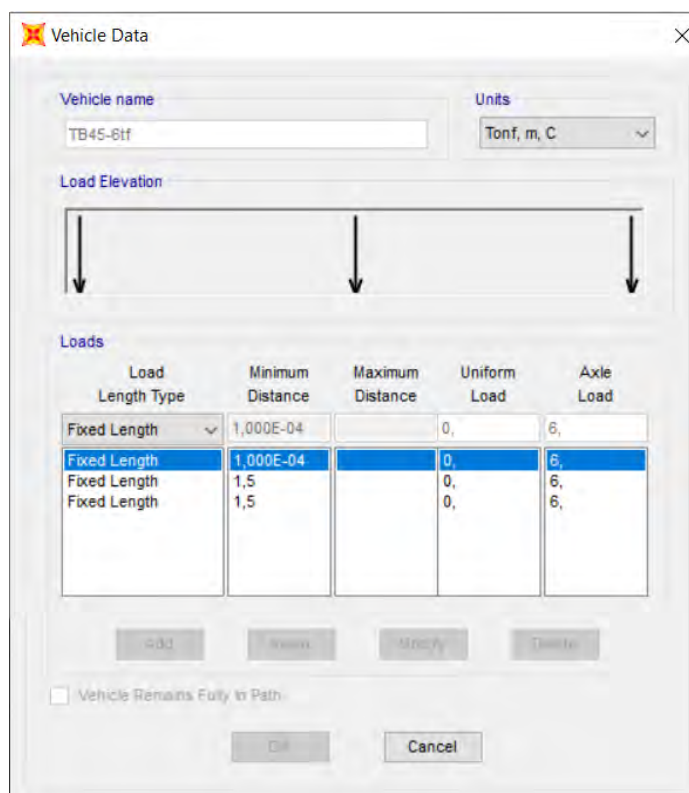


Figura 4.16 – Cargas Guarda Rodas – GR

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,

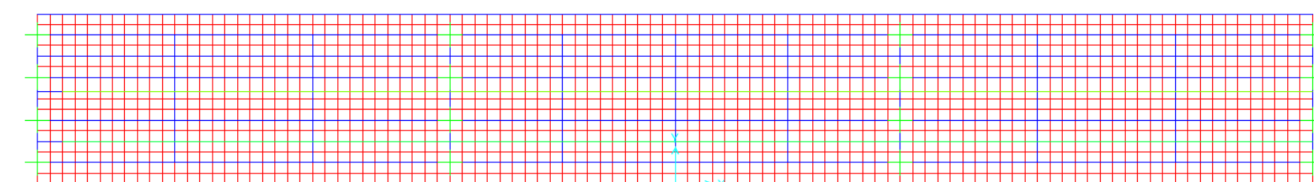
Buttons: Add, Remove, Modify, Transfer

☐ Vehicle Remains Fully in Path

Buttons: OK, Cancel

Figura 4.17 – 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.



Z=0 X0,055 Y13,516 Z0 GLOBAL Tonf, m, C

Figura 4.18– Lançamento das Lanes / Path

4.4.7 Carregamento Móvel – SCM-1

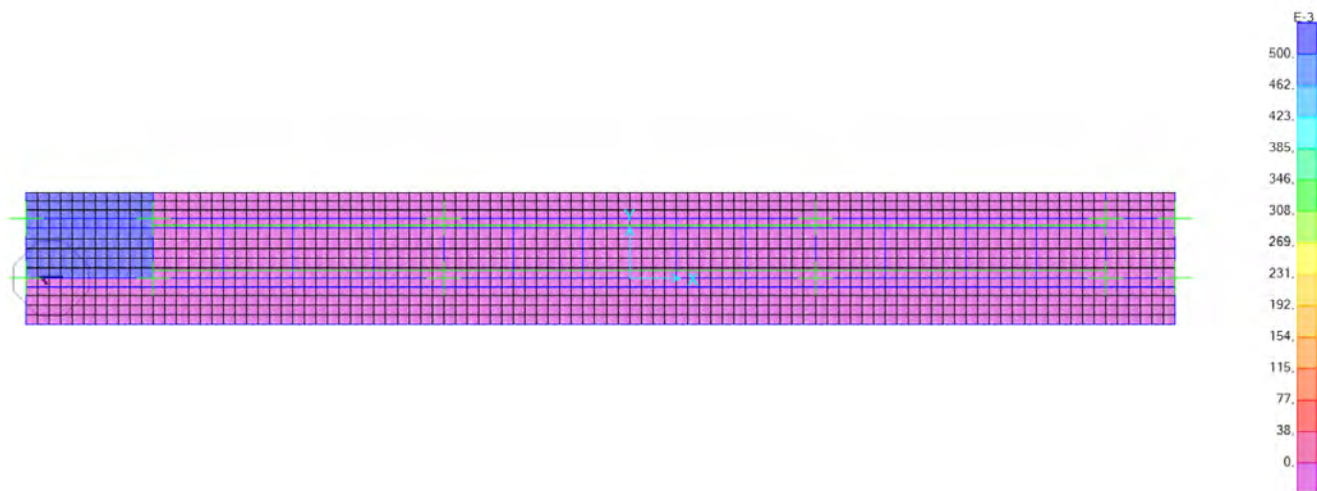


Figura 4.19 – Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 1

4.4.8 Carregamento Móvel – SCM-2

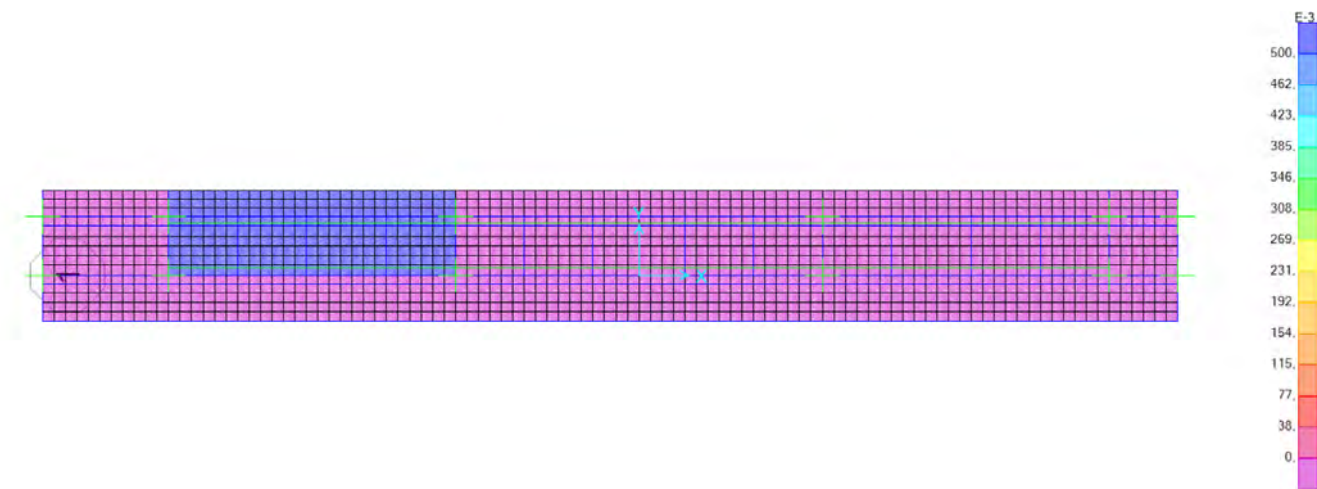


Figura 4.20 – Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 2

4.4.9 Carregamento Móvel – SCM-3



Figura 4.21 – Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 3



Figura 4.22 – Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 4



Figura 4.23 – Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 5

4.4.10 Carregamento Móvel – SPED1

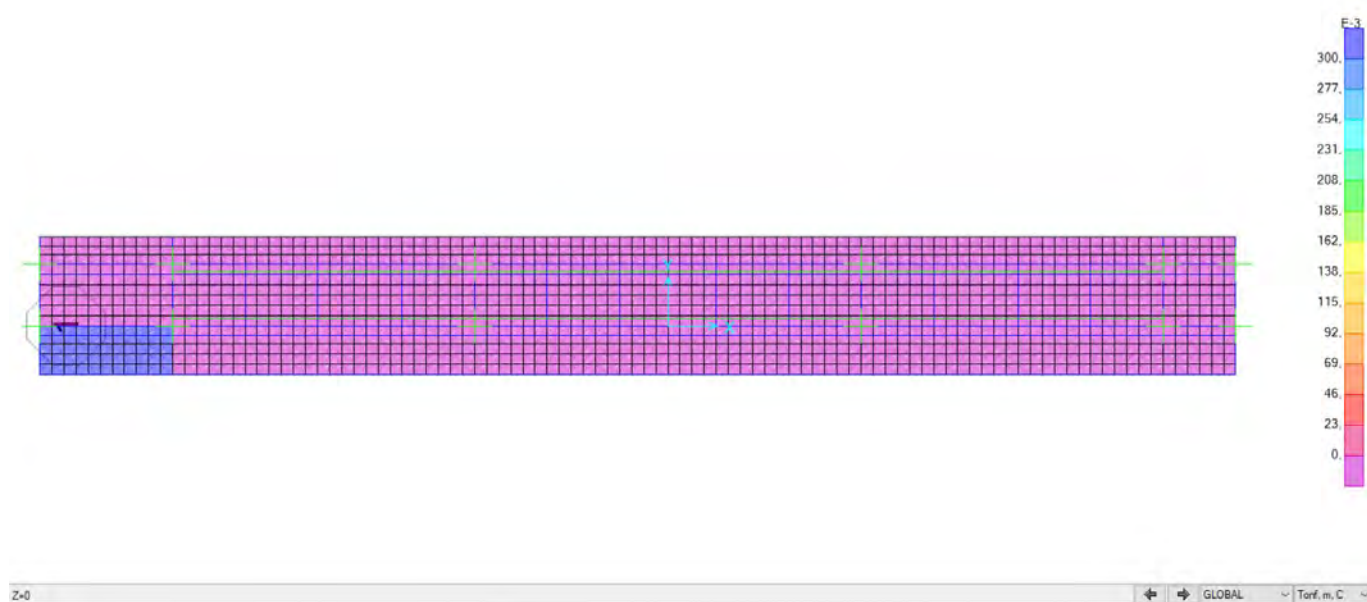


Figura 4.24 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 1

4.4.11 Carregamento Móvel – SPED2

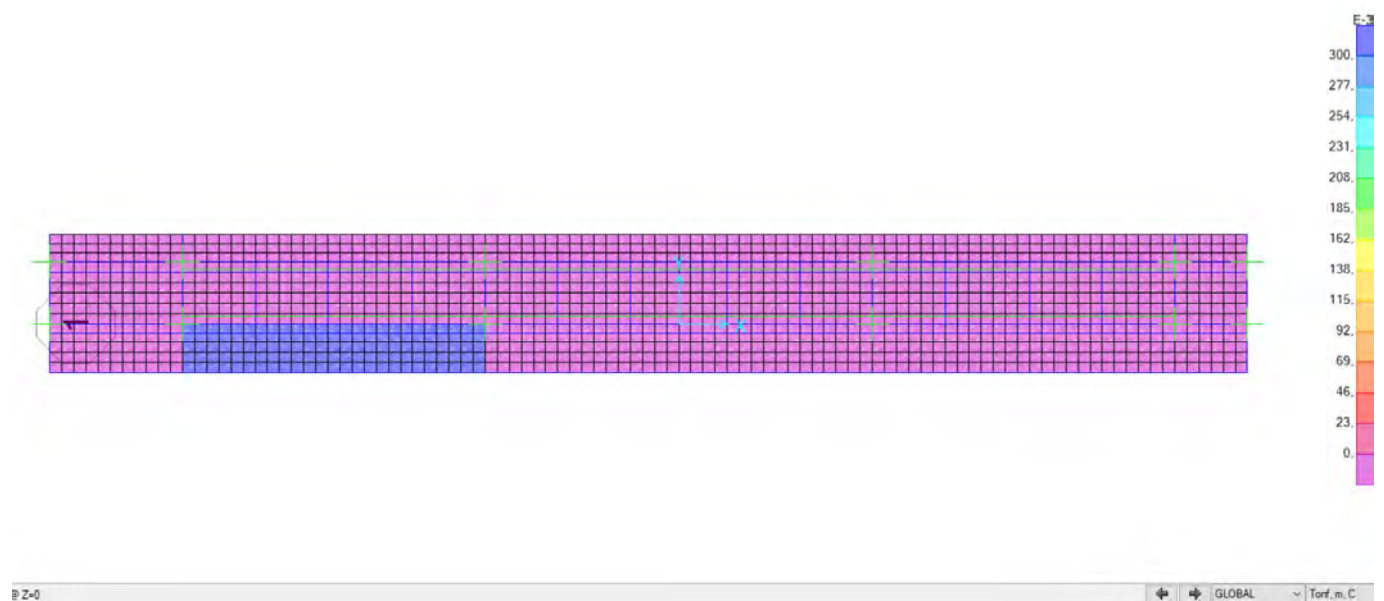


Figura 4.25 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 2

4.4.12 Carregamento Móvel – SPED3

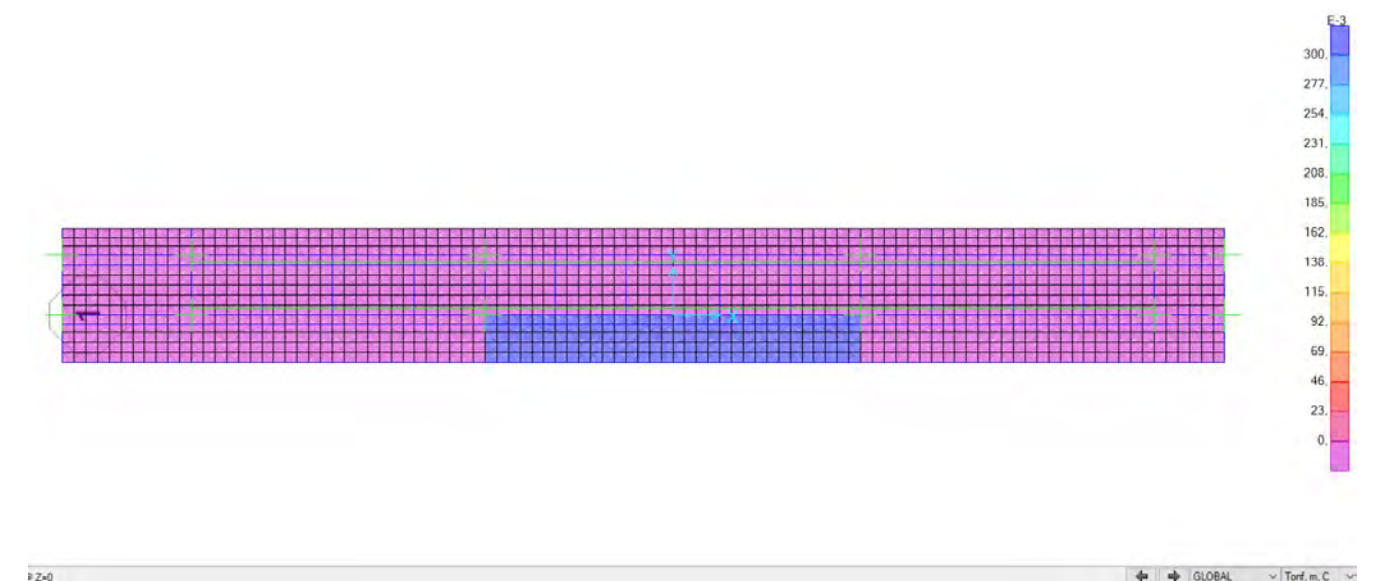


Figura 4.26 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 3

4.4.13 Carregamento Móvel – SPED4

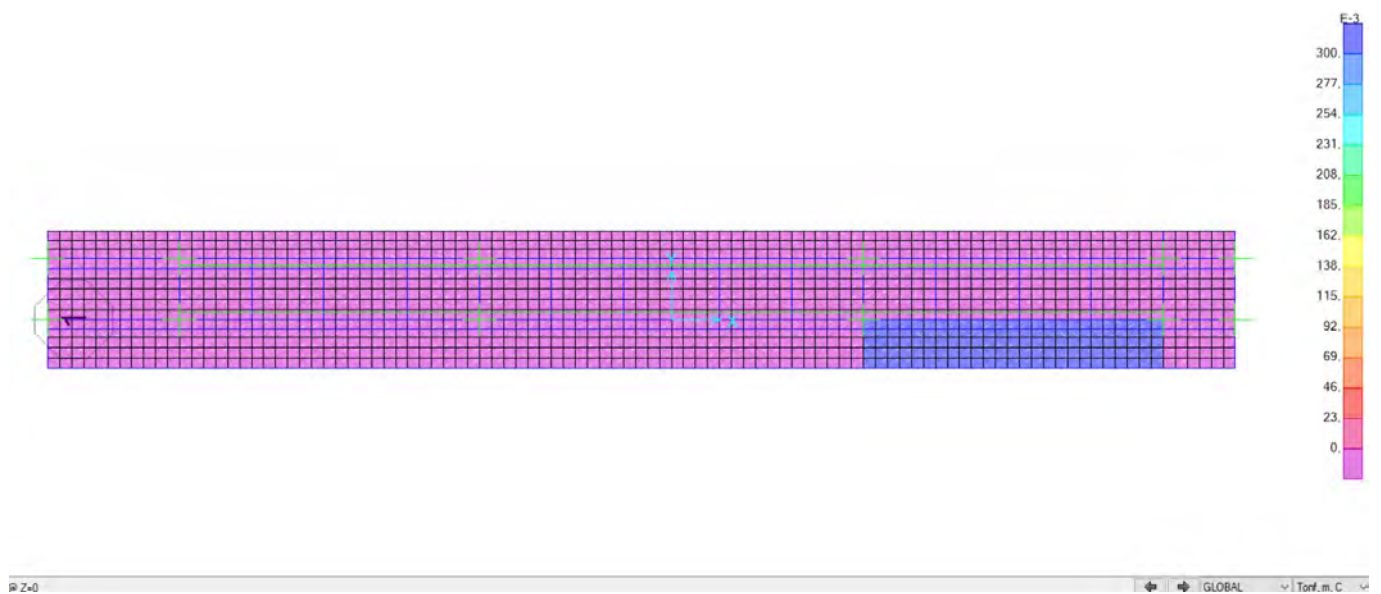
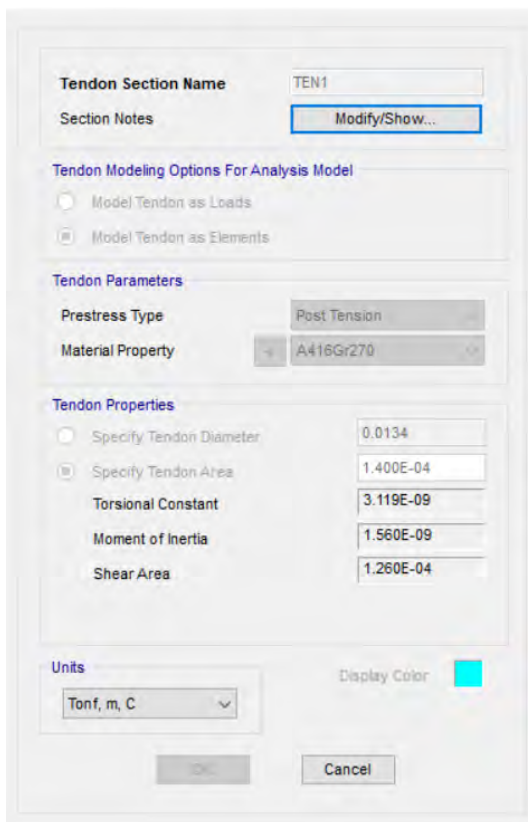


Figura 4.27 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 4



Figura 4.28 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 5

4.4.14 Protensão – Perdas Por Atrito e Cravação - 1Ø15.2 – PROT



Tendon Section Name TEN1

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

Tendon Modeling Options For Analysis Model

☐ Model Tendon as Loads

☒ Model Tendon as Elements

Tendon Parameters

Prestress Type Post Tension

Material Property A416Gr270

Tendon Properties

☐ Specify Tendon Diameter 0.0134

☒ Specify Tendon Area 1.400E-04

Torsional Constant 3.119E-09

Moment of Inertia 1.560E-09

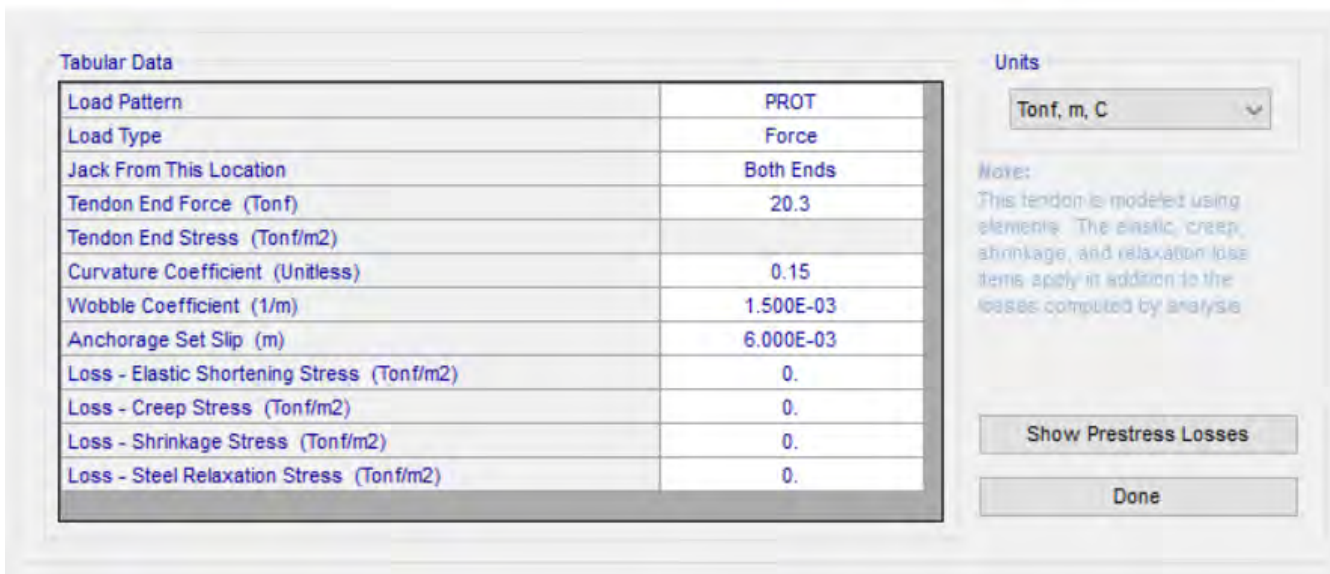
Shear Area 1.260E-04

Units Tonf, m, C

Display Color 

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

Figura 4.29 – Propriedade do Cabos



Tabular Data

Load Pattern	PROT
Load Type	Force
Jack From This Location	Both Ends
Tendon End Force (Tonf)	20.3
Tendon End Stress (Tonf/m2)	
Curvature Coefficient (Unitless)	0.15
Wobble Coefficient (1/m)	1.500E-03
Anchorage Set Slip (m)	6.000E-03
Loss - Elastic Shortening Stress (Tonf/m2)	0.
Loss - Creep Stress (Tonf/m2)	0.
Loss - Shrinkage Stress (Tonf/m2)	0.
Loss - Steel Relaxation Stress (Tonf/m2)	0.

Units Tonf, m, C

Note: This tendon is modeled using elements. The elastic, creep, shrinkage, and relaxation loss items apply in addition to the losses computed by analysis.

[Show Prestress Losses](#)

[Done](#)

Figura 4.30 – Parametros de Perdas de Protensão

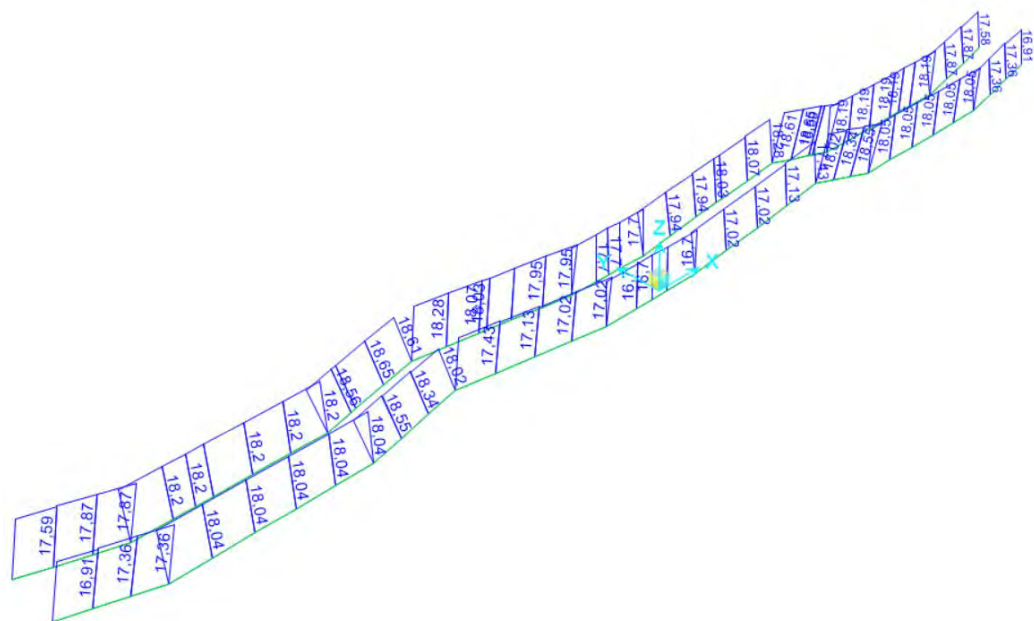


Figura 4.31 – Esforços no Cabo de Protensão – Com Perdas Iniciais – SAP2000

4.4.15 Protensão – Perdas Por Atrito e Cravação - 1Ø15.2 CARGA EQ.

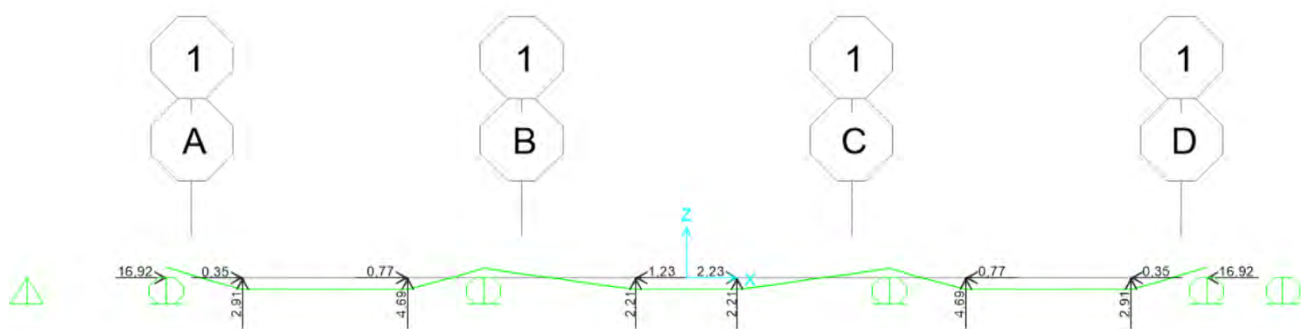


Figura 4.32 – Esforços de Protensão por Carga Equivalente

5.0 RESULTADOS – 1ª FASE

5.1 ESFORÇOS DEVIDO AO PESO PRÓPRIO

5.1.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – Peso próprio

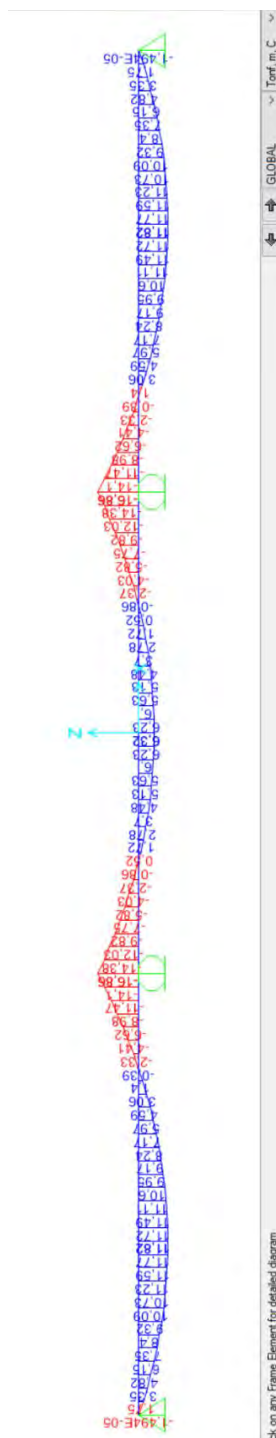


Figura 5.1 – COMB1 (PP+PERM) - MOMENTO FLETOR

5.1.2 Diagrama de Esforço Cortante – tf – Peso Próprio

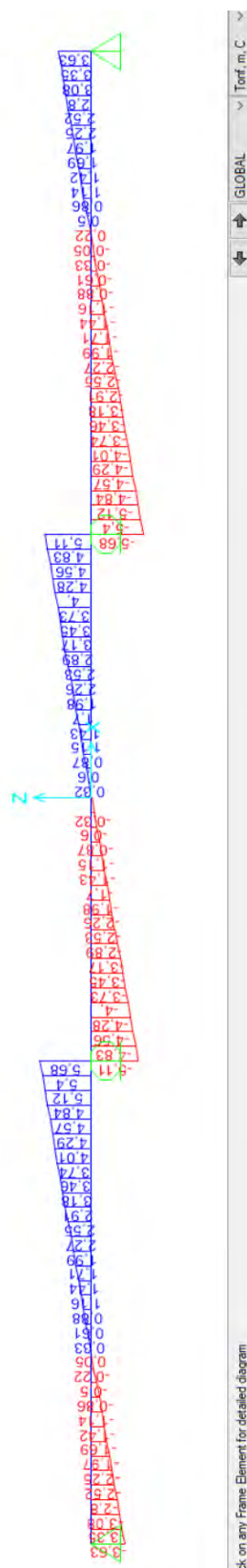


Figura 5.2 – COMB-Permanentes – Esforço Cortante

5.2 ESFORÇOS DEVIDO AO PESO PRÓPRIO - CONCRETAGEM

5.2.1 Diagrama de Momento Fletor – tfxm – Peso Próprio das Vigas +Concretagem

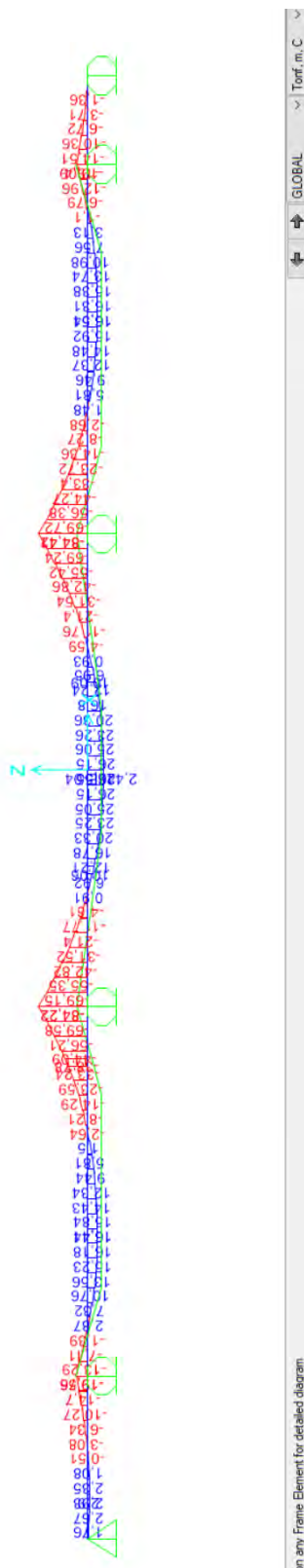


Figura 5.3 – COMB-PP– Momento Fletor

5.2.2 Diagrama de Esforço Cortante – tf – Peso Próprio das Vigas + Concretagem

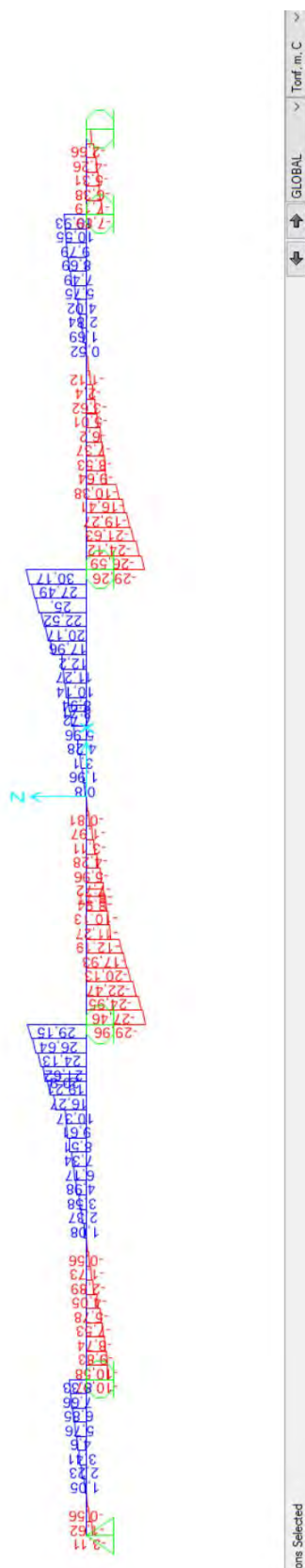


Figura 5.4 – COMB-PP– Esforço Cortante

5.3 ESFORÇOS DEVIDO AS CARGAS PERMANENTES

5.3.1 Diagrama de Momento Fletor – tfxm – Cargas Permanentes

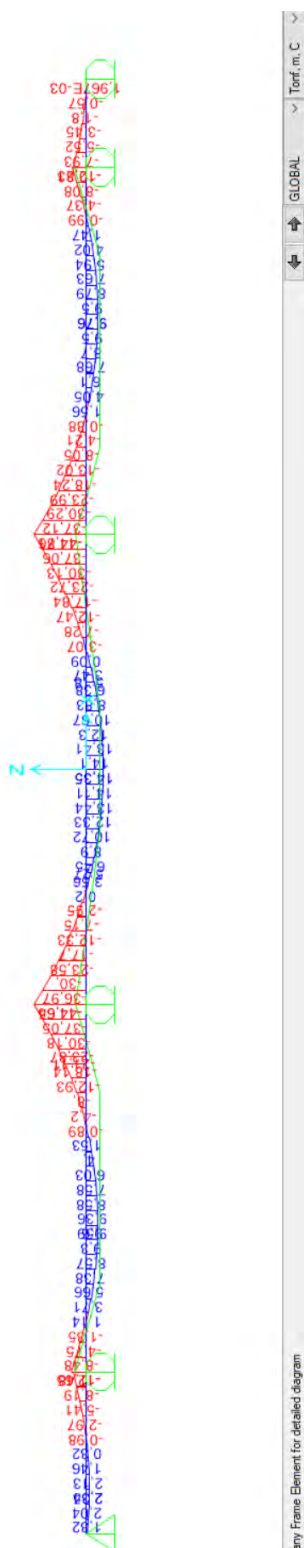


Figura 5.5 – COMB-PERM– Momento Fletor

5.3.2 Diagrama de Esforço Cortante – tf – Cargas Permanentes

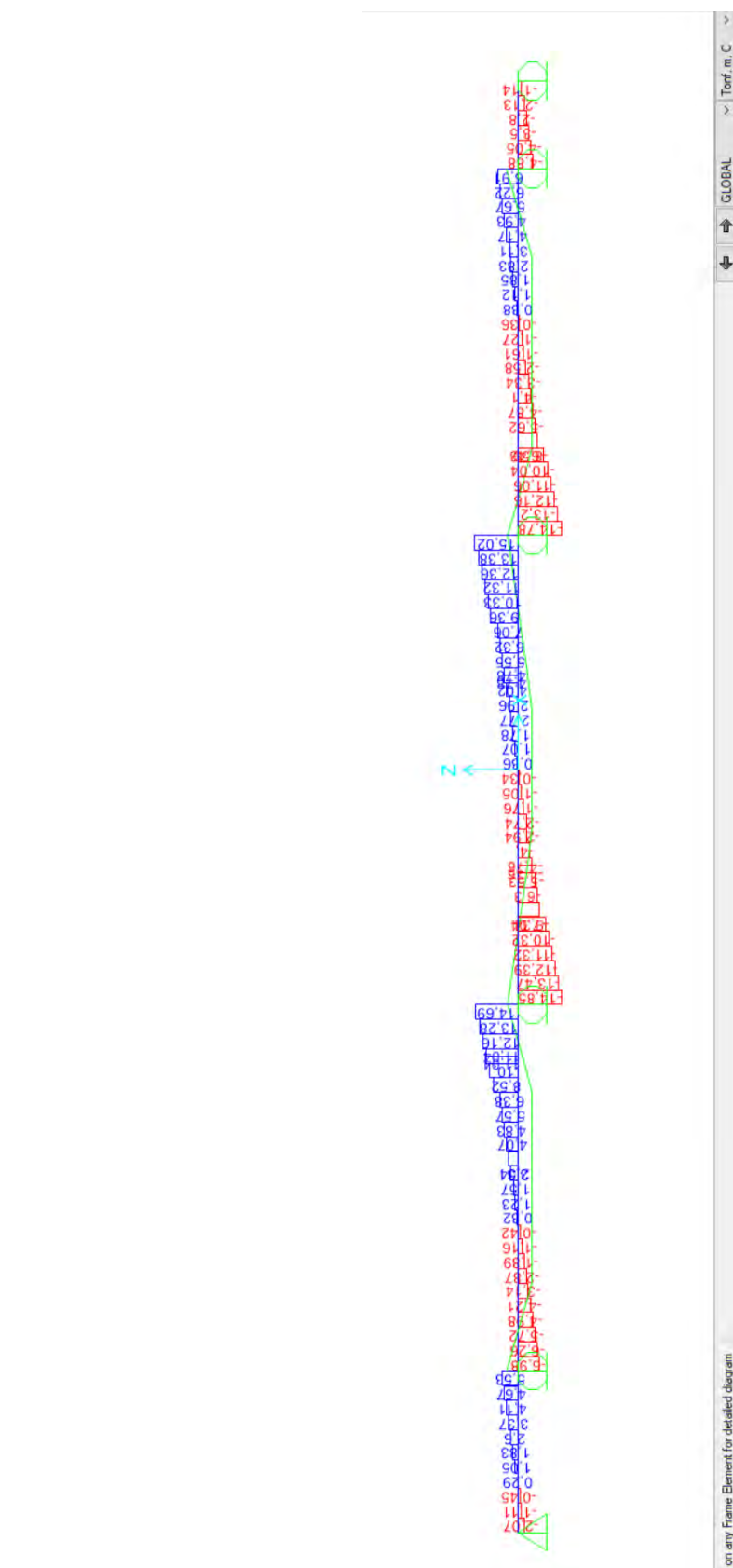


Figura 5.6 – COMB-PERM– Esforço Cortante

5.4 ESFORÇOS DEVIDO AS CARGAS MÓVEIS

5.4.1 Diagrama de Momento Fletor – $t_f \times m$ – Cargas Móveis



Figura 5.7 – COMB-Cargas Móveis – Momento Fletor

5.4.2 Diagrama de Esforço Cortante – tf – Cargas Móveis

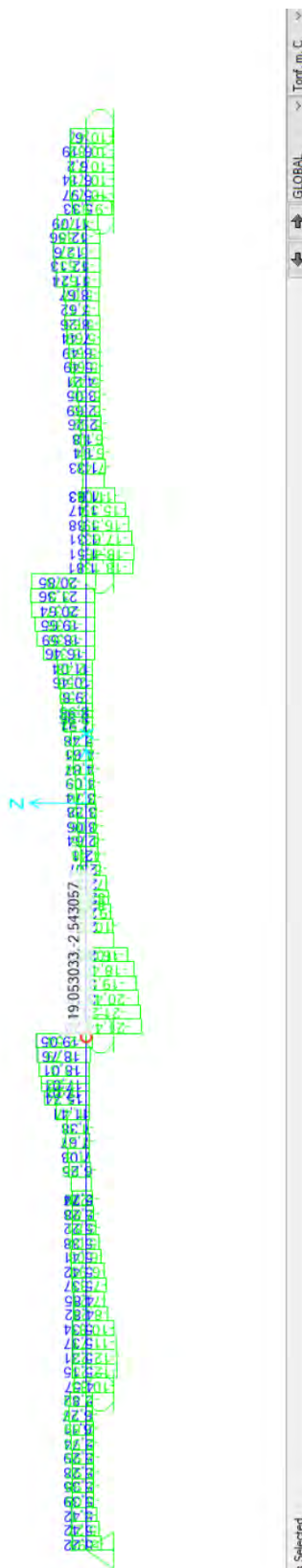


Figura 5.8 – COMB-Cargas Móveis – Esforço Cortante

5.5 ESFORÇOS DEVIDO A PROTENSÃO

5.5.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – Hiperestático de Protensão

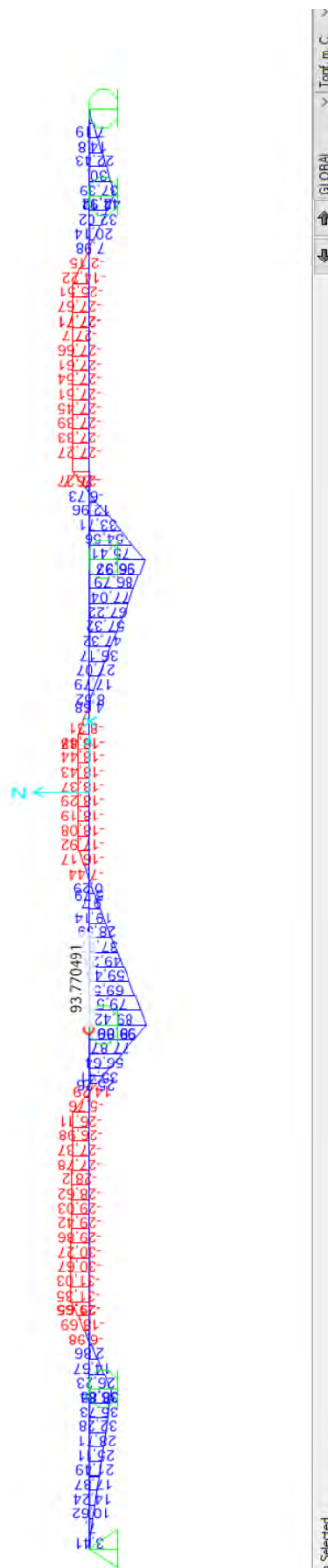


Figura 5.9 – COMB-Cargas Móveis – Momento Fletor

5.5.2 Diagrama de Esforço Cortante – tf – Hiperestático de Protensão

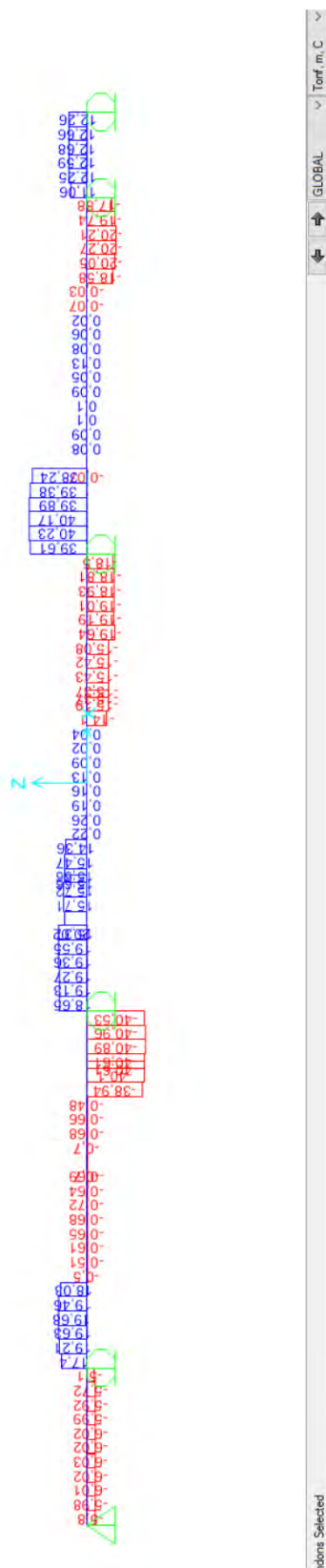


Figura 5.10 – COMB-Cargas Móveis – Esforço Cortante

5.6

RESUMO DE ESFORÇOS / ANÁLISE DE TENSÕES

MEMÓRIA DE CÁLCULO - PARTE C - ESFORÇOS E ANÁLISE DE TENSÕES															
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
P.P (VG+Concretagem) - tfxm	0.00	-19.76	10.76	16.44	5.81	-84.22	12.45	26.15	12.24	-84.42	5.81	16.31	3.73	-10.09	0.00
	0.00	86.47	-47.09	-71.95	-25.43	747.10	-54.48	-114.44	-53.57	748.87	-25.43	-71.38	-16.32	44.16	0.00
	0.00	-193.98	105.63	161.39	57.04	-448.26	122.22	256.71	120.16	-449.32	57.04	160.11	36.62	-99.05	0.00
C. Permanentes - tfxm	0.00	-12.46	5.66	9.59	4.00	-44.69	3.50	14.35	3.47	-44.70	4.05	9.76	4.02	-12.93	0.00
	0.00	54.53	-24.77	-41.97	-17.50	396.43	-15.32	-62.80	-15.19	396.52	-17.72	-42.71	-17.59	56.58	0.00
	0.00	-122.32	55.56	94.14	39.27	-237.86	34.36	140.87	34.06	-237.91	39.76	95.81	39.46	-126.93	0.00
C. Móvel (TB45+SC) - tfxm	0.00	-44.46	16.40	54.88	34.48	-88.90	21.46	58.01	26.25	-88.50	33.45	57.82	15.49	-36.49	0.00
	0.00	194.57	-71.77	-240.17	-150.89	788.61	-93.91	-253.87	-114.88	785.06	-146.39	-253.03	-67.79	159.69	0.00
	0.00	-436.46	161.00	538.76	338.49	-473.17	210.67	569.48	257.70	-471.04	328.38	567.62	152.06	-358.22	0.00
E.L.U.	-0.65	-56.61	23.06	92.24	44.84	-229.81	42.42	130.61	49.76	-227.87	39.77	96.12	18.53	-29.25	0

Figura 5.11 – Esforços Solicitantes

MEMÓRIA DE CÁLCULO - PARTE C - ESFORÇOS E ANÁLISE DE TENSÕES															
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
Esforços de Protensão (N tf)	0.0000	-152.3300	-156.8100	-158.5000	-168.4000	-162.2500	-152.5800	-149.6500	-150.5900	-156.9400	-167.0500	-162.3900	-156.4500	-152.3400	0.0000
Esforços de Protensão (Md tf)	-0.8500	72.1360	-32.0600	-34.6700	-26.9400	109.8200	-15.8200	-17.1300	-15.1700	111.9600	-31.6500	-35.4400	-20.3300	74.6000	0.0000
A(cm2)	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290	0.7290
Ixx	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845	0.0845
Yg	0.3700	0.3700	0.3700	0.3700	0.3700	0.7500	0.3700	0.3700	0.3700	0.7500	0.3700	0.3700	0.3700	0.3700	0.3700
Ws	0.2285	0.2285	0.2285	0.2285	0.2285	0.1127	0.2285	0.2285	0.2285	0.1127	0.2285	0.2285	0.2285	0.2285	0.2285
Wi	0.1019	0.1019	0.1019	0.1019	0.1019	0.1879	0.1019	0.1019	0.1019	0.1879	0.1019	0.1019	0.1019	0.1019	0.1019
os (tf/m²)	3.7198	-524.6421	-74.8006	-65.6968	-113.1054	-1196.7521	-140.0683	-130.3162	-140.1831	-1208.4515	-90.6415	-67.6632	-125.6401	-535.4388	0.0000
oi (tf/m²)	-8.3444	499.1998	-529.8351	-557.7756	-495.4707	361.9470	-364.6050	-373.4460	-355.4942	380.6210	-539.8568	-570.6708	-414.1882	523.3751	0.0000

Figura 5.12 – Esforços de Protensão

1,10*Protensão + PP															
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
os (tf/m²)	4.0918	-490.6317	-129.3690	-144.2119	-149.8419	-569.3318	-208.5593	-257.7865	-207.7666	-580.4271	-125.1316	-145.8060	-154.5274	-544.8264	0.0000
oi (tf/m²)	-9.1789	355.1364	-477.1880	-452.1621	-487.9811	-50.1156	-278.8441	-154.0767	-270.8838	-30.6387	-536.8058	-467.6230	-418.9897	476.6594	0.0000
(0,85*Protensão + PP+PERM)															
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
os (tf/m²)	3.1618	-304.9432	-135.4384	-169.7559	-139.0705	126.2905	-188.8591	-288.0066	-187.9064	118.2088	-120.1950	-171.6023	-140.7099	-354.3819	0.0000
oi (tf/m²)	-7.0928	108.0169	-289.1651	-218.5734	-324.8456	-378.4629	-153.3335	80.1584	-147.9454	-363.7077	-362.0829	-229.1416	-275.9784	218.8821	0.0000
(0,85*Protensão + PP + PERM+CM) - COMBINAÇÃO RARA															
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
os (tf/m²)	3.1618	-110.3755	-207.2087	-409.9240	-289.9634	914.9011	-282.7732	-541.8723	-302.7827	903.2711	-266.5803	-424.6366	-208.4979	-194.6929	0.0000
oi (tf/m²)	-7.0928	-328.4458	-128.1667	320.1821	13.6437	-851.6293	57.3388	649.6411	109.7502	-834.7451	-33.7051	338.4759	-123.9134	-139.3393	0.0000

Figura 5.13 – Esforços de Protensão

Observações:

As perdas iniciais de protensão calculadas no SAP2000 com os parâmetros os valores da figura 4.29 e 4.30.

Para perdas finais, dada dificuldade de se estimar, uma vez que na estrutura existente já ocorreram todas as perdas, foi adotado o valor de 15% (Tabela de aproximação de perdas – Walter Pfeil). Tal valor cobre a única perda que ocorrerá em totalidade, a de relaxação do aço de protensão e parcela das outras que vierem a ocorrer.

Retração e Fluência		Retração	Fluência
Ac (cm²)	29680	$\epsilon_{cs}(t, t_0) = \epsilon_{cs\infty} \cdot [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)]$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_a + \varphi_{f\infty} \cdot [\beta_f(t) - \beta_f(t_0)] + \varphi_{d\infty} \cdot \beta_d$
u (cm)	1672	$\epsilon_{cs\infty} = \epsilon_{1s} \cdot \epsilon_{2s}$	s 0.25
U (%)	75	ϵ_{1s} -0.00066	$\beta_1(t_0)$ 1.008513
g	1.740818221	ϵ_{2s} 0.759453	$\beta_1(\text{inf})$ 1.284025
h0 (cm)	61.80321147	$\beta_s(\text{inf})$ 1	φ_a 0.171655
Ti (°C)	25	$\beta_s(t_0)$ 0.058286	φ_{1c} 1.825
α fluência	2	A 40	φ_{2c} 1.268938
α ret	1	B 50.83694	$\varphi_f(\text{inf})$ 2.315812
Idade Realização	30	C 35.85148	$\beta_s(\text{inf})$ 1
Idade Fictícia (flu)	70.00	D 505.4878	$\beta_s(t_0)$ 0.406109
Idade Fictícia (ret)	35.00	E 208.7199	A 352.6304
ϵ_{cs}	-0.000469	ϵ_{cs} -0.00047	B 988.2055
$\Delta\sigma_{ps}(tf/m^2)$	-9379.99		C 814.4074
$\Delta P_s(tf)$	-40.35		D 13372.5
$\varphi(\text{inf}, t_0)$	1.946994283		$\varphi_d(\text{inf})$ 0.4
ϵ_{cc}	0.00017		β_d 1
$\Delta\sigma_{pc}(tf/m^2)$	3332.63642		$\varphi(t, t_0)$ 1.946994
$\Delta P_c(tf)$	14.33700		

Cimento Portland (CP)	α	
	Fluência	Retração
De endurecimento lento (CP III e CP IV, todas as classes de resistência)	1	1
De endurecimento normal (CP I e CP II, todas as classes de resistência)	2	
De endurecimento rápido (CP V-ARI)	3	

$s = 0,38$ para concreto de cimento CP III e CP IV
 $s = 0,25$ para concreto de cimento CP I e CP II
 $s = 0,20$ para concreto de cimento CP V-ARI

Figura 5.14 – Perdas Diferidas – Retração e Fluência - Seção total

Relaxação Pura		Relaxação Relativa	
$\Psi(t, t_0) = \frac{\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)}{\sigma_{pi}}$		$\Delta\sigma_{pr}(\infty, t_0)_{rel} = \Delta\sigma_{pr}(\infty, t_0) \cdot [1 - 2 \cdot \frac{ \Delta\sigma_p(\infty)_{c+s} }{\sigma_{pi}}]$	
σ_{p0}/f_{ptk}	ψ_{1000}	$\Delta\sigma_{pc+s}$	-6047.35 (tf/m²)
0.5	0	$\Delta\sigma_{pr}(\text{inf}, t_0)_{rel}$	2280.905287 (tf/m²)
0.6	1.3	$\Delta P_r(\text{inf}, t_0)_{rel}$	9.812454581 (tf)
0.7	2.5		
0.8	3.5		

σ_{p0} (tf/m²)	38307.768	tf/m²
f_{ptk}	190000	tf/m²
σ_{p0}/f_{ptk}	0.202	
ψ_{1000}	-3.481	
ψ_{inf}	-8.701405	
$\sigma_{pr}(\text{inf}, t_0)$	3333.3141	tf/m²

Figura 5.15 – Perdas Diferidas – Relaxação do Aço - Seção total

Somadas as perdas progressivas resultam em 15,76%. Ainda que as perdas de retração e fluência estejam superdimensionadas, a protensão aplicada é limitada, e deve ser feita verificação no ELU, apresentada nas próximas seções:

1,10*Protensão + PP														
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S15
σ_s (tf/m ²)	4.0918	-490.6317	-129.3690	-144.2119	-149.8419	-569.3318	-208.5593	-257.7865	-207.7666	-580.4271	-125.1316	-145.8060	-154.5274	-544.8264
σ_i (tf/m ²)	-9.1789	355.1364	-477.1880	-452.1621	-487.9811	-50.1156	-278.8441	-154.0767	-270.8838	-30.6387	-536.8058	-467.6230	-418.9897	476.6594
(0,85*Protensão + PP+PERM)														
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S15
σ_s (tf/m ²)	3.1618	-304.9432	-135.4384	-169.7559	-139.0705	126.2905	-188.8591	-288.0066	-187.9064	118.2088	-120.1950	-171.6023	-140.7099	-354.3819
σ_i (tf/m ²)	-7.0928	108.0169	-289.1651	-218.5734	-324.8456	-378.4629	-153.3335	80.1584	-147.9454	-363.7077	-362.0829	-229.1416	-275.9784	218.8821
(0,85*Protensão + PP + PERM+CM) - COMBINAÇÃO RARA														
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S15
σ_s (tf/m ²)	3.1618	-110.3755	-207.2087	-409.9240	-289.9634	914.9011	-282.7732	-541.8723	-302.7827	903.2711	-266.5803	-424.6366	-208.4979	-194.6929
σ_i (tf/m ²)	-7.0928	-328.4458	-128.1667	320.1821	13.6437	-851.6293	57.3388	649.6411	109.7502	-834.7451	-33.7051	338.4759	-123.9134	-139.3393

Figura 5.16 – Análise de Tensões

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

7.1.1 Seção Central – S8

Para verificação da Seção foi considerado o carregamento da 1ª etapa de concretagem sobre o perfil “L” da ponte existente, com as armaduras estimadas. Posteriormente os outros carregamentos foram verificados já com a nova seção consolidada.

$$M(pp) = 26,55 \text{ tf} \times m$$

$$M(perm) = 14,35 \text{ tf} \times m$$

$$M(movel) = 44,30 \text{ tf} \times m$$

Seção para Etapa de Concretagem:

$$As(estimado) = 20,86 \text{ cm}^2$$

$$Md(pp) = 35,84 \text{ tf} \times m$$

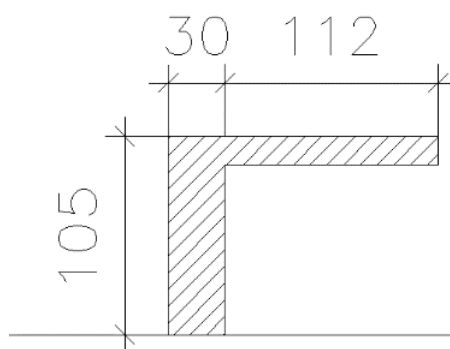


Figura 7.1 – Seção da Viga Existente

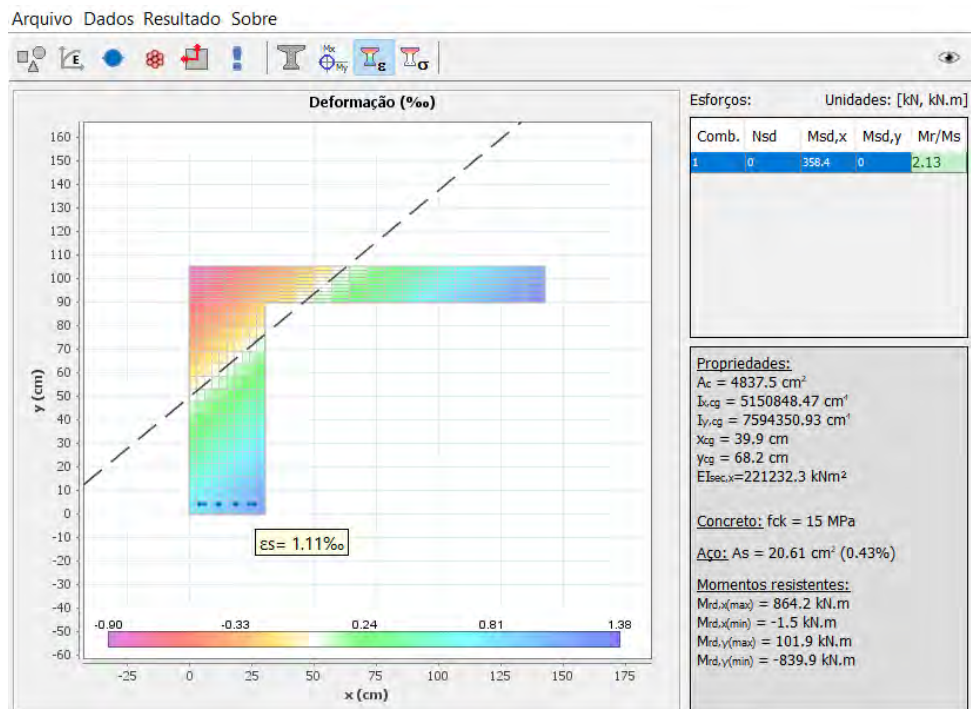


Figura 7.2 – Seção da Viga Existente – 1ª Etapa

$$\sigma_{conc} = -6,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{aço} = 1,11 \times 210000 \div 1000 = 233,1 \text{ MPa}$$

$$A_s(rest) = 11,13 \text{ cm}^2$$

$$f_{ck}(rest) = 9 \text{ MPa}$$

$$n = 0,474$$

$$Md(perm + SCMove) = 85,82 \text{ tf} \times m$$

Seção Final:

Momento resistente com uso da Protensão:

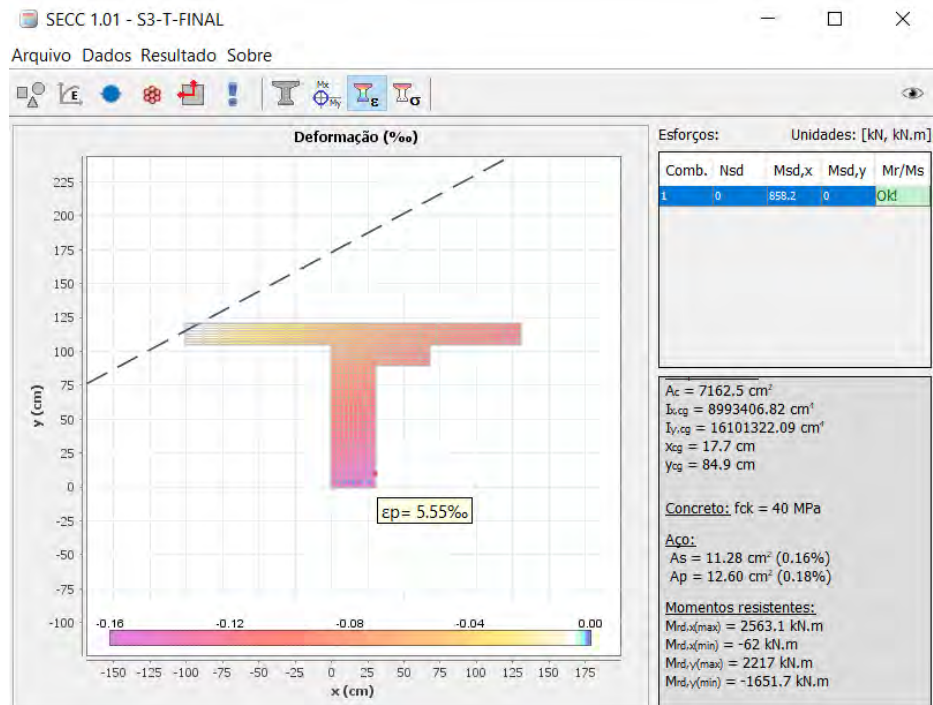


Figura 7.3 – Seção da Viga Existente + Nova – 2ª Etapa - ELU

Momento resistente com conversão da Armadura Ativa residual em Passiva:

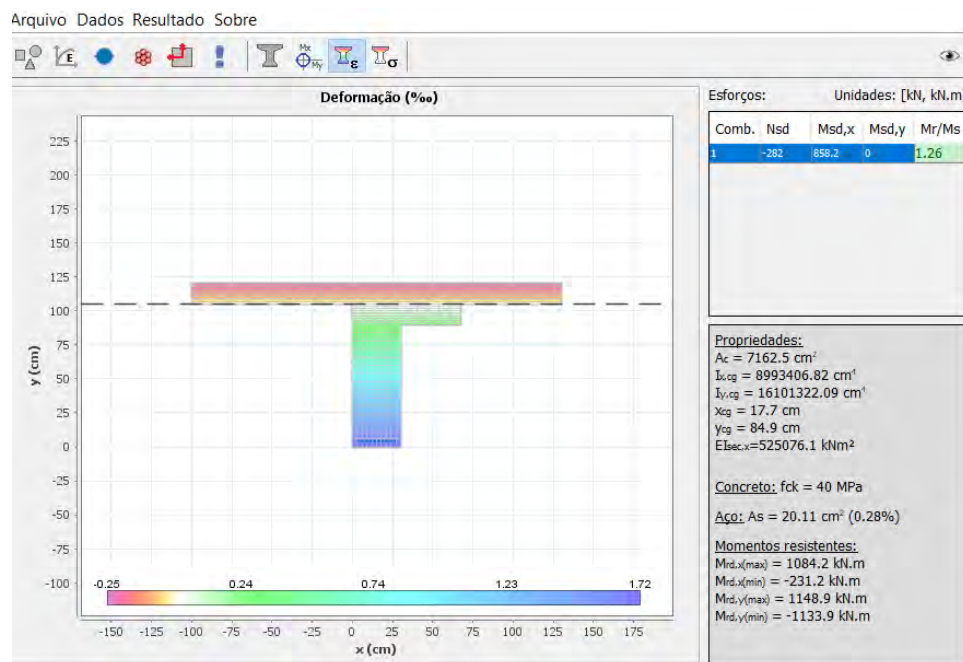


Figura 7.4 – Seção da Viga Existente + Nova – 2ª Etapa

VERIFICAÇÃO A FADIGA

$$M_{fad(perm)} = 14,35 \text{ tf} \times m$$

$$M_{fad(movel + perm)} = 36,50 \text{ tf} \times m$$

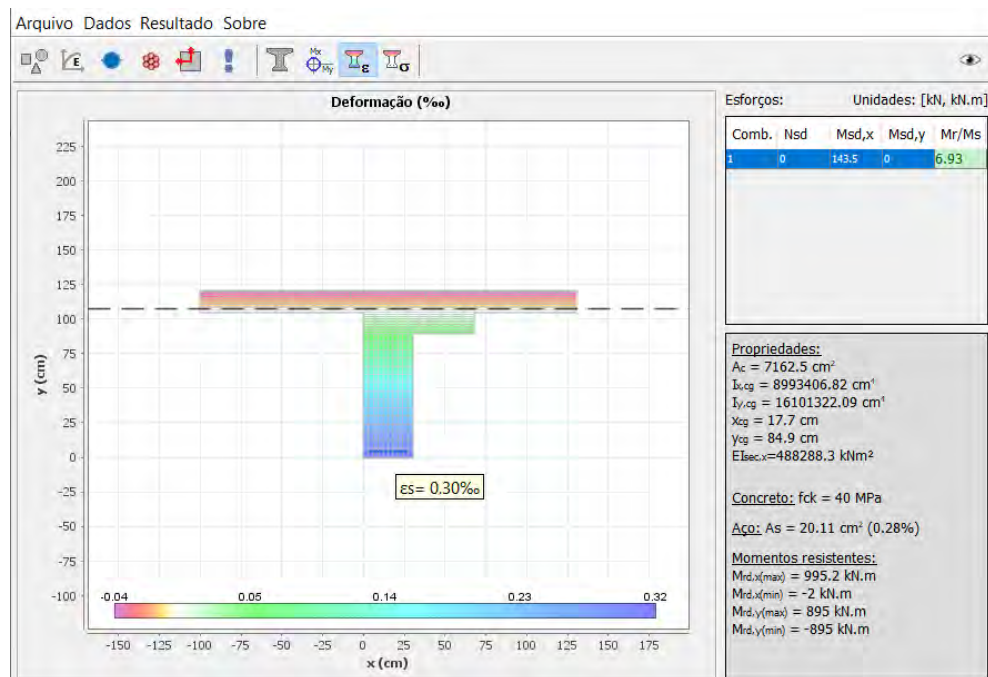


Figura 7.5 – Tensão nas Armaduras – PP+Perm

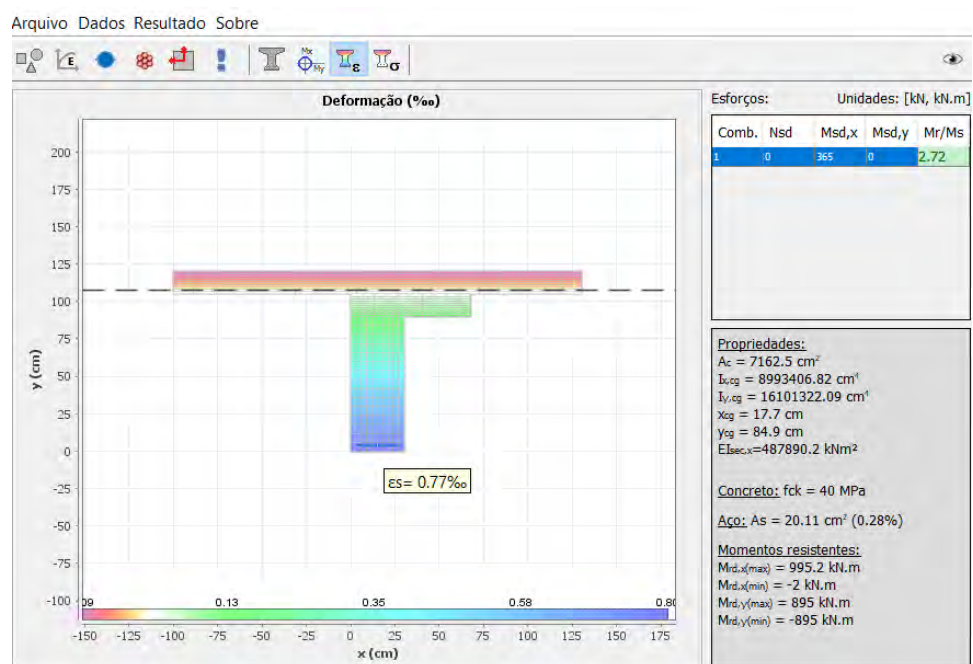


Figura 7.6 – Tensão nas Armaduras – PP+Perm+SCMovel

$$\Delta f_{ad} = (0,77 - 0,30) \times 210 = 98,70 \text{ MPa} - ok!$$

7.1.2 Seção Central – S4 / S12

Para verificação da Seção foi considerado o carregamento da 1ª etapa de concretagem sobre o perfil T da ponte existente, com as armaduras estimadas. Posteriormente os outros carregamentos foram verificados já com a nova seção consolidada.

$$M(pp) = 16,44 \text{ tf} \times m$$

$$M(perm) = 9,59 \text{ tf} \times m$$

$$M(movel) = 34,83 \text{ tf} \times m$$

Em função dos esforços terem reduzidos por razão do acréscimo de vãos, a seção possuir maior armadura área de armadura estimada e estar sob as mesmas condições da seção central, a verificação dessa seção é desnecessária.

7.1.3 Seção Sobre Apoios – S6 / S10

Para verificação da Seção foi considerado o carregamento da 1ª etapa de concretagem sobre o perfil da ponte existente, com as armaduras estimadas. Posteriormente os outros carregamentos foram verificados já com a nova seção consolidada.

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

$$M(perm) = -44,66 \text{ tf} \times m$$

$$M(movel) = -59,32 \text{ tf} \times m$$

Seção para Etapa de Concretagem:

$$As(estimado) = 32,17 \text{ cm}^2$$

$$Md(pp) = -113,97 \text{ tf} \times m$$

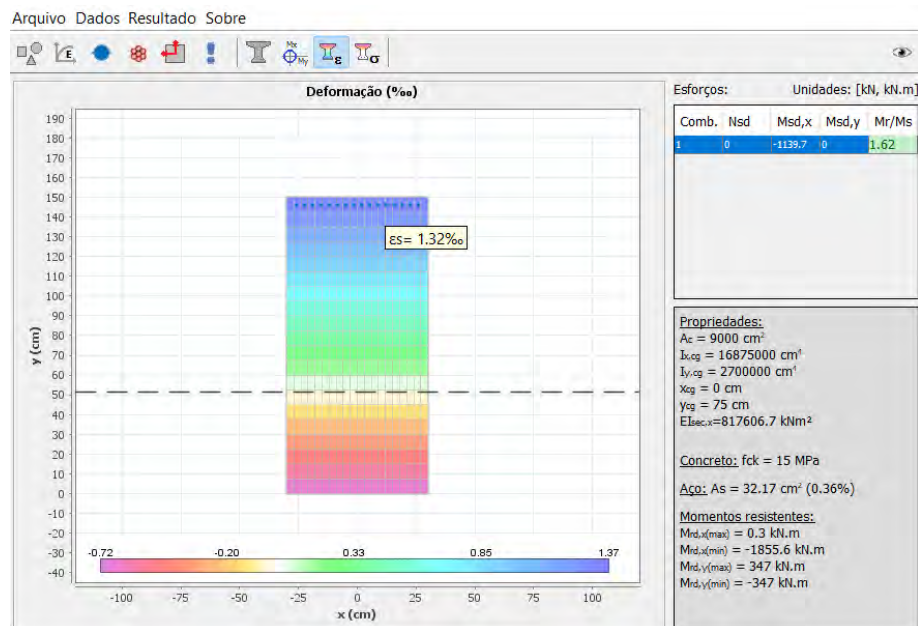


Figura 7.7 – Tensão das Armaduras – 1ª Etapa

$$\sigma_{conc} = -6,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{aço} = 1,32 \times 210000 \div 1000 = 277,20 \text{ MPa}$$

$$A_s(rest) = 14,34 \text{ cm}^2$$

$$f_{ck}(rest) = 10,9 \text{ MPa}$$

$$M_d(perm + SCMove) = -149,21 \text{ tf} \times m$$

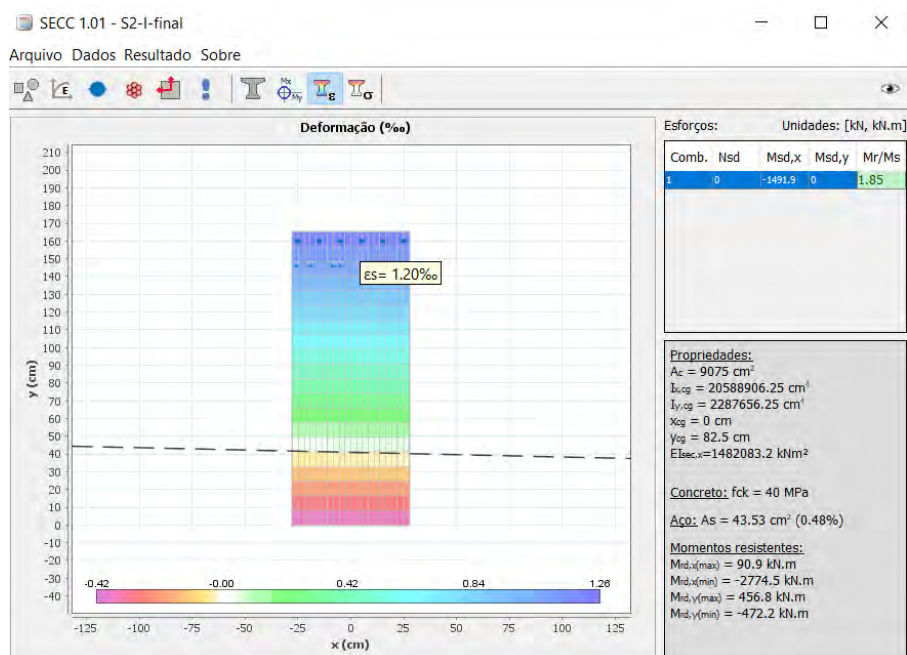


Figura 7.8 – Tensão das Armaduras – 2ª Etapa

Verificação a Fadiga

$$M_{fad}(pp + perm) = -44,66 \text{ tf} \times m$$

$$M_{fad}(perm + movel) = -74,32 \text{ tf} \times m$$

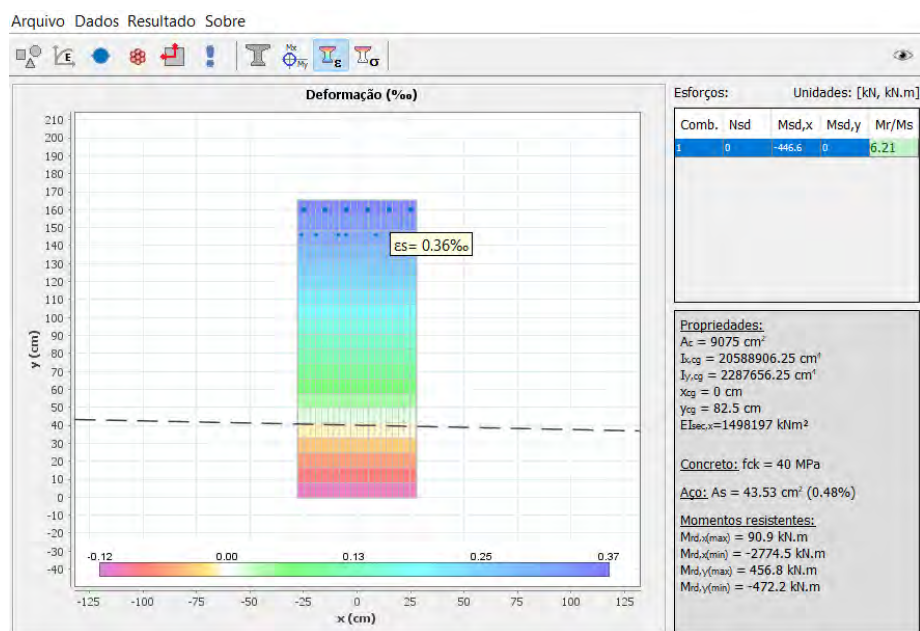


Figura 7.9 – Tensão das Armaduras – PP+PERM

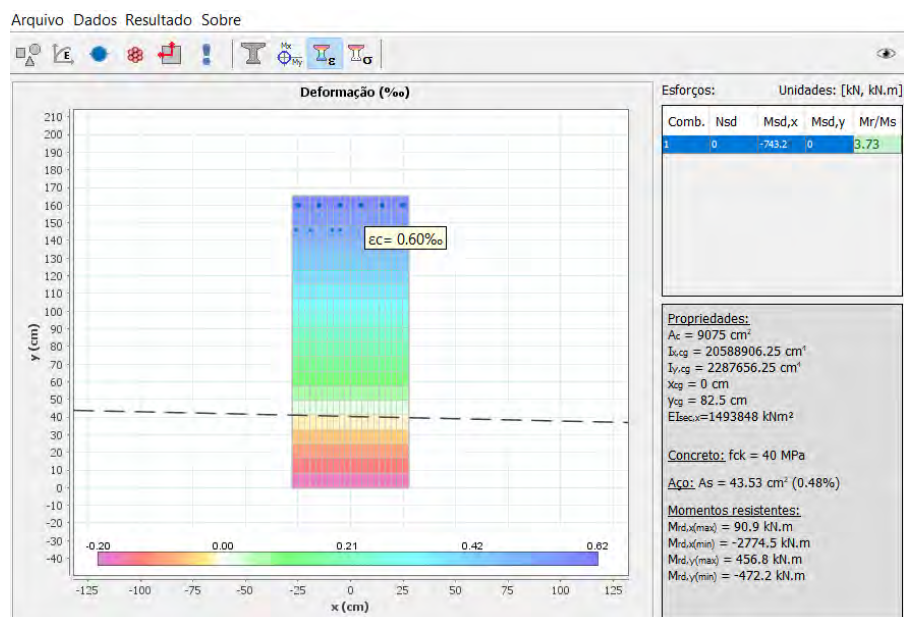


Figura 7.10 – Tensão das Armaduras – PP+PERM+SCMOVEL

$$\Delta f_{ad} = 0,24 \times 210 = 50 \text{ MPa}$$

7.1.4 Verificação a Flexão por deslocamento do Diagrama de Momento fletor (S6 / S10)

Com acréscimo dos vãos, houve deslocamento do Diagrama de Momento Fletor, sendo assim uma armadura cobrirá a região independente da existente.

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
183200	55	30	80	160	5
AS		AS´		AS mín	
38,92		0,00		6,6	
ϕ		Quantidade de ferro			
5		199,00			
6,3		125			
8		78			
10		50			
12,5		32			
16		20			
20		13			
25		8			
32		5			

Figura 7.11 – Armadura de Flexão

7.1.5 Seção Central (positivo) – Meio do Vão Esquerda – (S4) - Vão novo 6 m

Md= 38,57tf x m

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
43350	30	40	120	115	5
AS		AS´		AS mín	
12,55		0,00		5,4	
ϕ		Quantidade de ferro			
5		64,00			
6,3		41			
8		25			
10		16			
12,5		11			
16		7			
20		4			
25		3			
32		2			

Figura 7.12 – Armadura de Flexão

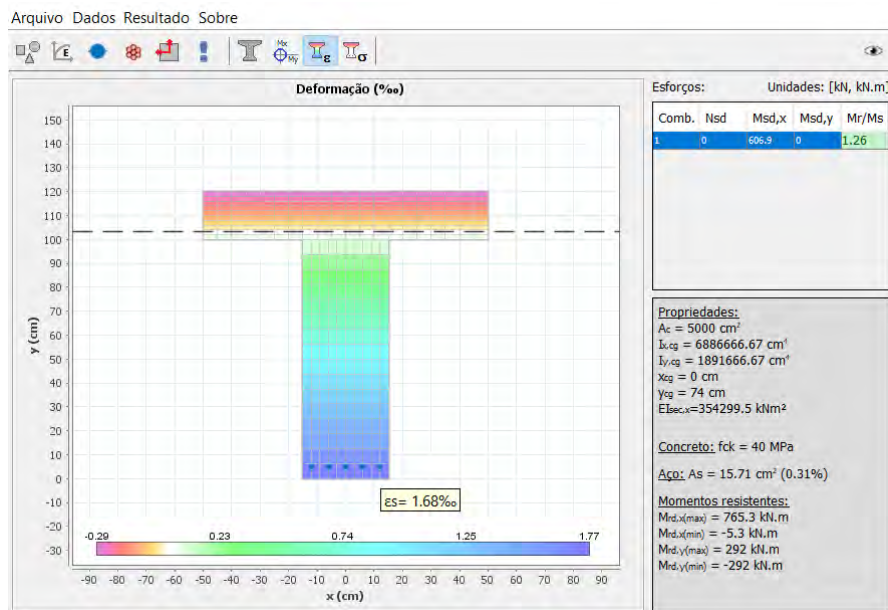


Figura 7.13 – Verificação a Fadiga

$$M_{fad}(pp+perm) = 0,45 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$M_{fad}(perm+SCmovel) = 29,54 \times 0,50 \times 1,25 = 18,46 \text{ tf} \times \text{m}$$

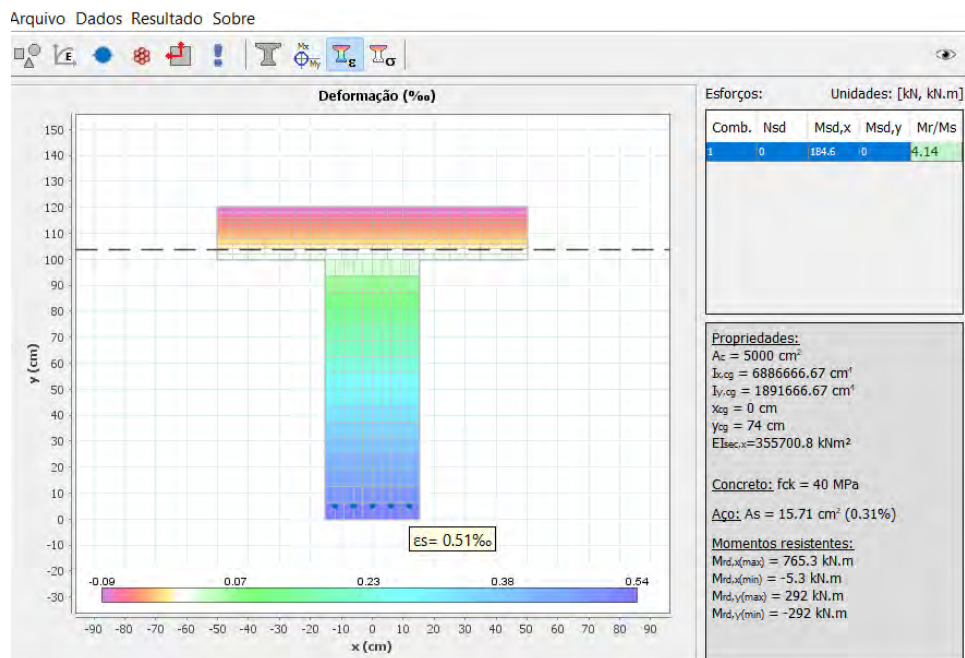


Figura 7.14 – Verificação a Fadiga

$$\Delta f_{ad} = (0,51) \times 210 = 107,0 \text{ MPa} - \text{ok!}$$

7.1.6 Seção Sobre Pegão (Negativo) – Esquerda – (S2) Vão novo 6 m

$M_d = -56,28 \text{ tf x m}$

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
56285,714	30	40	120	115	5
AS		AS´		AS mín	
16,46		0,00		5,4	
ϕ		Quantidade de ferro			
5		84,00			
6,3		53			
8		33			
10		21			
12,5		14			
16		9			
20		6			
25		4			
32		3			

Figura 7.15 – Armadura de Flexão

$M_{fad}(pp+perm) = -19,50 \text{ tf x m}$

$M_{fad}(perm+SCmovel) = -57,82 \times 0,50 = -28,46 \text{ tf x m}$

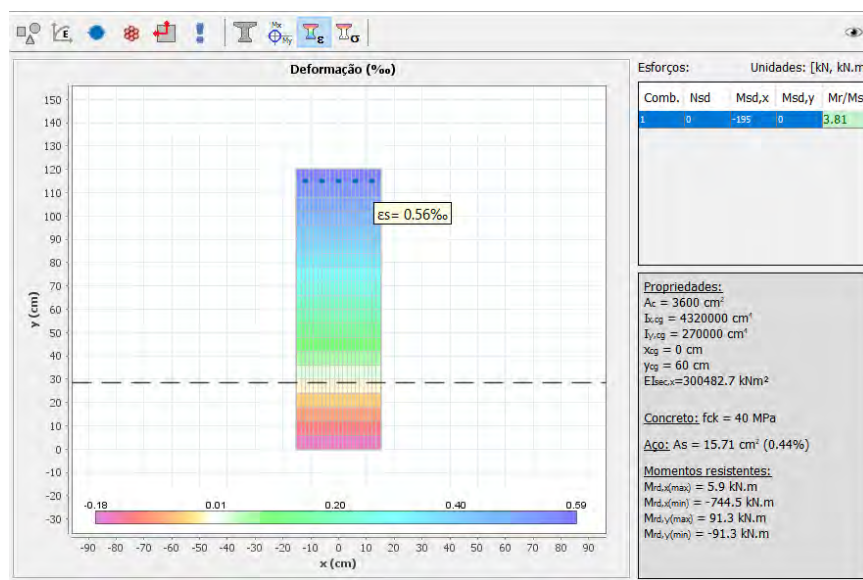


Figura 7.16 – Verificação a Fadiga – PP+PERM

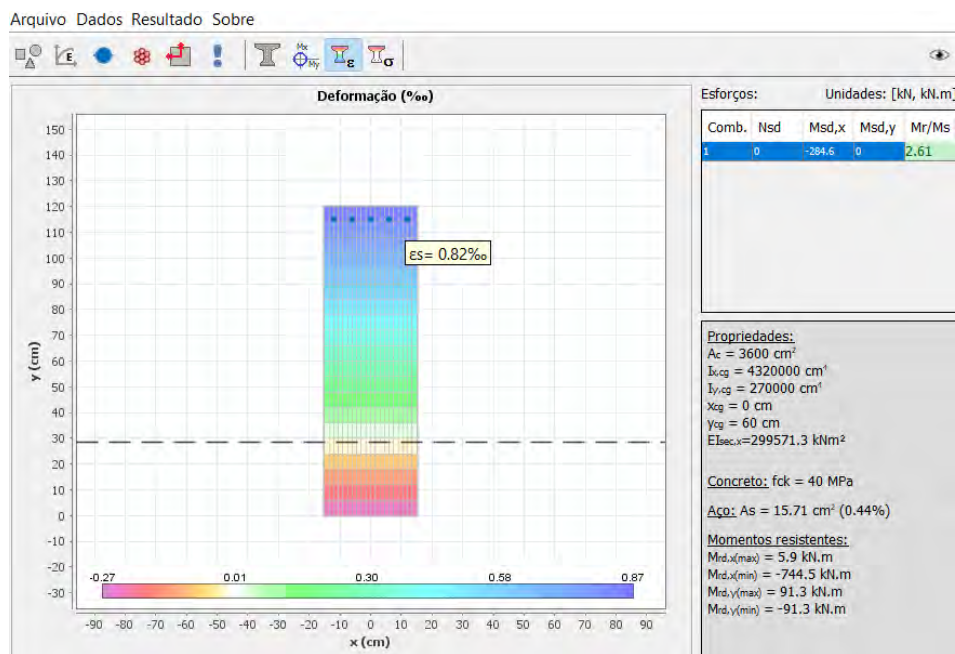


Figura 7.17 – Verificação a Fadiga – PP+PERM+SCMOVEL

$$\Delta f_{ad} = (0,82 - 0,56) \times 210 = 54,6 \text{ MPa} - ok!$$

7.1.7 Seção Sobre Pegão (Negativo) – Direita – Vão novo (S14) 3 m

$$M_d = -29,25 \text{ tf x m}$$

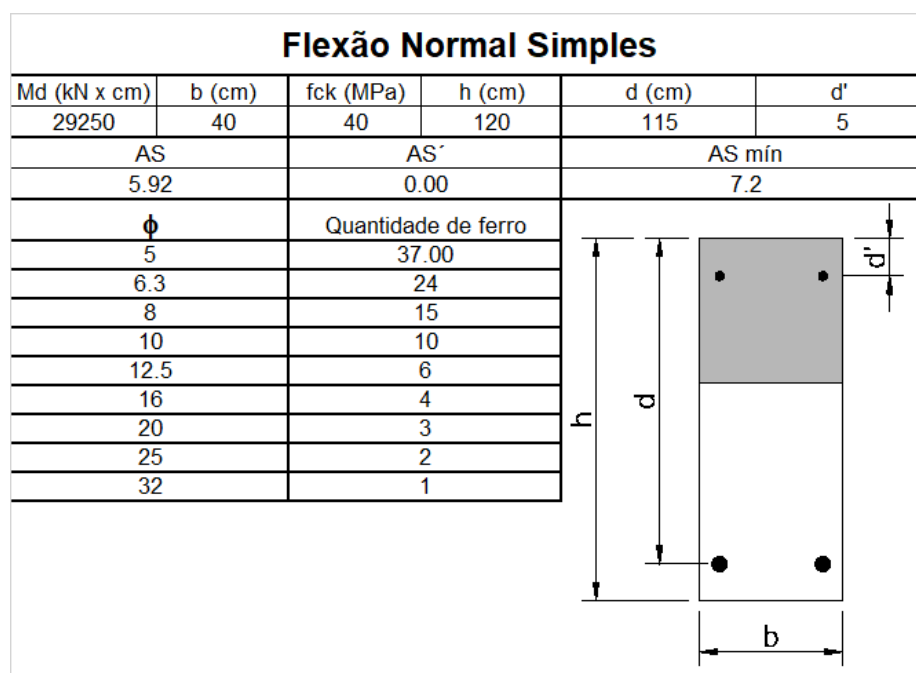


Figura 7.18 – Armadura de Flexão

7.2 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS AO CISALHAMENTO

7.2.1 Seção Sobre Pegão (Negativo) – Esquerda – Vão novo 6 m (S2)

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
410,80	30		120		40	10
<u>Modelo I:</u>						
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,114		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,0226	0,1404	4,21				
Asw = Asw mín	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
4,21	2,11	37				
<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)				
0,114		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,0270	0,1404	4,21				
Asw = Asw mín	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
4,21	1,05	74				
Prescrições complementares da NBR 6118						
Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		
30	30		30	30		

Figura 7.19 – Armadura de Cisalhamento

7.2.2 Seção Sobre Pegão (Negativo) – Esquerda – Vão novo 3 m (S14)

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
406,20	30		120		40	10
Modelo I:						
Verificação da biela de concreto:						
τwd (kN/cm²)		τwd2 (kN/cm²)				
0,113		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,0193	0,1404	4,21				
Asw = Asw mín	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
4,21	2,11	37				
Modelo II:						
Entre com o valor de θ (30 a 45):						
45						
Verificação da biela de concreto:						
τwd (kN/cm²)		τwd2 (kN/cm²)				
0,113		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,0231	0,1404	4,21				
Asw = Asw mín	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
4,21	1,05	74				
Prescrições complementares da NBR 6118						
Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		
30	30		30	30		

Figura 7.20 – Armadura de Cisalhamento

7.2.3 Seção Sobre Pilares (Negativo)

Calculado com o alívio da protensão (Exceto Momento de descompressão) e com a seção nova, devido a fissuração em uma das vigas longarinas.

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
769,20	25		120		40	10
Modelo I:						
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,256		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,3860	0,1404	3,51				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
9,65	4,83	16				
Modelo II:						
Entre com o valor de θ (30 a 45):						
45						
Verificação da biela de concreto:						
twd (kN/cm2)		twd2 (kN/cm2)				
0,256		0,648				
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,4609	0,1404	3,51				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
11,52	2,88	27				
Prescrições complementares da NBR 6118						
Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		Ø Máximo (mm)	Espaçamento máximo (cm)		
25	30		25	30		

Figura 7.21 – Armadura de Cisalhamento

8.0 VERIFICAÇÃO DA VTR4 – TRAVESSA DE SAÍDA DE CABOS

8.1 ARMAÇÃO DE FLEXÃO

$$Md = 182,70 \times 0,50 \times 1,20$$

$$Md = 109,62 \text{ tf} \times m$$

$$Vd = 182,70 \times 1,20$$

$$Vd = 219,24 \text{ tf} \times m$$

Flexão Normal Simples					
M (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
109620	100	40	75	80	5
AS		AS'		AS mín	
46,54		0,00		11,25	

Figura 8.1 – Armadura de Flexão

Cisalhamento						
Dados de entrada:						
Vsd (kN)	bw (cm)		d (cm)		fck (MPa)	Ø Utilizado (mm)
2192,40	105		80		40	10
<u>Modelo I:</u>						
Verificação da biela de concreto:						
τwd (kN/cm2)			τwd2 (kN/cm2)			
0,261			0,648			
Ok						
Cálculo da armadura:						
pw	pw mín	Asw Mín				
0,3978	0,1404	14,74				
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)				
41 77	20 88	3				

			<u>Modelo II:</u>		
Entre com o valor de θ (30 a 45):					
45					
Verificação da biela de concreto:					
τwd (kN/cm2)			τwd2 (kN/cm2)		
0,261			0,648		
Ok					
Cálculo da armadura:					
pw	pw mín	Asw Mín			
0,4749	0,1404	14,74			
Asw	Asw/perna x metro	Espaçamento (cm)			
49 87	12 47	6			

Figura 8.2 – Armadura Cisalhamento