



ENGE MOST
SOLUÇÕES EM ENGENHARIA



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAMBARÉ



**ELABORAÇÃO DOS PROJETOS EXECUTIVOS DE
ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DA NOVA PONTE
JOÃO GOULART MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ/RS**

**PROJETO EXECUTIVO
PROJETO DE OAE - MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS**

AGOSTO/2023





PROJETO DE OAE - MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS

ELABORAÇÃO DOS PROJETOS EXECUTIVOS DE
ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DA NOVA PONTE JOÃO
GOULART

MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ/RS

02	Revisão geral	R.S.	23/08/2023
02	Revisão geral	R.S.	17/08/2023
01	Revisão geral	R.S.	07/03/2023
00	Emissão inicial	R.S.	30/09/2022
Rev.:	Descrição	Resp.:	Data:



ÍNDICE

1	APRESENTAÇÃO	14
1.1	INFORMAÇÕES GERAIS	14
1.2	VOLUMES COMPONENTES DO PROJETO	15
2	MAPA DE SITUAÇÃO	17
3	MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O ARROIO VELHACO ...	19
3.1	INTRODUÇÃO	19
3.2	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	21
3.2.1	<i>Planta de Localização</i>	<i>21</i>
3.2.2	<i>Planta Baixa</i>	<i>22</i>
3.2.3	<i>Perfil Longitudinal.....</i>	<i>22</i>
3.2.4	<i>Seções transversais</i>	<i>22</i>
3.3	MODELO COMPUTACIONAL.....	24
3.3.1	<i>Superestrutura.....</i>	<i>30</i>
3.3.1.1	Geometria do modelo	30
3.3.1.2	Propriedades do modelo	31
3.3.1.3	Apoios do modelo	34
3.3.1.4	Materiais do modelo	34
3.3.1.5	Ações do modelo.....	34
3.3.1.5.1	Peso próprio das vigas.....	35
3.3.1.5.2	Peso próprio das transversinas	35
3.3.1.5.3	Peso próprio da laje principal.....	36
3.3.1.5.4	Peso próprio da pavimentação	36
3.3.1.5.5	Peso próprio da barreira rígida “New Jersey”	37



3.3.1.5.6	Frenagem e aceleração	37
3.3.1.5.7	Vento.....	38
3.3.1.5.8	Temperatura	38
3.3.1.5.9	Retração e fluência.....	39
3.3.1.5.10	Trem-tipo TB-450 e multidão – Módulo de Pontes	39
3.3.2	<i>Mesoestrutura</i>	42
3.3.2.1	Geometria do modelo	42
3.3.2.2	Propriedades do modelo	44
3.3.2.3	Apoios do modelo	46
3.3.2.4	Materiais do modelo	46
3.3.2.5	Ações do modelo.....	47
3.3.2.5.1	Peso próprio da superestrutura	47
3.3.2.5.2	Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura	48
3.3.2.5.3	Frenagem e aceleração	48
3.3.2.5.4	Vento.....	49
3.3.2.5.5	Carga móvel da superestrutura	50
3.3.2.5.6	Empuxo de terra.....	50
3.3.2.5.7	Pressão da água	51
3.4	SUPERESTRUTURA.....	51
3.4.1	<i>Vigas</i>	51
3.4.1.1	Resultados.....	53
3.4.1.2	Cálculos de Protensão	59
3.4.1.3	Armadura ativa adotada.....	71
3.4.1.4	Armadura passiva adotada.....	71
3.4.1.5	Verificação da estabilidade lateral para as vigas pré-moldadas	71
3.4.1.5.1	ABNT NBR 9062:2017.....	71
3.4.1.5.2	ABNT NBR 6118:2014.....	75
3.4.1.5.3	ACI 318.....	76



3.4.1.5.4	BS:8110	77
3.4.1.5.5	EUROCODE 2	78
3.4.2	<i>Transversinas</i>	79
3.4.3	<i>Laje principal</i>	81
3.4.4	<i>Junta de dilatação</i>	86
3.4.5	<i>Laje de transição</i>	88
3.4.6	<i>Ala</i>	90
3.4.7	<i>Barreira rígida</i>	92
3.5	MESOESTRUTURA	93
3.5.1	<i>Apoios P1, P2 e P3</i>	93
3.5.1.1	Pilares	93
3.5.1.2	Travessa dos Pilares	97
3.5.2	<i>Aparelho de apoio</i>	103
3.5.3	<i>Fretagem</i>	104
3.6	INFRAESTRUTURA	105
3.6.1	<i>Dimensionamento dos blocos</i>	105
3.6.1.1	Apoio P1	105
3.6.1.2	Apoios E1 e E2	109
3.6.2	<i>Capacidade admissível das estacas</i>	119
3.6.2.1	Sondagem SPT-01	125
3.6.2.2	Sondagem SPT-02	127
3.6.2.3	Sondagem SM-01	129
3.6.2.4	Sondagem SM-02	131
3.6.2.5	Sondagem SM-03	133
3.6.2.6	Sondagem SM-04	136
3.6.3	<i>Dimensionamento das estacas</i>	137



4	ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART.....	139
5	DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA.....	144
6	TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E ENCERRAMENTO	146



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta de Localização	21
Figura 2 – Planta Baixa.....	22
Figura 3 – Perfil Longitudinal	22
Figura 4 – Seção transversal no vão.....	22
Figura 5 – Seção transversal no apoio P1, P2 e P3	23
Figura 6 – Seção transversal no apoio E1 e E2.....	24
Figura 7 – Modelo de barras e elementos de placa	26
Figura 8 – Modelo de barras e elementos de placa	27
Figura 9 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado	28
Figura 10 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado	29
Figura 11 – Seção transversal do modelo computacional.....	30
Figura 12 – Modelo computacional em planta baixa da superestrutura	30
Figura 13 – Modelo computacional renderizado da superestrutura	31
Figura 14 – Visualização das propriedades geométricas da OAE	32
Figura 15 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da superestrutura	34
Figura 16 – Módulo de Cargas: Peso próprio das vigas	35
Figura 17 – Módulo de Cargas: Peso próprio das transversinas	35
Figura 18 – Módulo de Cargas: Peso próprio da laje principal	36



Figura 19 – Módulo de Cargas: Peso próprio da pavimentação	36
Figura 20 – Módulo de Cargas: Peso próprio da barreira rígida.....	37
Figura 21 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração	37
Figura 22 – Módulo de Cargas: Vento	38
Figura 23 – Módulo de Cargas: Temperatura	38
Figura 24 – Módulo de Cargas: Retração e fluência	39
Figura 25 – Módulo de Pontes: Faixas	41
Figura 26 – Módulo de Pontes: Faixas	42
Figura 27 – Modelo computacional da mesoestrutura e infraestrutura – Apoio P1, P2 e P3.....	43
Figura 28 – Modelo computacional renderizado da mesoestrutura e infraestrutura – Apoio P1, P2 e P3	44
Figura 29 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da mesoestrutura .	46
Figura 30 – Módulo de Cargas: Peso próprio da superestrutura	47
Figura 31 – Módulo de Cargas: Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura.....	48
Figura 32 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração	48
Figura 33 – Módulo de Cargas: Vento	49
Figura 34 – Módulo de Cargas: carga móvel da superestrutura	50
Figura 35 – Módulo de Cargas: Empuxo de terra	50



Figura 36 – Módulo de Cargas: Pressão da água em movimento, Obs.: Apenas aplicada no trecho em contato com a água, ou seja, que não está confinada pelo solo.....	51
Figura 37 – Seção da viga pré-moldada.....	52
Figura 38 – Seção da transversal no vão da OAE.....	53
Figura 39 – Momento Fletor M2 – ELU.....	53
Figura 40 – Momento Fletor M2 – ELU.....	54
Figura 41 – Esforço Cortante V3 – ELU.....	54
Figura 42 – Esforço Cortante V3 – ELU.....	55
Figura 43 – Solicitações nas Vigas V1 e V5– ELU – Estrutura Ampliada	56
Figura 44 – Solicitações nas Vigas V2 e V4– ELU – Estrutura Ampliada	57
Figura 45 – Solicitações nas Vigas V3– ELU – Estrutura Ampliada.....	58
Figura 46 – Item 5.2.1.4 da ABNT NBR 9062:2017, pág. 7	72
Figura 47 – Dimensões para a verificação da estabilidade lateral	73
Figura 48 – Modelo da viga pré-moldada em elementos de placa, girada em 90°	73
Figura 49 – Posição do furo de içamento	74
Figura 50 – Item “15.10 Instabilidade lateral de vigas”, pág. 114.....	76
Figura 51 – Tela de entrada aplicativo T-Rüsch	82
Figura 52 – Características dimensionais das juntas flexíveis	87



Figura 53 – Esforço Axial nos pilares (tf)	93
Figura 54 – Esforço Cortante V2 nos pilares (tf).....	94
Figura 55 – Esforço Cortante V3 nos pilares (tf).....	94
Figura 56 – Momento fletor M2 nos pilares (tf.m).....	95
Figura 57 – Momento fletor M3 nos pilares (tf.m).....	95
Figura 58 – Esforço Axial na travessa (tf)	97
Figura 59 – Esforço Cortante V2 na travessa (tf).....	98
Figura 60 – Esforço Cortante V3 na travessa (tf).....	98
Figura 61 – Momento fletor M2 na travessa (tf.m).....	99
Figura 62 – Momento fletor M3 na travessa (tf.m).....	99
Figura 63 – Geometria e locação dos blocos de coroamento	106
Figura 64 – Esforço Axial nas estacas – N máx = 76,70 (tf)	117
Figura 64 – Momento fletor nas estacas – M máx = 13,30 (tf)	118
Figura 64 – Esforço cortante nas estacas – V máx = 4,50 (tf)	119



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto (considerado o uso de granito como agregado graúdo).....52

Tabela 2 – Reações nos apoios P1..... 105



1 APRESENTAÇÃO



1 APRESENTAÇÃO

1.1 Informações Gerais

A **ENGEMOST Soluções em Engenharia**, empresa de engenharia sediada à Avenida Açucena, nº 2971, D401, bairro Estância Velha, na cidade de Canoas – RS, fones +55 (51) 98190-4061 e +55 (51) 99233-2134, e-mail: engemost@gmail.com inscrita no CNPJ sob o nº 32.854.775/0001-10, apresenta a Prefeitura Municipal de Arambaré/RS, a **ELABORAÇÃO DOS PROJETOS EXECUTIVOS DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DA NOVA PONTE JOÃO GOULART, MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ/RS.**

Os principais elementos e datas de referência do Contrato que regem os trabalhos estão a seguir relacionados:

- Nome da obra: Ponte João Goulart
- Localização: Arambaré/RS
- Extensão: 100,95m;
- Largura: 9,65 m;
- Número do Edital de Licitação: TP 03/2022;
- Data da Homologação: 05/07/2022;
- Número do Contrato: 038/2022;
- Data de Assinatura do Contrato: 08/08/2022;
- Data da Ordem de Início dos Serviços: 08/08/2022;



1.2 Volumes componentes do Projeto

Os projetos da **ELABORAÇÃO DOS PROJETOS EXECUTIVOS DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DA NOVA PONTE JOÃO GOULART MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ/RS**, são apresentados nos volumes discriminados a seguir:

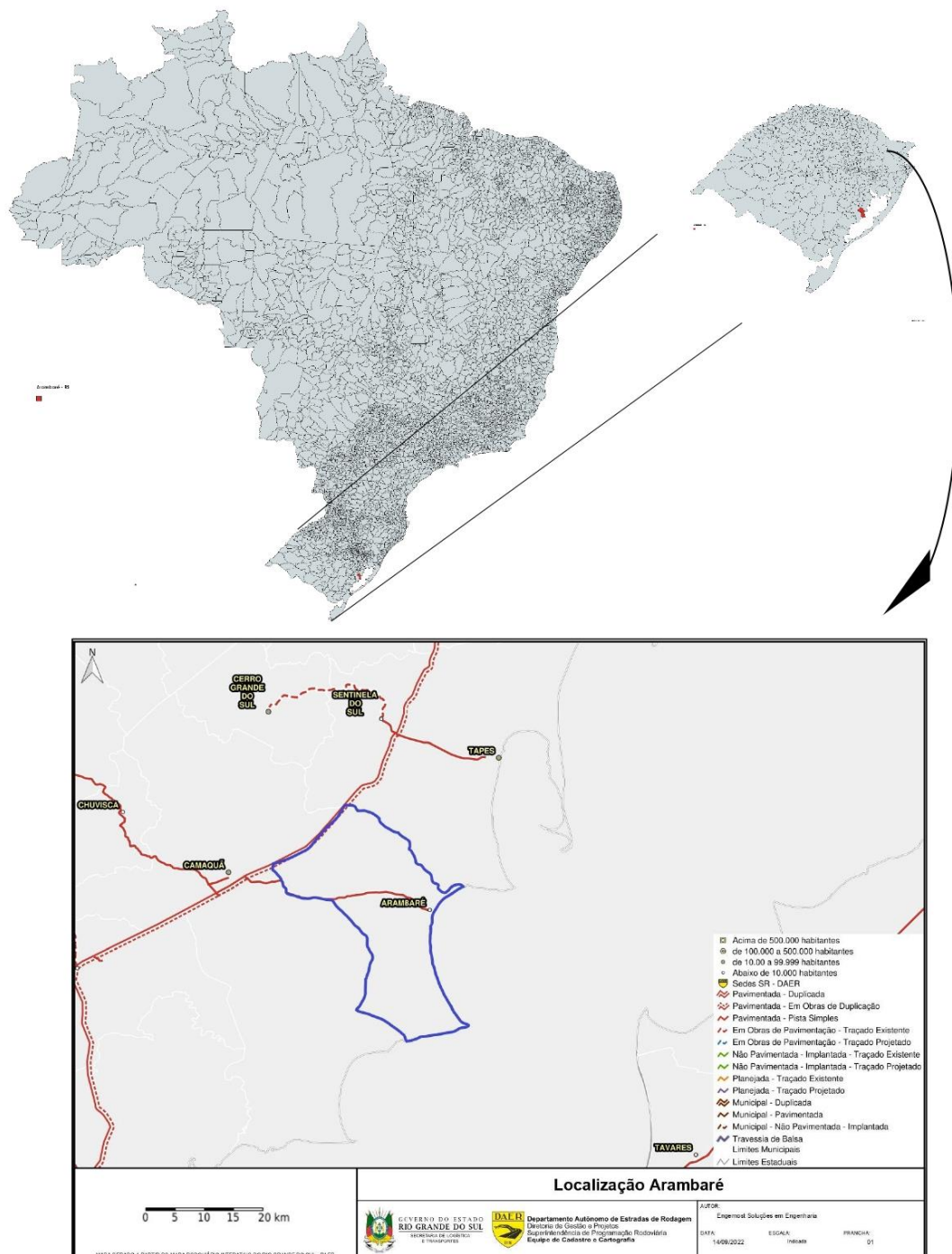
- LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO E BATIMÉTRICO
- ESTUDO GEOLÓGICO
- ESTUDO HIDROLÓGICO
- ESTUDO AMBIENTAL
- ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA (com Programa de Necessidades Definitivo)
- PROJETO GEOMÉTRICO (com Anteprojeto)
- PROJETO VIÁRIO (inclui sinalização)
- PROJETO DA OBRA DE ARTE ESPECIAL
- PROJETO DE TERRAPLENAGEM (com anteprojeto)
- PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO
- PROJETO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA
- ASSESSORIA NO REMANEJAMENTO DE REDES PÚBLICAS
- PROJETO DE DEMOLIÇÃO
- PLANO DE EXECUÇÃO DE OBRA
- ORÇAMENTO
- PROJETO EXECUTIVO PARA LICITAÇÃO



2 MAPA DE SITUAÇÃO



2 MAPA DE SITUAÇÃO





3 MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O ARROIO VELHACO



3 MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O ARROIO VELHACO

3.1 Introdução

Dados gerais da estrutura:

- Comprimento total = 100,95m;
- Comprimento do vão = dois vãos de 24,725m (cabeceiras) e dois vãos de 25,00m;
- Largura total do tabuleiro = 9,65m
- Ponte para Carga Móvel TB-45 (NBR 7188:2013, item 5.1, pág. 3)

Classe de Agressividade Ambiental III:

- Cobrimento
 - Laje: 35mm
 - Viga: 40mm
 - Pilares: 40mm
 - Fundações: 40mm

**Materiais:**

- Concreto estrutural:
 - Estacas $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
 - Blocos: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
 - Pilares: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
 - Vigas: $F_{ck} \geq 40\text{MPa}$ (A/C=0,55)
 - Lajes: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
- Aço
 - CA-50 (Estrutura de concreto armado)
 - CP-190 RB (Estrutura de concreto protendido)



3.2.2 Planta Baixa

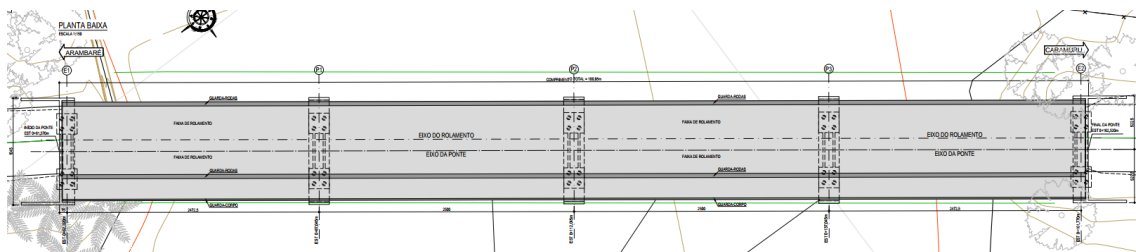


Figura 2 – Planta Baixa

3.2.3 Perfil Longitudinal

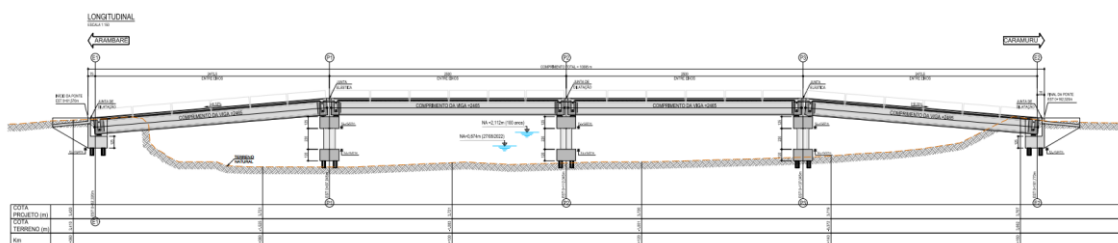


Figura 3 – Perfil Longitudinal

3.2.4 Seções transversais

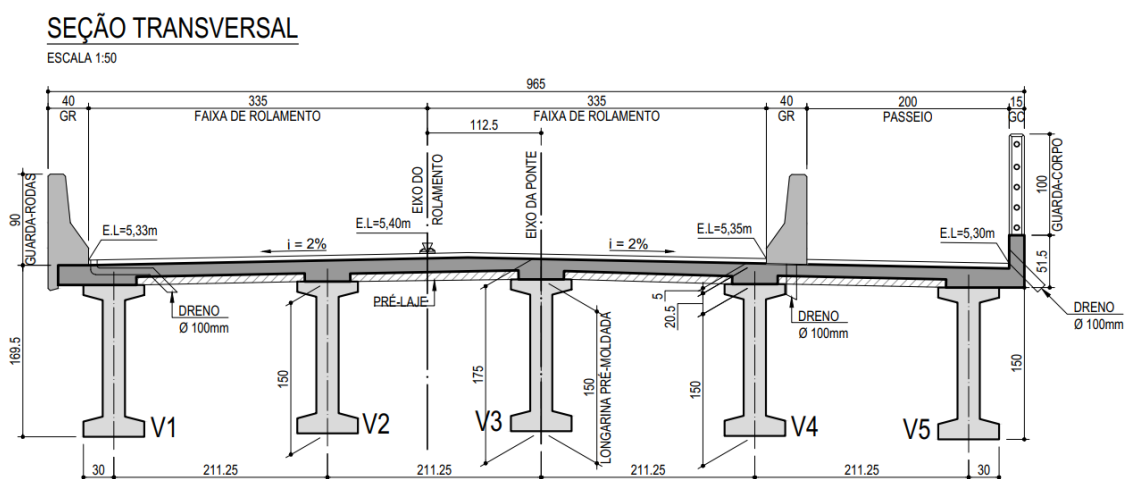


Figura 4 – Seção transversal no vão

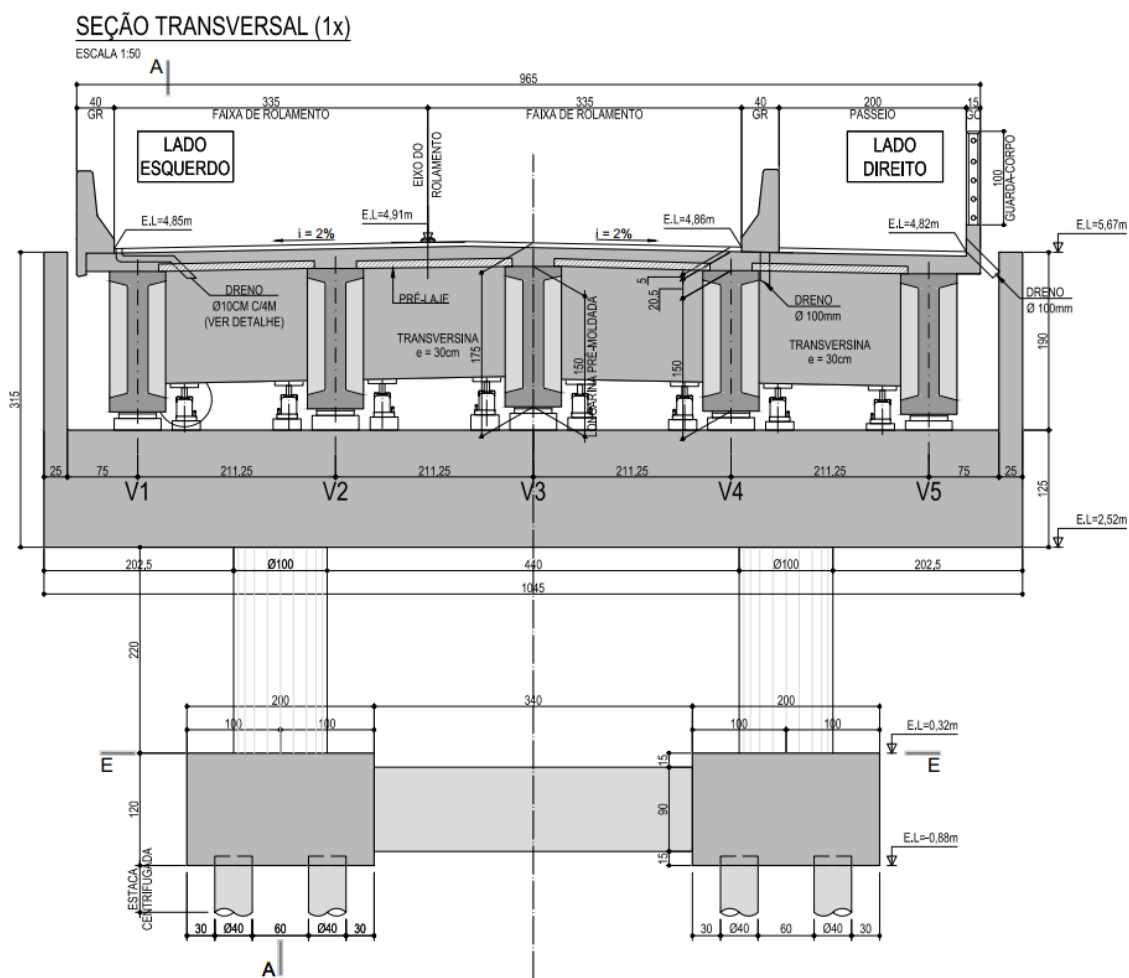


Figura 5 – Seção transversal no apoio P1, P2 e P3



A superestrutura foi discretizada em um modelo composto por elementos de barras, elementos de placa e restrições de apoios os quais representam respectivamente as lajes, as vigas, as transversinas e os apoios que compõem o tabuleiro da obra.

A mesoestrutura foi discretizada através de um modelo de elementos de barra, elementos sólidos e restrição nos apoios, os quais representam respectivamente os pilares dos apoios, travessa superior, calço e aparelhos de apoio.



A infraestrutura foi discretizada através de um modelo de elementos de barra, elementos sólidos e restrição nos apoios, os quais representam respectivamente as estacas e os blocos de fundações.

Foi utilizado o Programa “STRAP - STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM - V. 2022”, para a obtenção dos gráficos dos esforços nos elementos estruturais analisados para o seu posterior dimensionamento, de acordo com as normas e publicações mencionadas na bibliografia deste memorial.

A seguir apresenta-se um modelo computacional global da OAE, onde estão representados todos os elementos componentes da geometria da estrutura. Para efeitos de visualização e considerações dos carregamentos móveis o modelo possui as vigas das cabeceiras retas, porém os ângulos de inclinação das cargas, foram totalmente considerados nos modelos específicos de superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

Este modelo serve de parâmetro para avaliação dos deslocamentos globais e o comportamento da estrutura como um todo. Para o dimensionamento utilizou-se modelos separados para a superestrutura e mesoestrutura/infraestrutura.

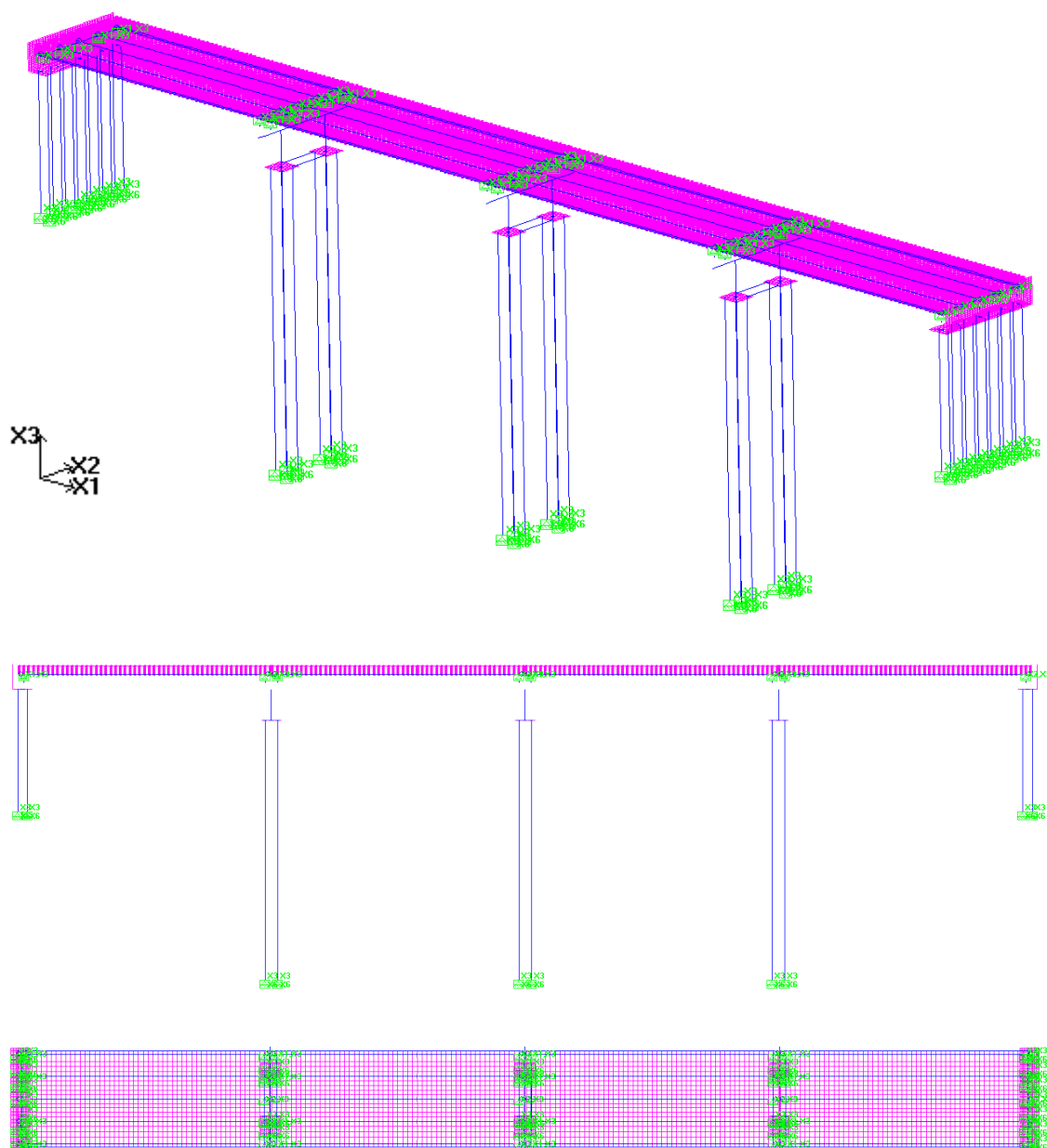


Figura 7 – Modelo de barras e elementos de placa

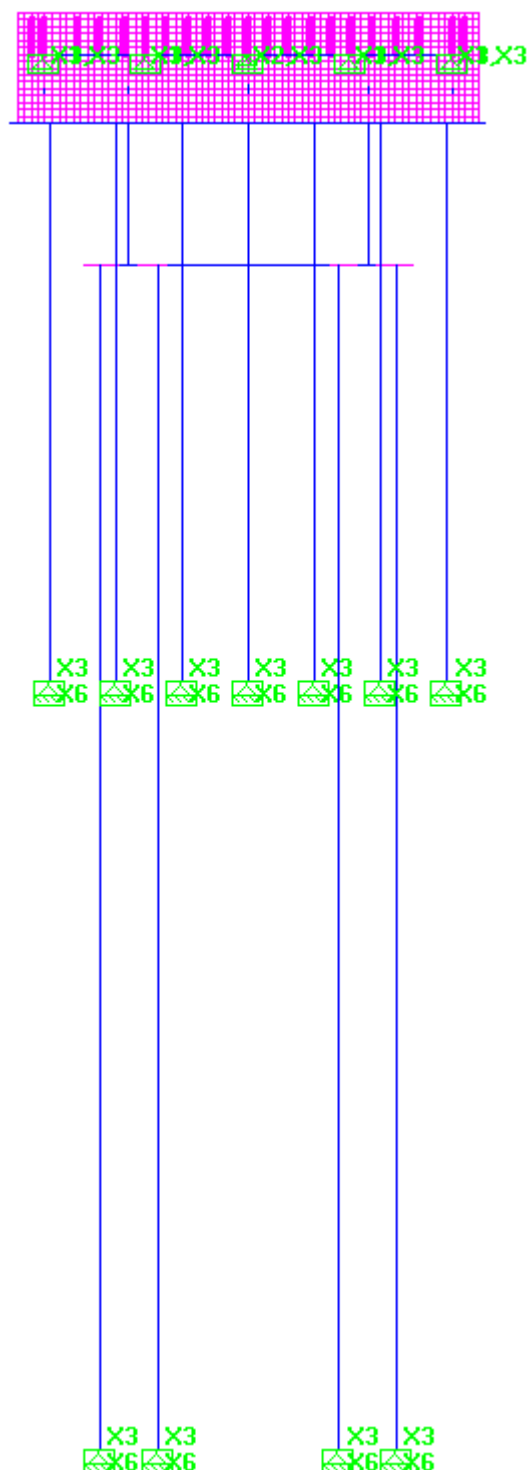


Figura 8 – Modelo de barras e elementos de placa

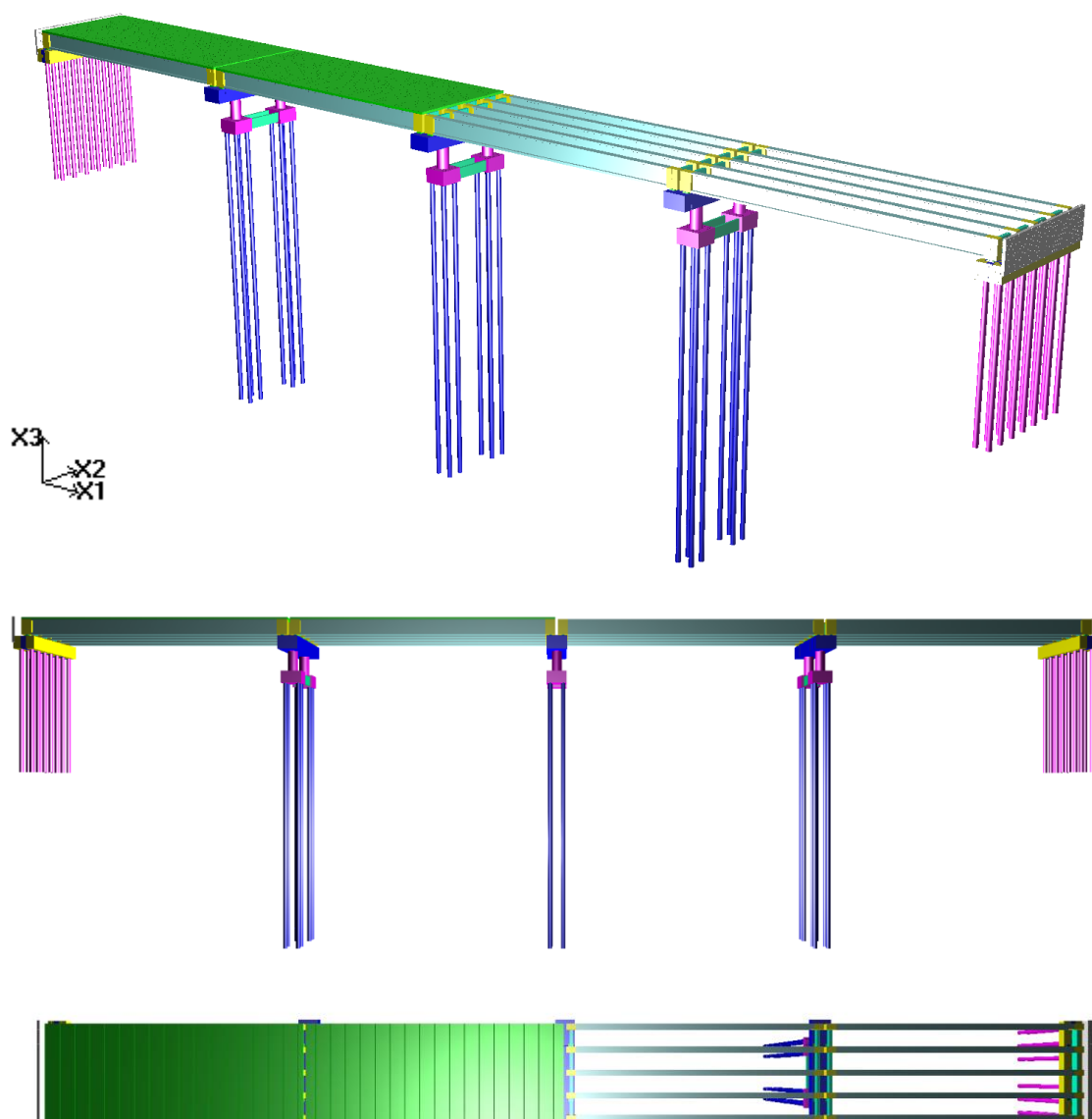


Figura 9 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado

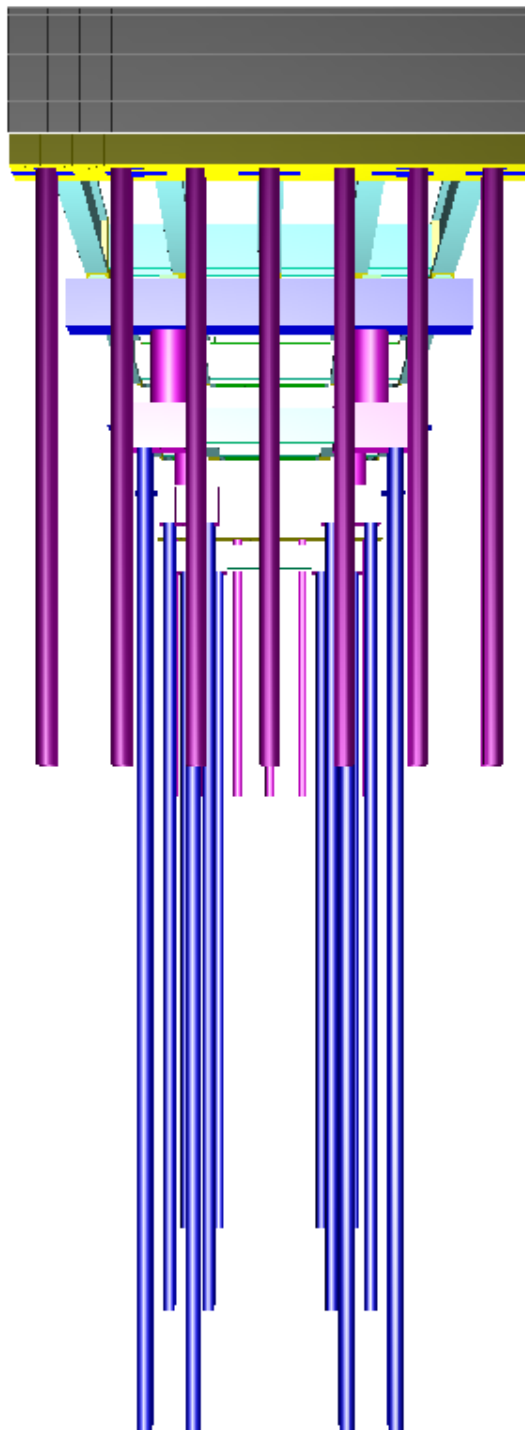


Figura 10 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado

3.3.1 Superestrutura

3.3.1.1 Geometria do modelo

Neste modelo foi utilizada uma ferramenta para compatibilizar as alturas do centro de gravidade (CG) dos elementos. A ferramenta se chama “offset” e traz ao modelo valores mais próximos da realidade.

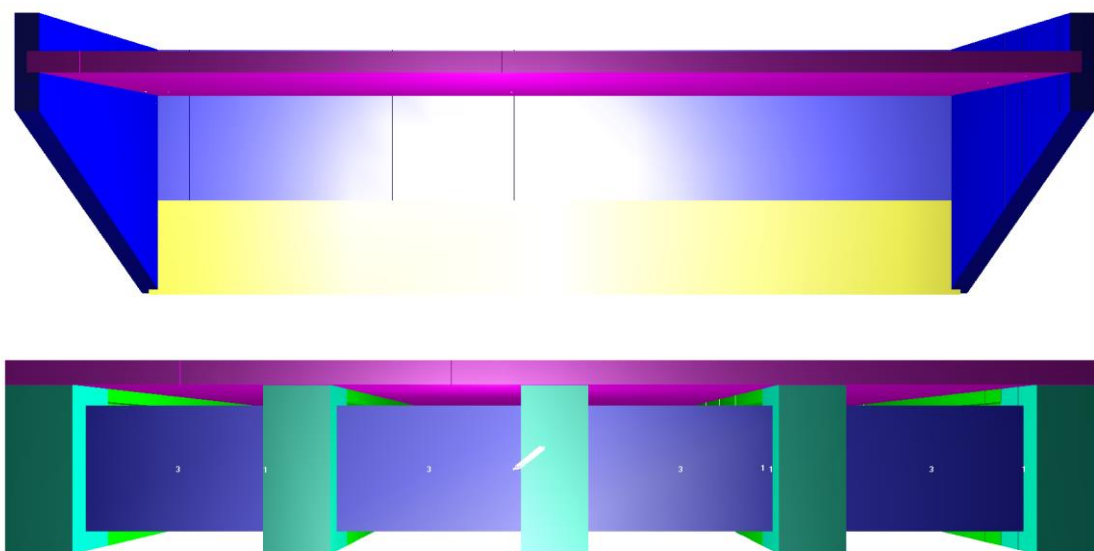


Figura 11 – Seção transversal do modelo computacional

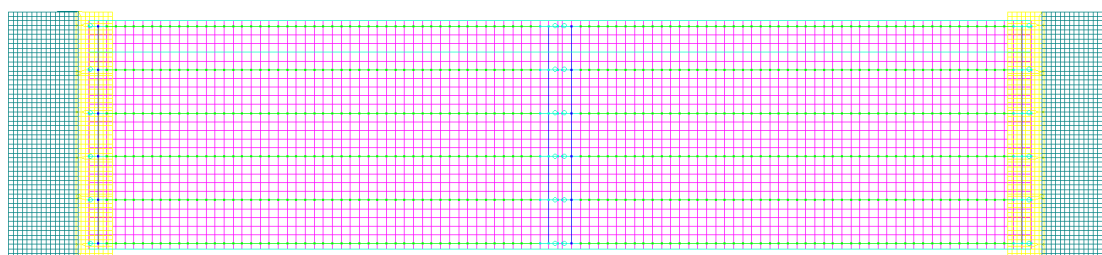


Figura 12 – Modelo computacional em planta baixa da superestrutura

A Ponte sobre o Arroio Velhaco possui 100,95m de comprimento, que é a distância entre o início e fim da obra. Para o cálculo da obra o vão teórico

adotado é de 24,75m, embora a distância entre os eixos dos aparelhos de apoio – restrições de apoio – seja de 25,00m, existem espaçamentos entre uma viga e outra, e uma distância entre a parede da travessa do encontro.

O tabuleiro é constituído de:

- Viga principal representada por elementos de barra;
- Transversinas de apoio, representada por elementos de barra;
- Laje do tabuleiro representada por elementos finitos;
- Travessa do encontro, alas e laje de transição, representada por elementos finitos;
- Guarda-rodas representados por elemento de barra fictícia.

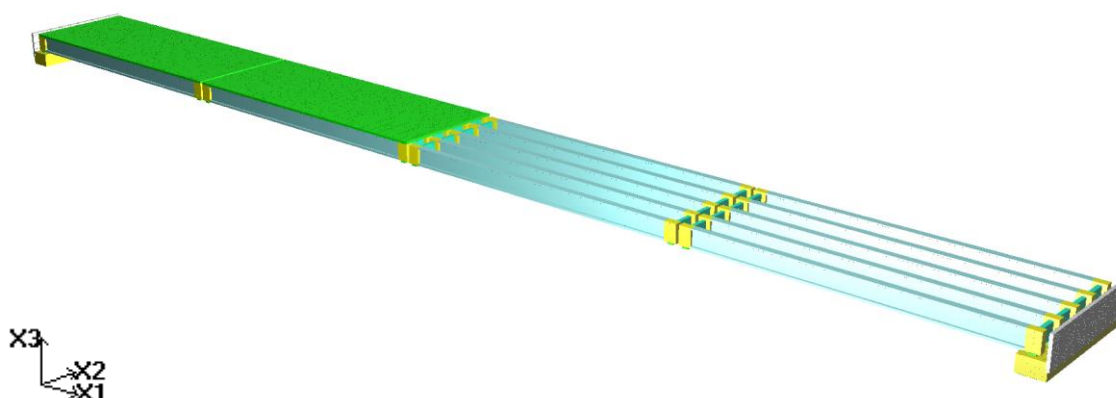


Figura 13 – Modelo computacional renderizado da superestrutura

3.3.1.2 Propriedades do modelo

A seguir apresentamos algumas propriedades geométricas das seções:

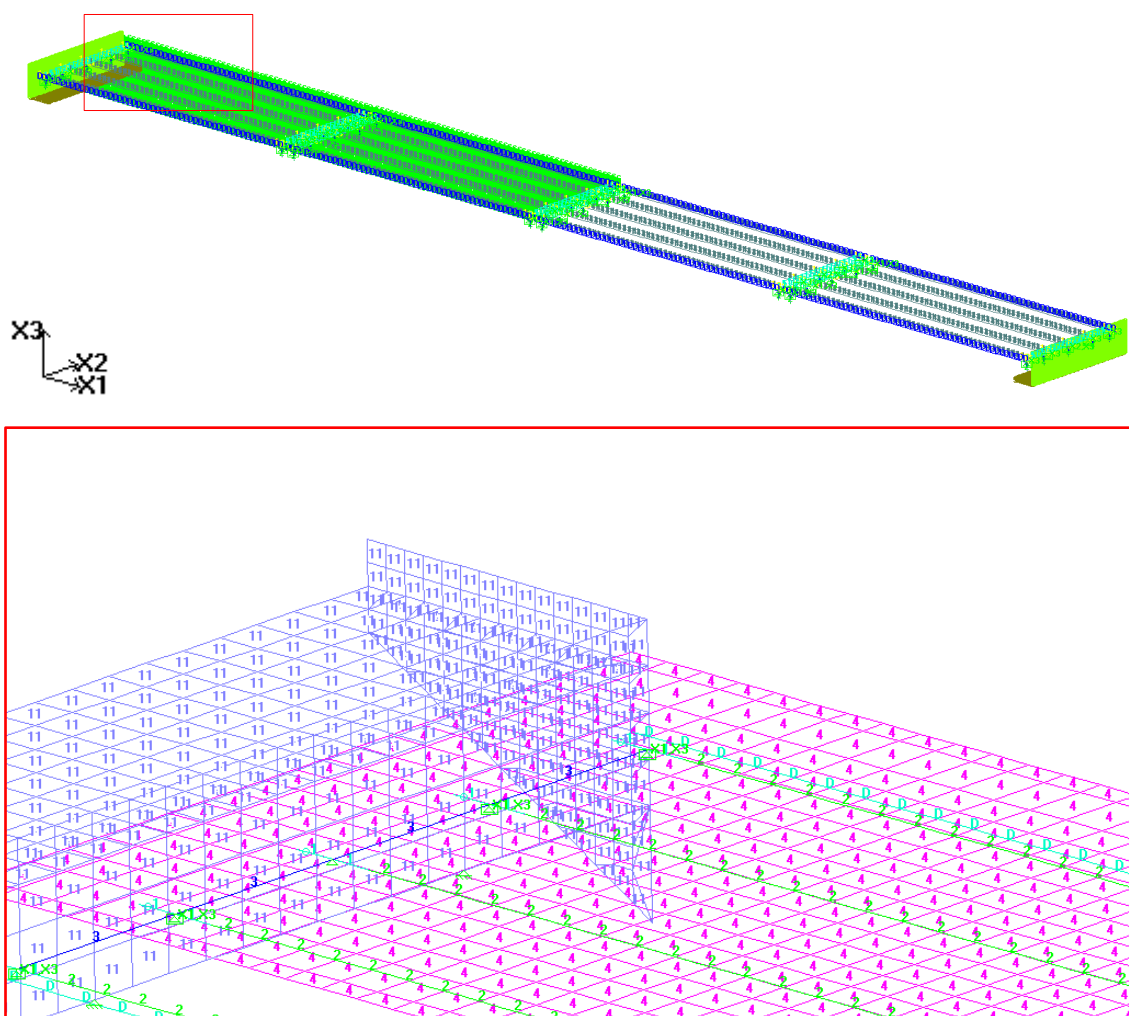
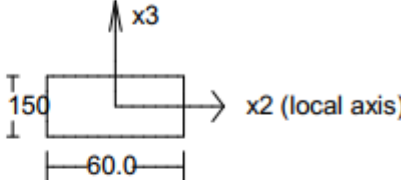
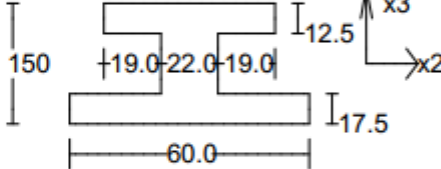
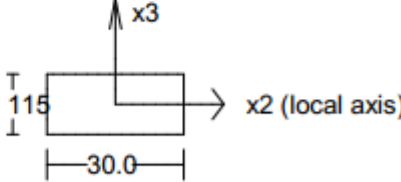


Figura 14 – Visualização das propriedades geométricas da OAE



SECTION PROPERTY TABLE (units - cm.)					
PROPERTY NO. 1					
A=0.9000E+04 Material = 1 - C40 h2=60.000	I2=0.1687E+08 h3=150.000	I3=0.2700E+07 Perimeter=420.000 e2=30.000	J=0.8084E+07 e3=75.000	SF2=0.850 SF3=0.850	
					
PROPERTY NO. 2					
A=0.4440E+04 Material = 1 - C40 h2=60.000	I2=0.1135E+08 h3=150.000	I3=0.6465E+06 Perimeter=496.000 e2=30.000	J=0.6104E+06 e3=77.568	SF2=0.500 SF3=0.500	
					
PROPERTY NO. 3					
A=0.3450E+04 Material = 2 - C30 h2=30.000	I2=0.3802E+07 h3=115.000	I3=0.2587E+06 Perimeter=290.000 e2=15.000	J=0.8650E+06 e3=57.500	SF2=0.850 SF3=0.850	
					
PROPERTY NO. 4					
Thickness = Material = 2 - C30	22.000			SF3=0.000	
PROPERTY NO. 11					
Thickness = Material = 2 - C30	25.000			SF3=0.000	

3.3.1.3 Apoios do modelo

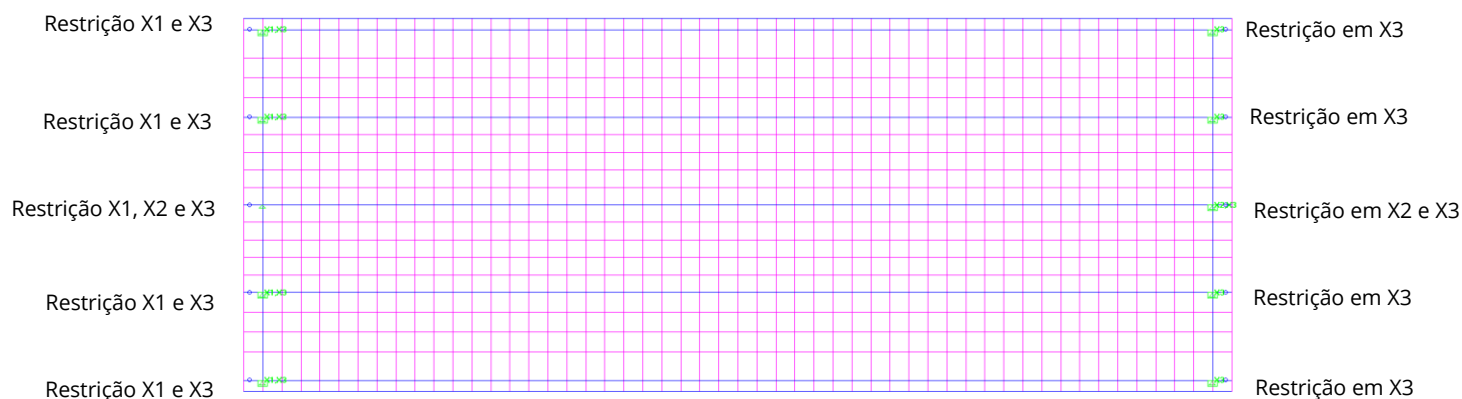


Figura 15 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da superestrutura

3.3.1.4 Materiais do modelo

- C30: Concreto Fck 30Mpa
- C40: Concreto Fck 40 MPa

MATERIAL TABLE (units - tf metro)						
NO.	Name	Modulus of Elasticity	Poisson ratio	Density	Thermal coefficient	Shear modulus
1	C40	0.3188E+07	0.200	0.2500E+01	0.00001000	0.1328E+07
2	C30	0.2699E+07	0.200	0.2500E+01	0.00001000	0.1125E+07

3.3.1.5 Ações do modelo

Para uma melhor visualização dos carregamentos aplicados no modelo será apresentado apenas um dos vãos isostáticos da estrutura da ponte.



3.3.1.5.1 Peso próprio das vigas

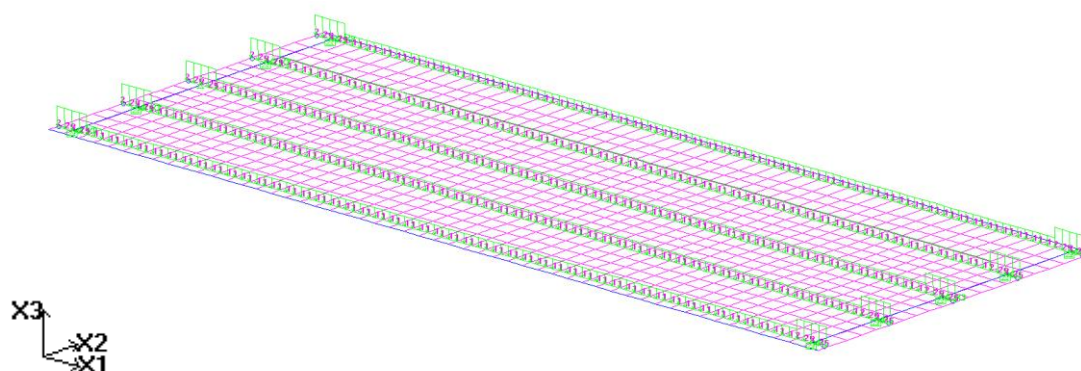


Figura 16 – Módulo de Cargas: Peso próprio das vigas

3.3.1.5.2 Peso próprio das transversinas

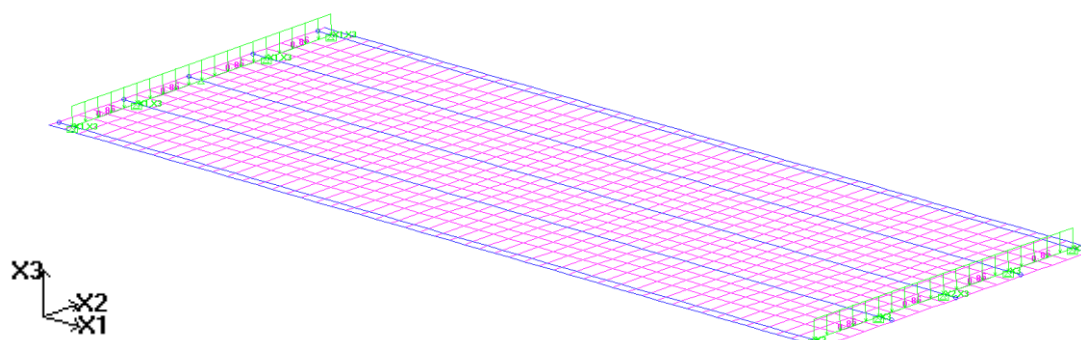


Figura 17 – Módulo de Cargas: Peso próprio das transversinas

3.3.1.5.3 Peso próprio da laje principal

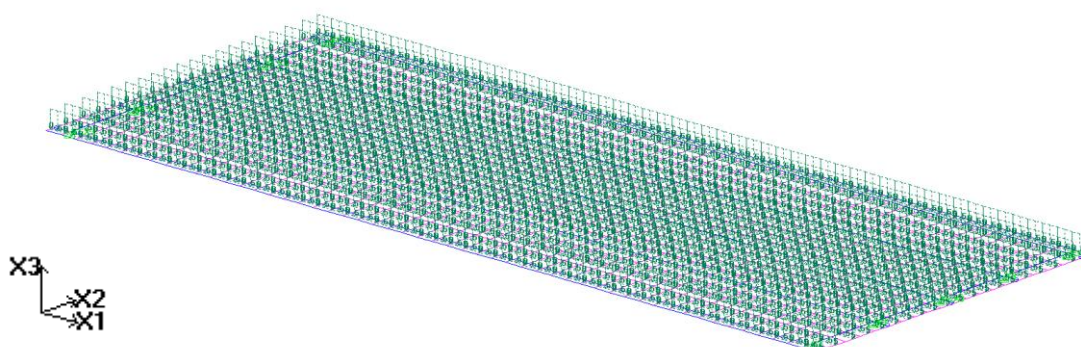


Figura 18 – Módulo de Cargas: Peso próprio da laje principal

3.3.1.5.4 Peso próprio da pavimentação

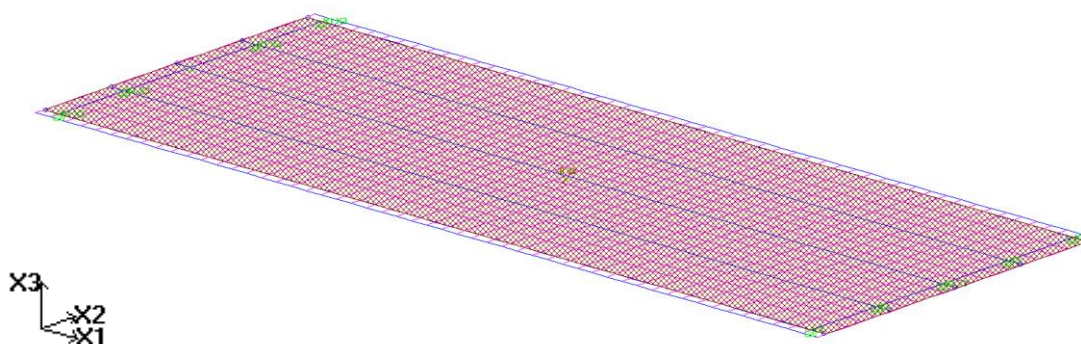


Figura 19 – Módulo de Cargas: Peso próprio da pavimentação

3.3.1.5.5 Peso próprio da barreira rígida “New Jersey”

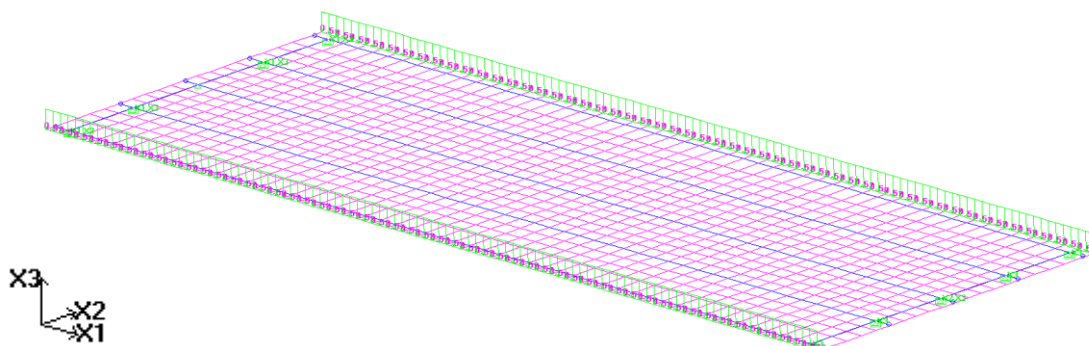


Figura 20 – Módulo de Cargas: Peso próprio da barreira rígida

3.3.1.5.6 Frenagem e aceleração

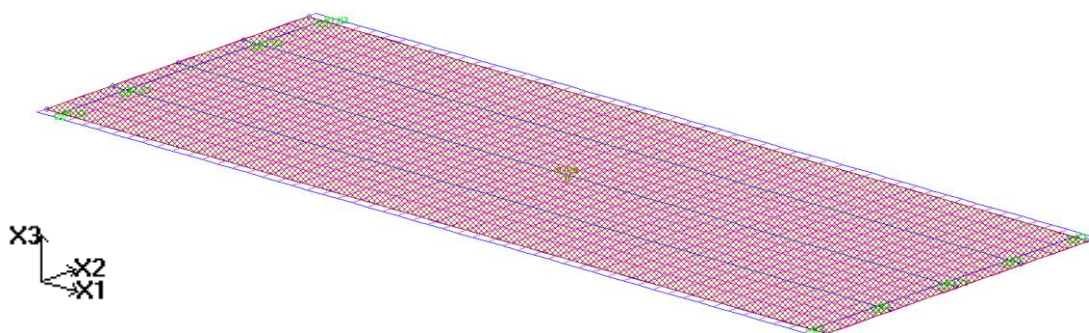


Figura 21 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração



3.3.1.5.7 Vento

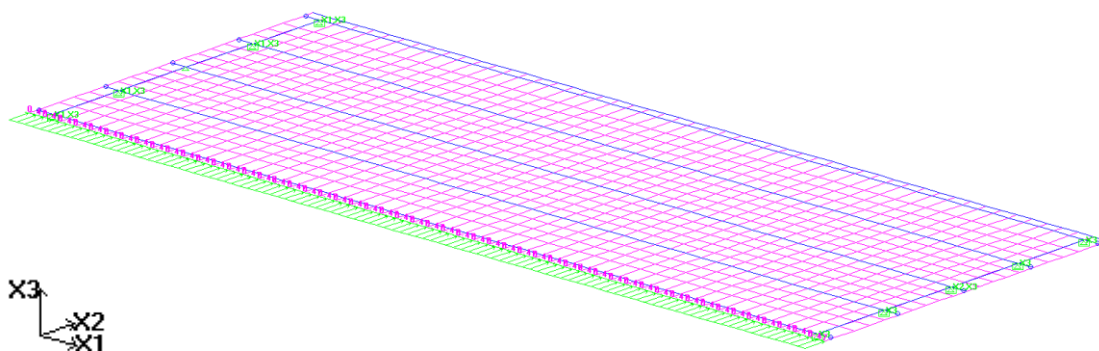


Figura 22 – Módulo de Cargas: Vento

3.3.1.5.8 Temperatura

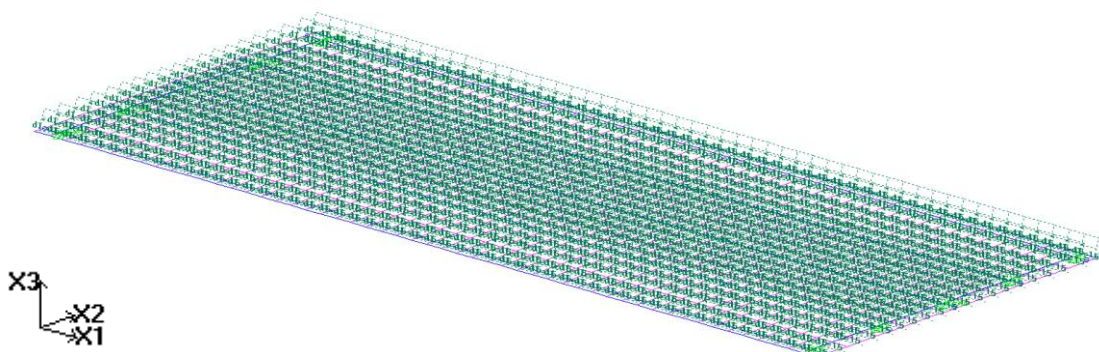


Figura 23 – Módulo de Cargas: Temperatura

3.3.1.5.9 Retração e fluência

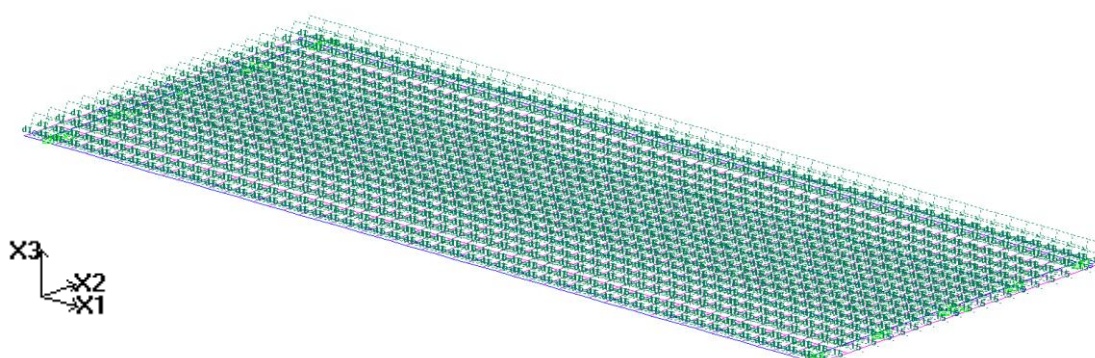


Figura 24 – Módulo de Cargas: Retração e fluência

3.3.1.5.10 Trem-tipo TB-450 e multidão – Módulo de Pontes

Para o cálculo do trem tipo e carga de multidão foi utilizado o Módulo de Pontes do software STRAP. A maioria das normas para dimensionamento de OAE indica que cada ponto da estrutura deve ser dimensionado pelo arranjo de cargas que produzirão as piores solicitações (momentos, cortantes etc.).

Em virtude desta necessidade, o calculista de OAE's tem que calcular linhas de influência para cada tipo de resultado em vários pontos ao longo da ponte. Baseando-se nas linhas de influência ele decide como arranjar as cargas (veículo e multidão) na ponte. É obvio que quanto mais complicada for a ponte, o trabalho para se calcular as linhas de influência e carregar a ponte aumentam sensivelmente.

O Módulo de Pontes do STRAP calcula as linhas de influência e carrega a ponte gerando os piores resultados possíveis:



- Primeiramente o usuário define o modelo geométrico no STRAP, carrega o modelo com todas as cargas (como peso próprio, vento, recapeamento etc.), exceto cargas de veículo e multidão e o calcula estaticamente;
- Só depois de calcular as cargas permanentes, entre no Módulo de Pontes para definir: faixas, cargas nas faixas e carregamentos;
- Então o Módulo de Pontes calcula as linhas de influência e carrega o modelo a fim de encontrar os resultados máximos e mínimos de cada esforço em cada ponto do modelo. O cálculo é orientado pelo usuário que especifica parâmetros, como o número de faixas que podem ser carregadas simultaneamente, valores de cargas etc.;
- O usuário pode inserir os resultados calculados no Módulo de Pontes no Módulo de Resultados do STRAP, podendo combinar os resultados de Pontes com os resultados das cargas calculadas normalmente pelo programa (peso próprio, vento, recapeamento etc.);
- Ainda no Módulo de Pontes, o usuário pode visualizar as linhas de influência e arranjos de cargas calculados pelo programa.

O fundamento do cálculo é a divisão de cada faixa em n divisões, onde o usuário define este número de divisões n para cada faixa. Então cada divisão tem a largura igual à largura da faixa e o comprimento é igual ao comprimento da faixa dividido por n . O programa carrega cada divisão com

uma carga por área uniforme unitária e calcula as linhas de influência e os respectivos arranjos críticos de carga. Semelhante à análise por elementos finitos, a precisão dos resultados aumenta ao dividir mais as faixas (aumentando o número de divisões n), porém o tempo de processamento e o espaço de disco necessário também aumentam consideravelmente.

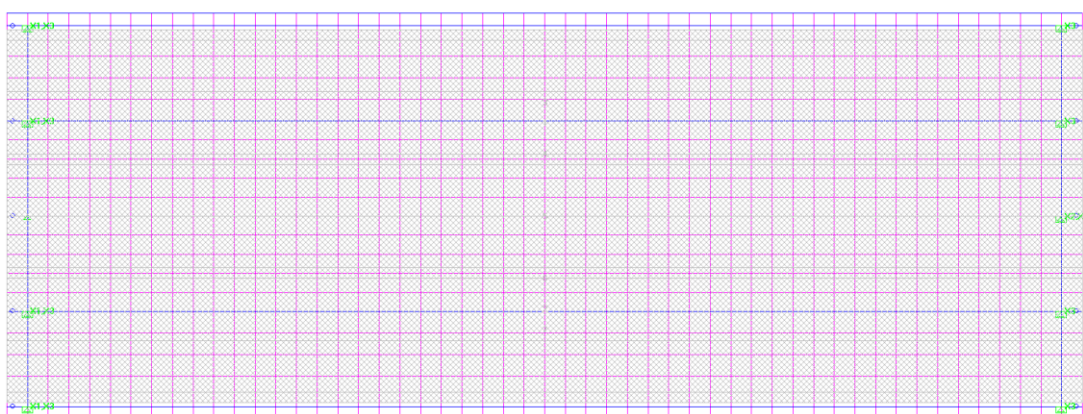


Figura 25 – Módulo de Pontes: Faixas



LANES DATA TABLE (Units: meter)								
segm. no.	start node	end node	width	offset	no. of strips	rectangle size	segment length	vertical tolerance
LANE NO. 1								
1	76	4170	4.50	2.25	104	0.25	26.00	1
LANE NO. 2								
1	76	4170	4.50	-2.25	104	0.25	26.00	1
LANE NO. 3								
1	76	4170	3.00	2.75	104	0.25	26.00	1
LANE NO. 4								
1	76	4170	3.00	1.50	104	0.25	26.00	1
LANE NO. 5								
1	76	4170	3.00	0.00	104	0.25	26.00	1
LANE NO. 6								
1	76	4170	3.00	-1.50	104	0.25	26.00	1
LANE NO. 7								
1	76	4170	3.00	-2.75	104	0.25	26.00	1

Figura 26 – Módulo de Pontes: Faixas

Multidão – Faixas (LANE) 1 e 2;

Trem tipo TB-450 – Faixas (LANE) 3 a 7.

3.3.2 Mesoestrutura

3.3.2.1 Geometria do modelo

Nos modelos da mesoestrutura e infraestrutura foram utilizadas duas ferramentas e uma delas distinta do modelo computacional da superestrutura. A primeira ferramenta é para compatibilizar as faces dos elementos, se chama “offset” e traz ao modelo valores mais próximos da

realidade. A segunda são as “ligações rígidas” que conectam os nós que recebem os carregamentos da superestrutura (eixo de apoio das vigas) com o nó principal dos aparelhos de apoio. Foram elaborados dois tipos de apoios, os encontros E1 e E2, e os apoios intermediários P1, P2 e P3.

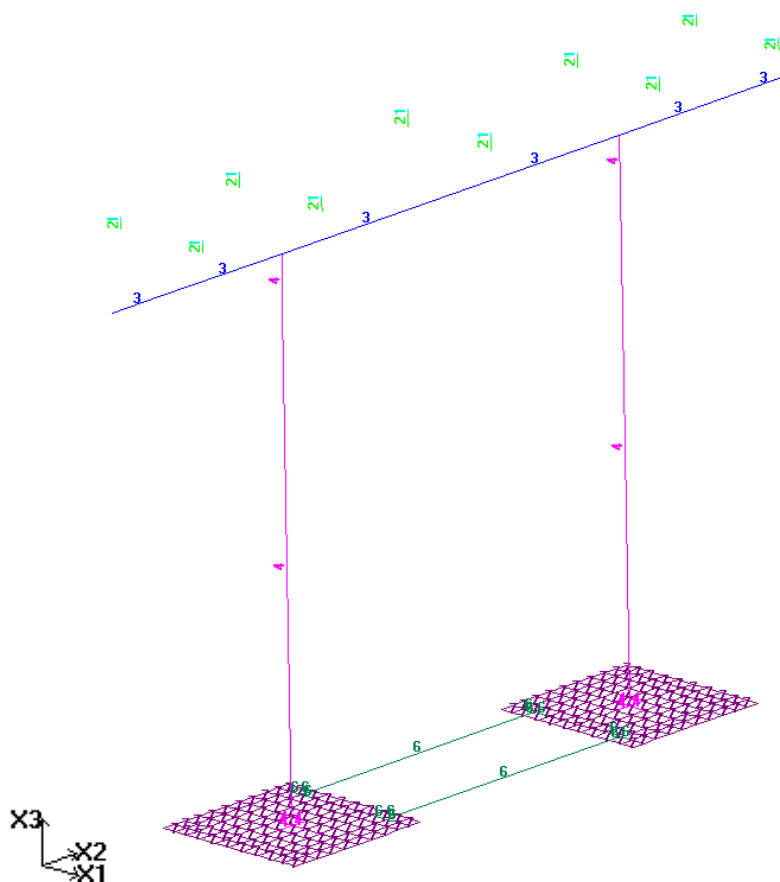


Figura 27 – Modelo computacional da mesoestrutura e infraestrutura – Apoio P1, P2 e P3

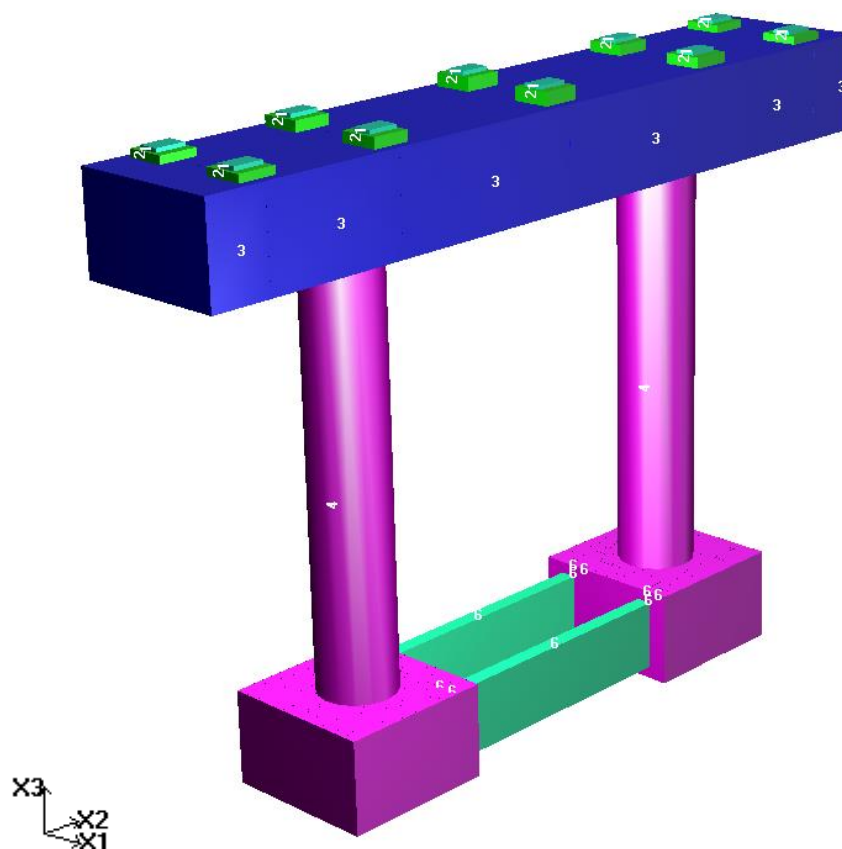


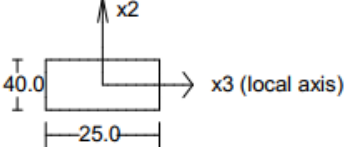
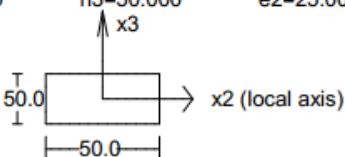
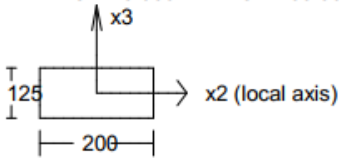
Figura 28 – Modelo computacional renderizado da mesoestrutura e infraestrutura – Apoio P1, P2 e P3

3.3.2.2 Propriedades do modelo

A seguir apresentamos algumas propriedades geométricas das seções:



- Propriedades apoios P1, P2 e P3

SECTION PROPERTY TABLE (units - cm.)					
PROPERTY NO. 1					
A=0.1000E+04	I2=0.5208E+05	I3=0.1333E+06	J=0.1273E+06	SF2=0.850	SF3=0.850
Material = 2 - NEOP	Perimeter=130.000				
h2=40.000	h3=25.000	e2=20.000	e3=12.500		
					
PROPERTY NO. 2					
A=0.2500E+04	I2=0.5208E+06	I3=0.5208E+06	J=0.8802E+06	SF2=0.850	SF3=0.850
Material = 3 - C30	Perimeter=200.000				
h2=50.000	h3=50.000	e2=25.000	e3=25.000		
					
PROPERTY NO. 3					
A=0.2500E+05	I2=0.3255E+08	I3=0.8333E+08	J=0.7959E+08	SF2=0.850	SF3=0.850
Material = 3 - C30	Perimeter=650.000				
h2=200.000	h3=125.000	e2=100.000	e3=62.500		
					
PROPERTY NO. 4					
A=0.7854E+04	I2=0.4909E+07	I3=0.4909E+07	J=0.9817E+07	SF2=0.890	SF3=0.890
Material = 3 - C30	Perimeter=314.159				
h2=100.000	h3=100.000	e2=50.000	e3=50.000		
CIRC., Diameter= 100.000					
PROPERTY NO. 5					
A=0.7854E+04	I2=0.4909E+07	I3=0.4909E+07	J=0.9817E+07	SF2=0.890	SF3=0.890
Material = 3 - C30	Perimeter=314.159				
h2=100.000	h3=100.000	e2=50.000	e3=50.000		
CIRC., Diameter= 100.000					

3.3.2.3 Apoios do modelo

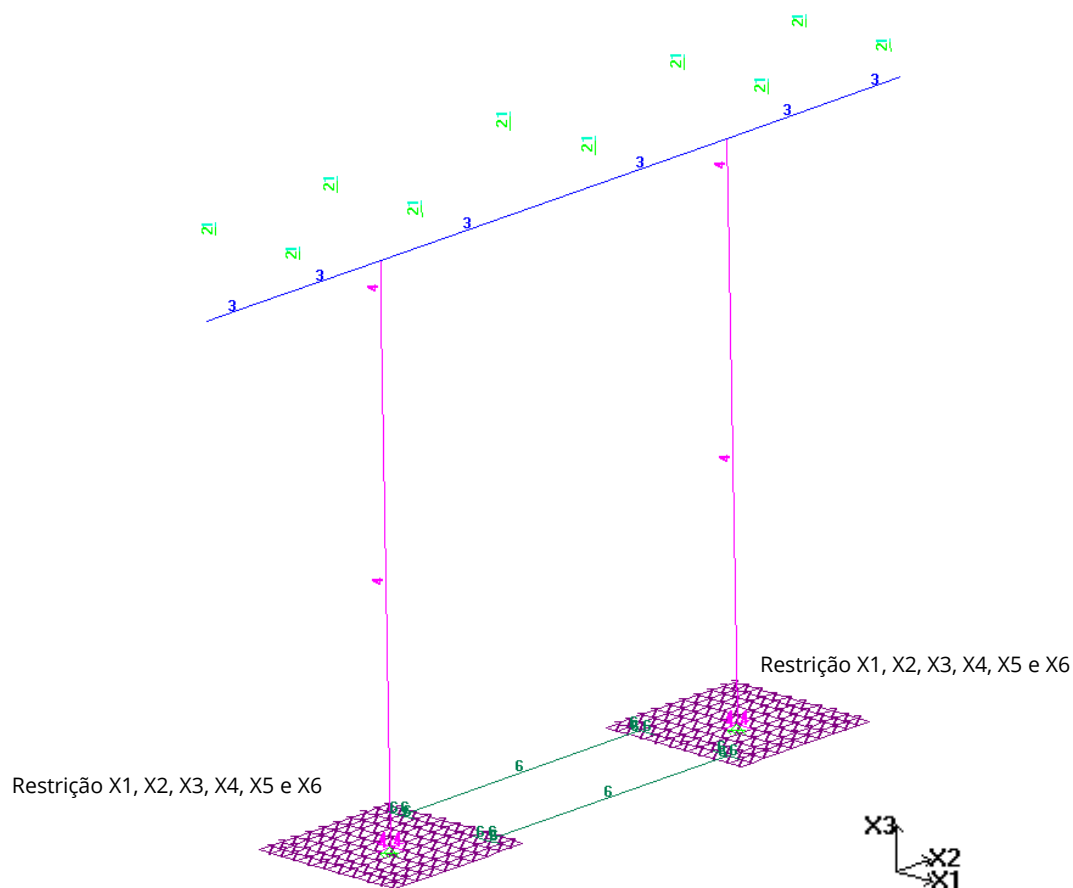


Figura 29 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da mesoestrutura

3.3.2.4 Materiais do modelo

- C30: Concreto;
- NEOPRENE: Aparelho de apoio em neoprene fretado.

MATERIAL TABLE (units - tf metro)						
NO.	Name	Modulus of Elasticity	Poisson ratio	Density	Thermal coefficient	Shear modulus
1	CONC	0.3000E+07	0.200	0.2500E+01	0.00001000	0.1250E+07
2	NEOP	0.4994E+06	0.200	0.2500E+01	0.00001000	0.3000E+03
3	C30	0.2699E+07	0.200	0.2500E+01	0.00001000	0.1125E+07

3.3.2.5 Ações do modelo

3.3.2.5.1 Peso próprio da superestrutura

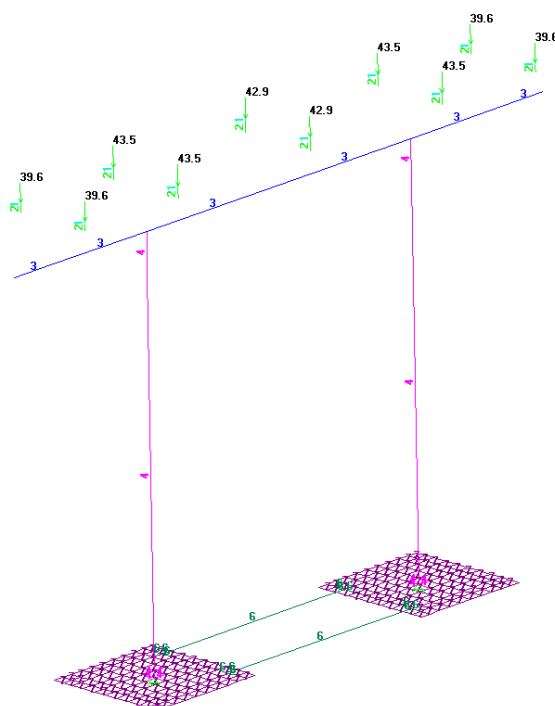
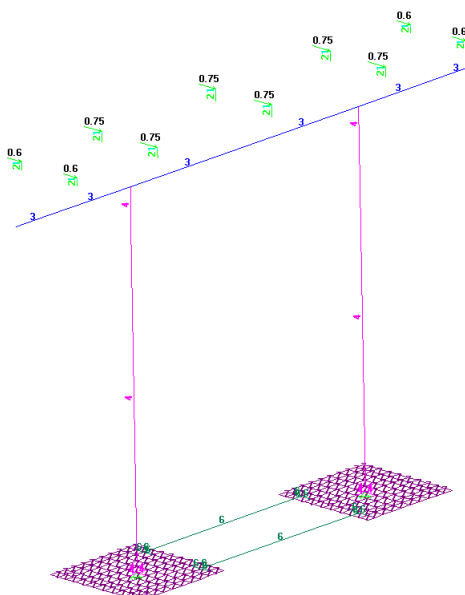
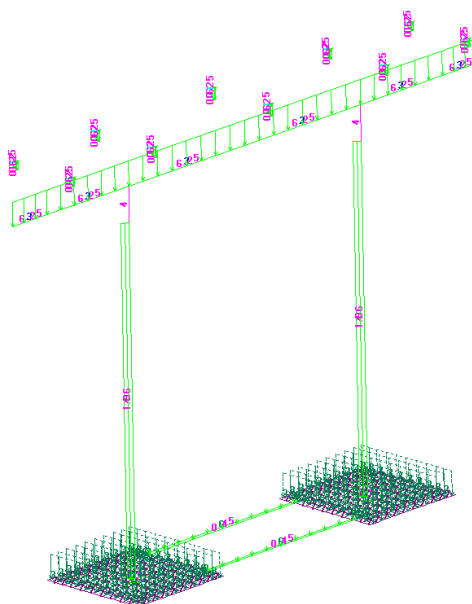


Figura 30 – Módulo de Cargas: Peso próprio da superestrutura





3.3.2.5.4 Vento

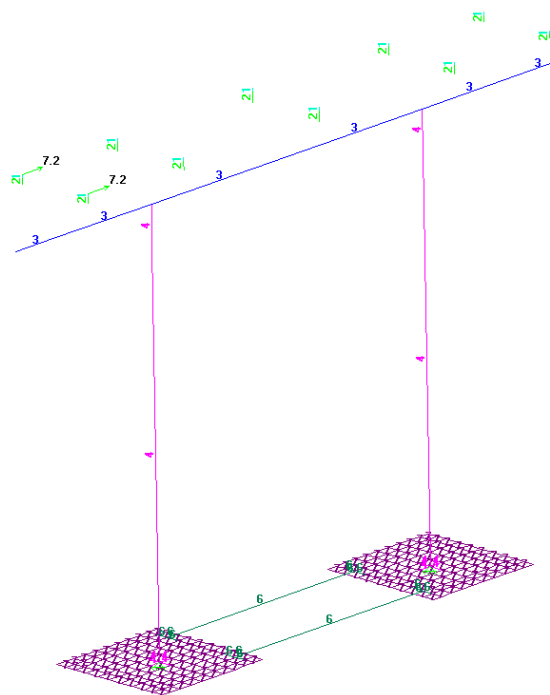


Figura 33 – Módulo de Cargas: Vento

3.3.2.5.5 Carga móvel da superestrutura

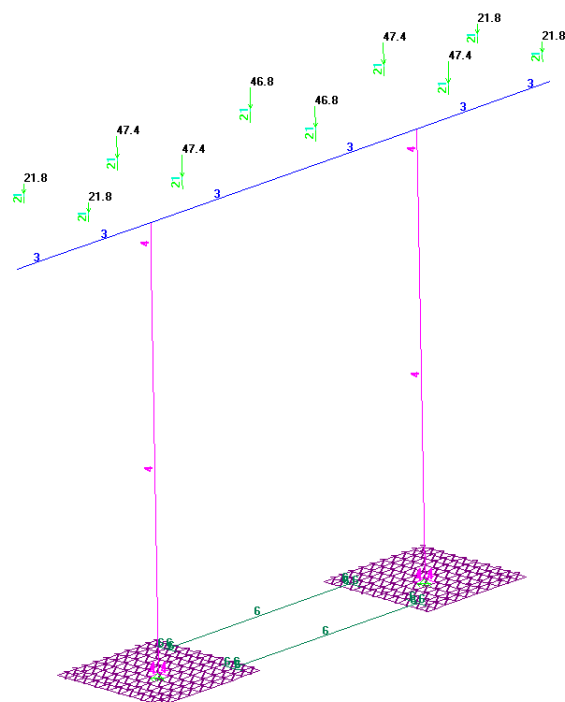


Figura 34 – Módulo de Cargas: carga móvel da superestrutura

3.3.2.5.6 Empuxo de terra

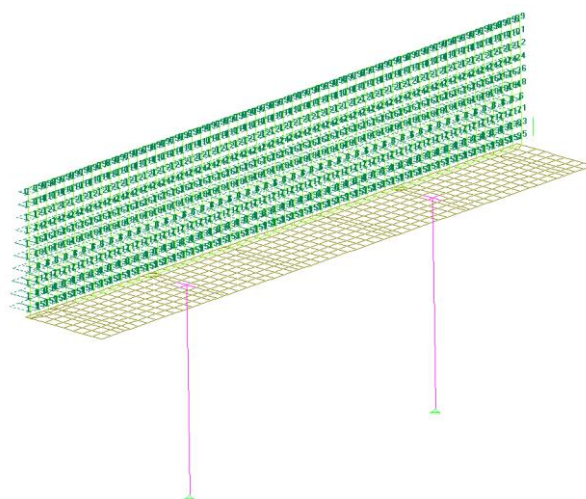


Figura 35 – Módulo de Cargas: Empuxo de terra

3.3.2.5.7 Pressão da água

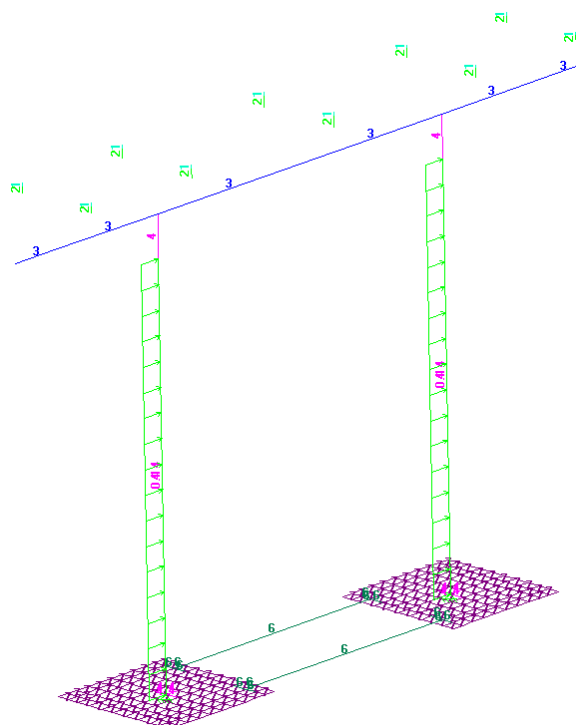


Figura 36 – Módulo de Cargas: Pressão da água em movimento, Obs.: Apenas aplicada no trecho em contato com a água, ou seja, que não está confinada pelo solo

3.4 Superestrutura

3.4.1 Vigas

O valor do módulo de elasticidade do concreto foi obtido na tabela apresentada abaixo:

Tabela 1 - Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto (considerado o uso de granito como agregado graúdo)

Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
Eci (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
Ecs (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
α_i	0,85	0,86	0,88	0,89	0,9	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

ABNT NBR 6118:2014

Abaixo se apresenta a seção transversal da viga existente utilizada para o cálculo da Ponte sobre o Arroio Velhaco.

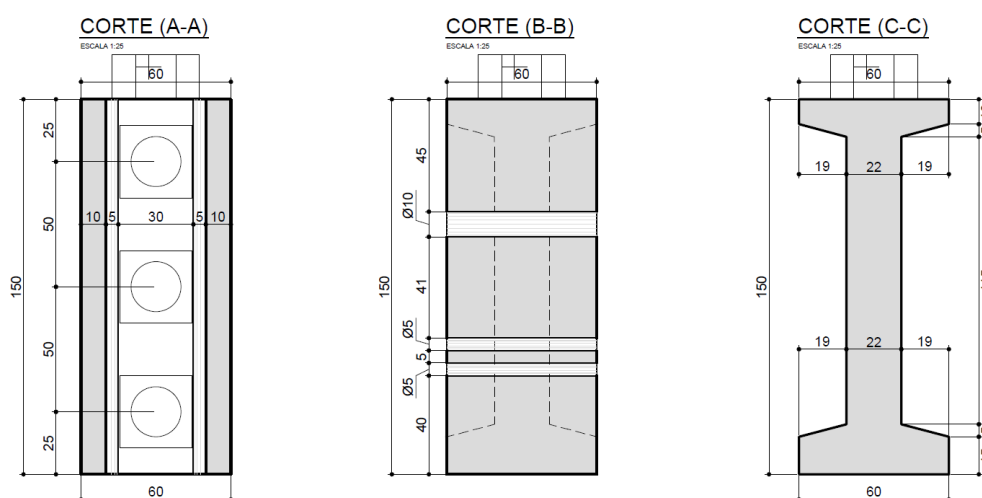


Figura 37 – Seção da viga pré-moldada

A seguir apresenta-se a seção transversal no vão da OAE, com a indicação de numeração das vigas, para uma melhor visualização e entendimento dos resultados.

SEÇÃO TRANSVERSAL

ESCALA 1:50

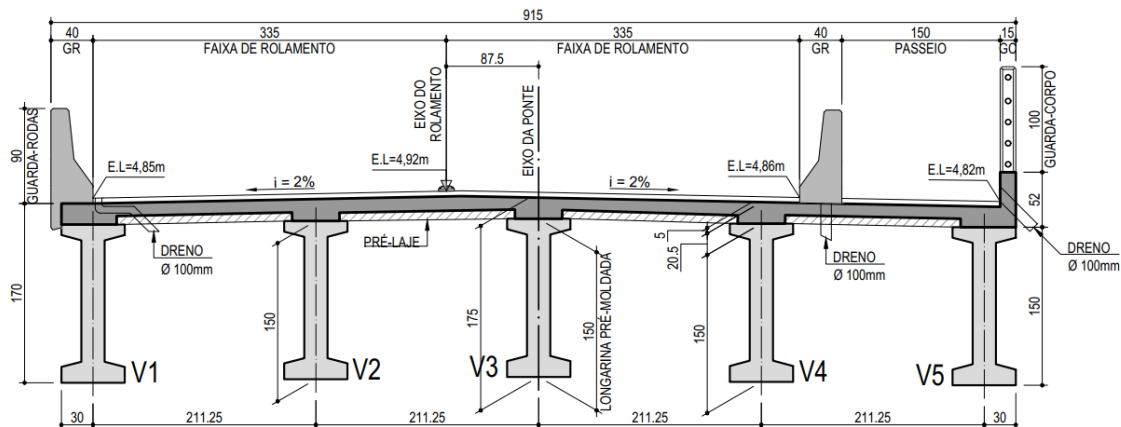
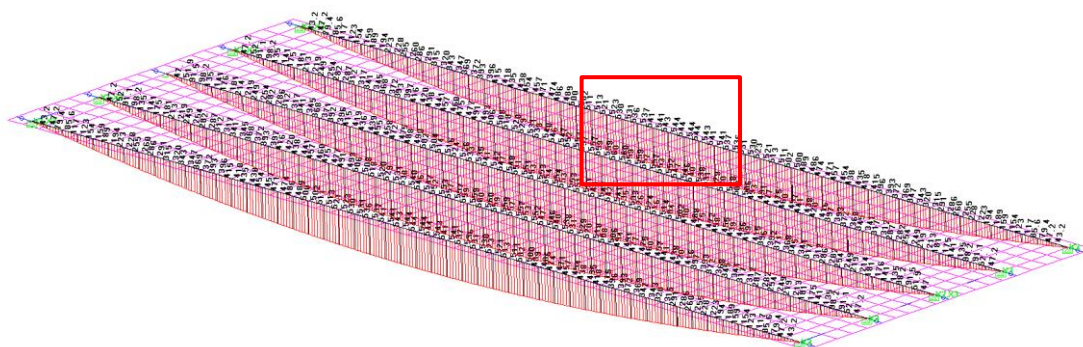


Figura 38 – Seção da transversal no vão da OAE

3.4.1.1 Resultados


 Figura 39 – Momento Fletor $M2 - ELU$

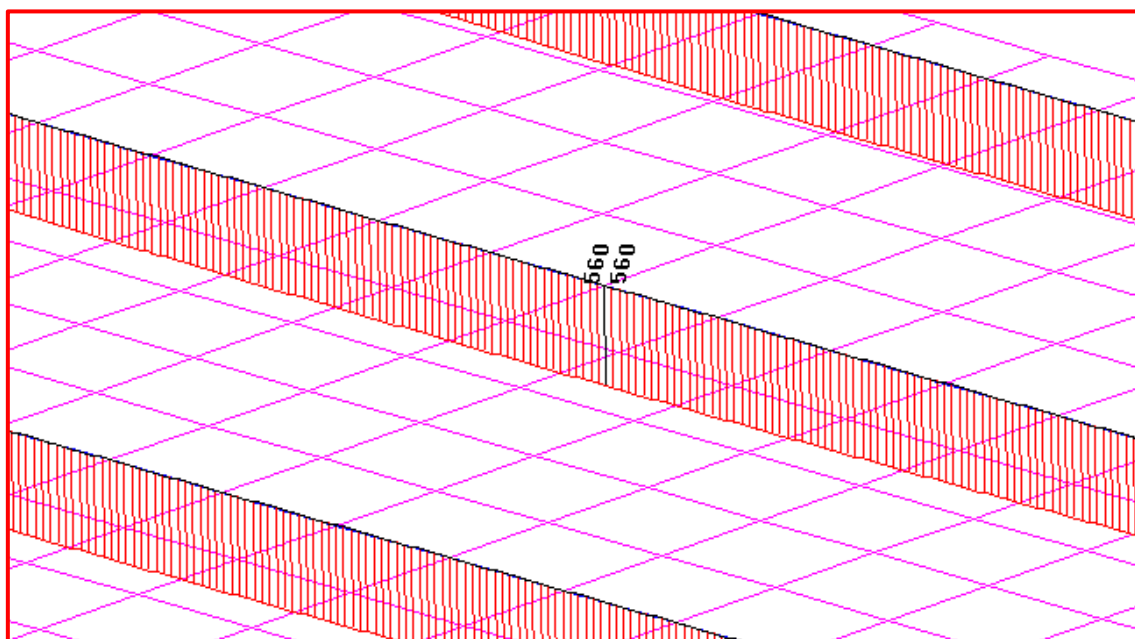


Figura 40 – Momento Fletor M2 – ELU

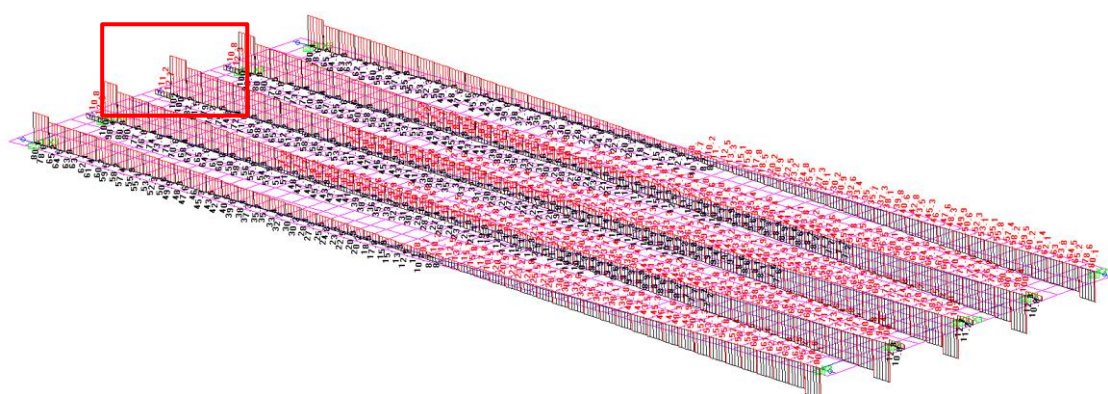


Figura 41 – Esforço Cortante V3 – ELU

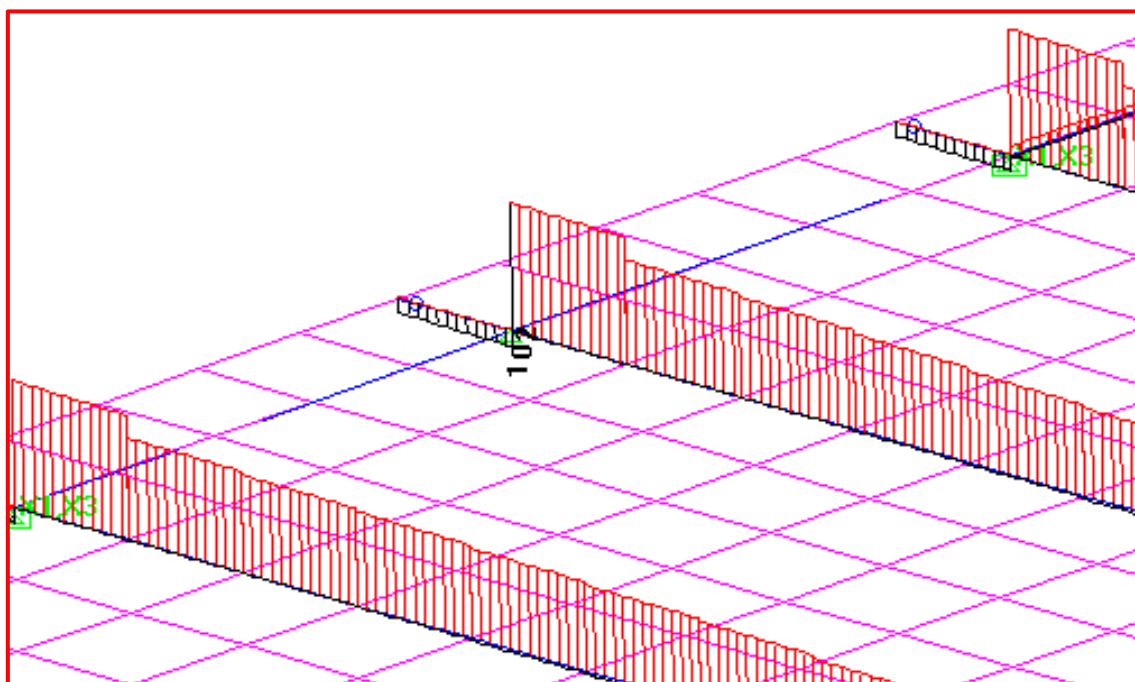


Figura 42 – Esforço Cortante V3 – ELU

A seguir serão apresentados o resultados detalhados dos momentos fletores (M2 MOMENT), esforços cortantes (V3 SHEAR), esforços normais (AXIAL FORCE), momentos torsões (TORSION MOMENT) e os deslocamentos máximos (x3 DISPLACEMENTS). Todos os resultados são referentes a combinação de Estado Limite Último.



- Vigas V1 e V5

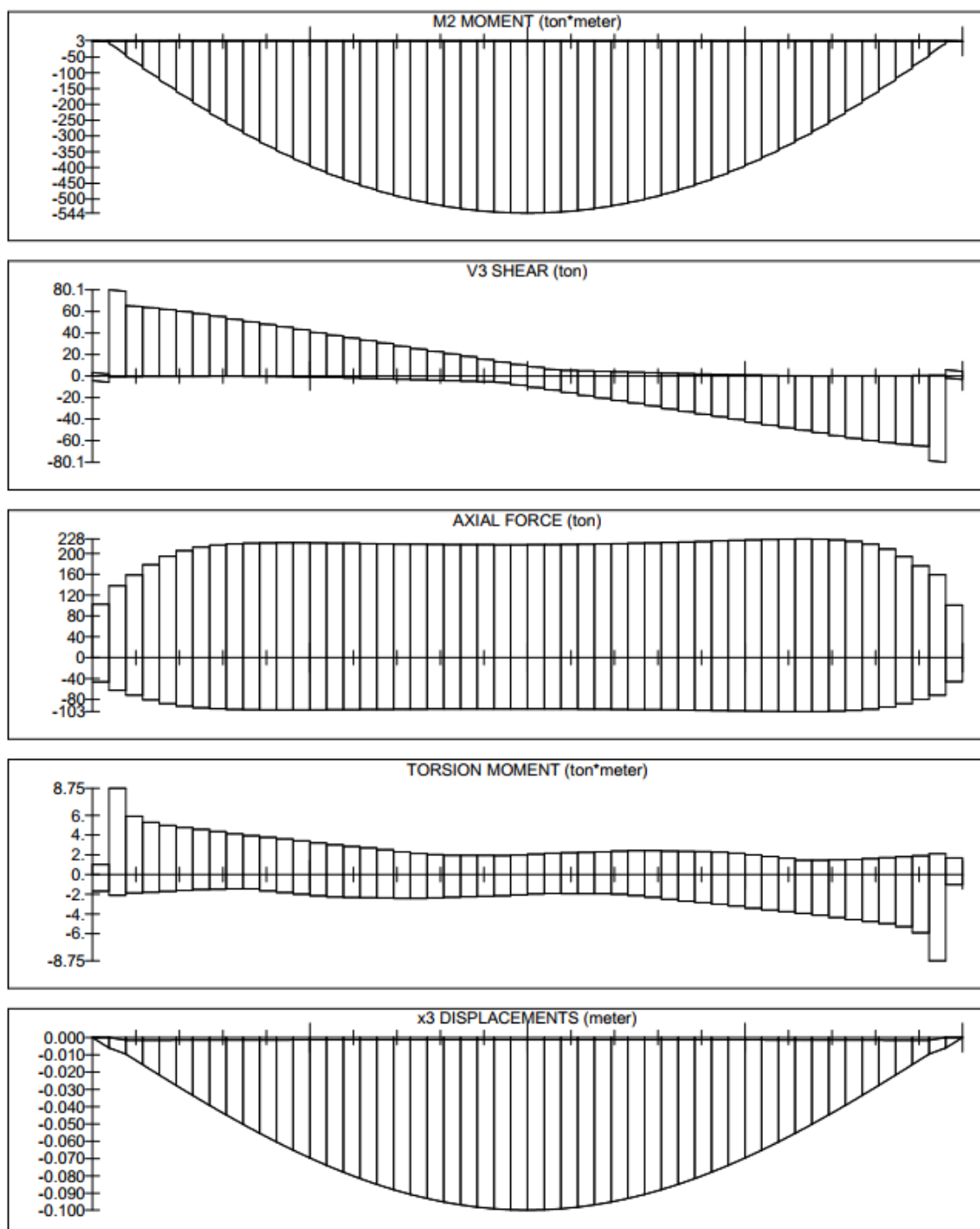


Figura 43 – Solicitações nas Vigas V1 e V5– ELU – Estrutura Ampliada

- Vigas V2 e V4

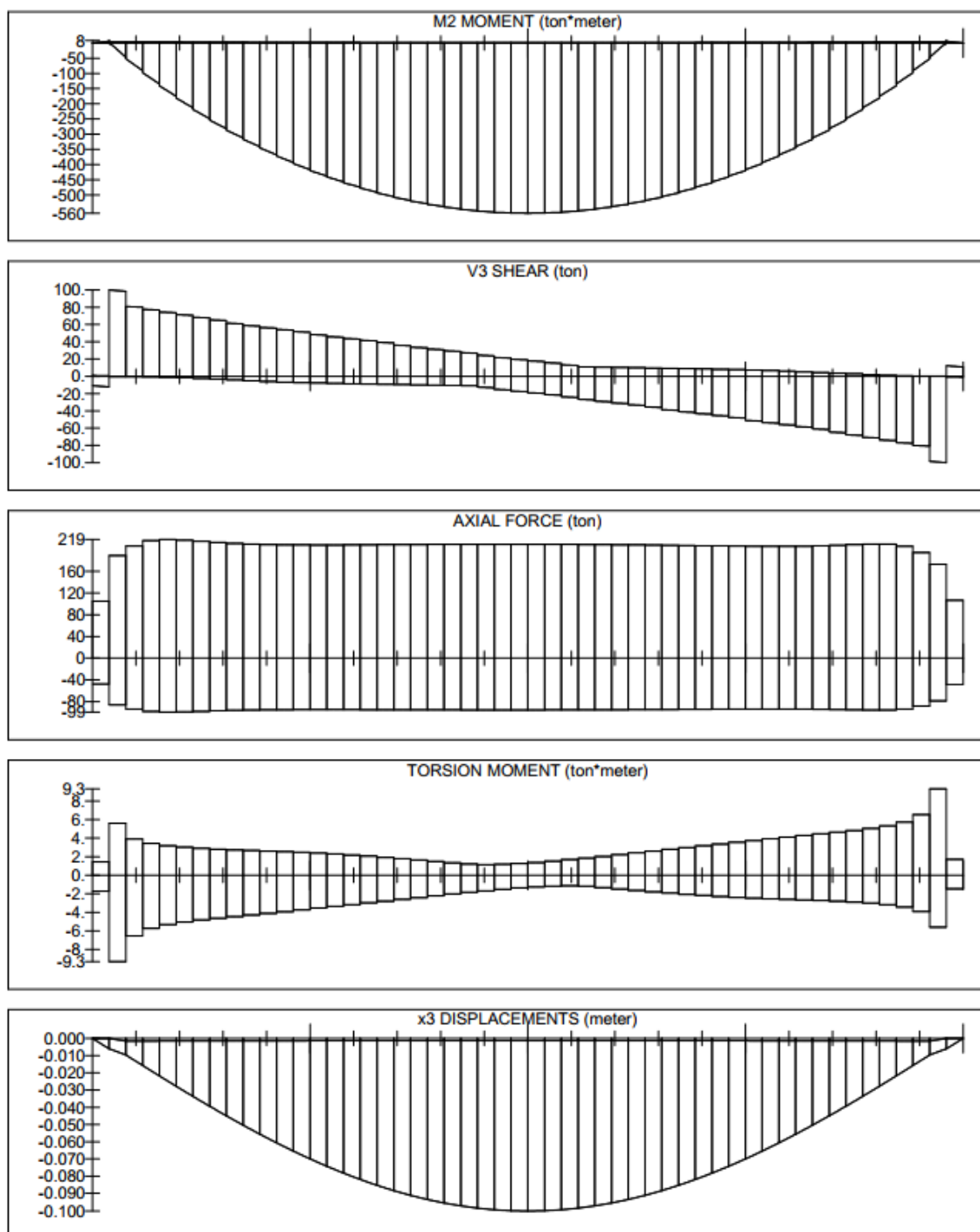


Figura 44 – Solicitações nas Vigas V2 e V4– ELU – Estrutura Ampliada

- Vigas V3

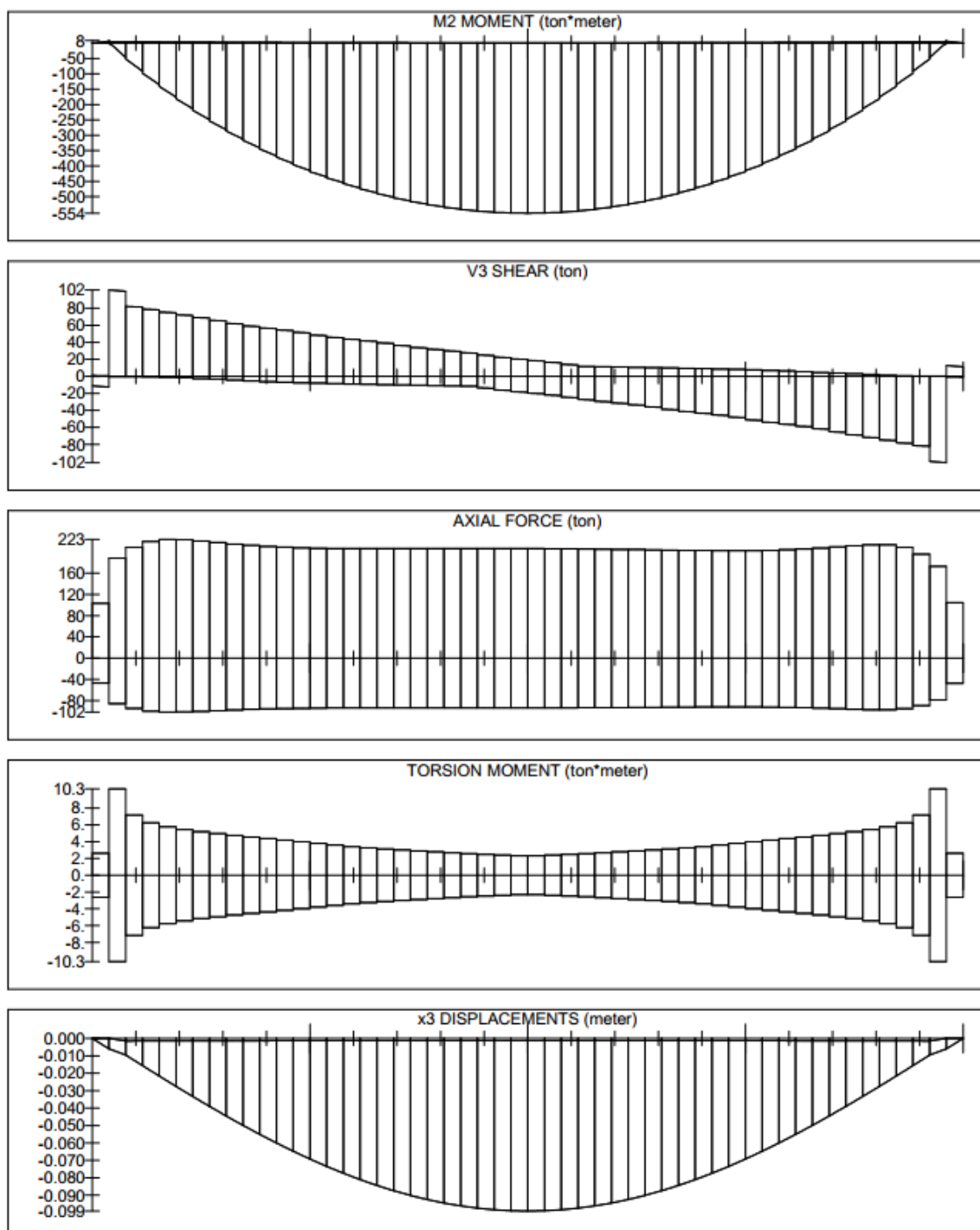


Figura 45 – Solicitações nas Vigas V3– ELU – Estrutura Ampliada



3.4.1.2 Cálculos de Protensão

1. DADOS E PARÂMETROS INICIAIS

- Vão = 26 m
- Concreto C40
- CAA II
- Aço 190 12,7 mm
- Pós-tração
- Abatimento do concreto entre 10 - 15 cm
- Todas as faces expostas ao ar
- Escorregamento da cunha de ancoragem = 6 mm
- Protensão aos 5 dias
- Cimento CP V-ARI
- Temperatura média do ambiente de 25°C
- Umidade relativa do ar de 90%
- Agregado Granito

2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

$$\begin{aligned}A_c &= 6240 \text{ cm}^2 \\y_{cg, \inf} &= 93,37 \text{ cm} \\I_c &= 18095326,92 \text{ cm}^4 \\W_x &= 193811,95 \text{ cm}^3 \\e_p &= 80,87 \text{ cm} \\u_{ar} &= 838,59 \text{ cm}\end{aligned}$$

3. TIPO DE PROTENSÃO

CAA II + Pós-tração = Protensão parcial nível 1

4. MÁXIMAS TENSÕES DE TRAÇÃO NA SEÇÃO MAIS SOLICITADA

4.1. Permanente

$$\begin{aligned}M_{gk} &= 233000 \text{ kN.cm} \\ \sigma_{gk} &= \frac{M_{gk}}{I_c} \cdot y_i \\ \sigma_{gk} &= 1,202 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

4.2. Variável

$$M_{qk} = 164000 \text{ kN.cm}$$



$$\sigma_{gk} = \frac{M_{gk}}{I_c} \cdot y_t$$
$$\sigma_{gk} = 0,846 \text{ kN/cm}^2$$

5. CÁLCULO DE $P_{\infty, est}$

5.2. Combinação quase-permanente de ações (ELS-D)

$$\sigma_{gk} + \psi_2 \cdot \sigma_{gk} + \sigma_{px} = 0$$
$$\psi_2 = 0,3$$
$$\sigma_{px} = -1,456 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \text{Valor Final}$$

5.3. $P_{\infty, est}$

Valor Final

$$P_{\infty, est} = \frac{\sigma_{px}}{\left(\frac{1}{A_c} + \frac{e_p}{W_x} \right)}$$
$$P_{\infty, est} = -2521,33 \text{ kN}$$

6. CÁLCULO DE P_i

$$\Delta P = 30\% \Rightarrow \text{adotado}$$

$$P_{i, est} = \frac{P_{\infty, est}}{1 - \Delta P}$$

$$P_{i, est} = 3601,9 \text{ kN}$$

$$\sigma_{pi, lim} \leq \begin{cases} 0,74 \cdot f_{ptk} \\ 0,82 \cdot f_{pyk} = 0,82 \cdot 0,90 \cdot f_{ptk} \end{cases}$$

$$f_{ptk} = 190 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{pi, lim} = 140,22 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{p1\phi} = 1,014 \text{ cm}^2$$

$$A_{p, est} = \frac{P_{i, est}}{\sigma_{pi, lim}}$$

$$A_{p, est} = 31,27 \text{ cm}^2$$

$$N^{\circ} \text{ de cordoalhas} = \frac{A_{p, est}}{A_{p1\phi}}$$

$$n_{\text{cord.}} = 30,83 \Rightarrow 31 \text{ cordoalhas}$$

Adotado (3x) 11 CP 190 RB 12,7 mm \Rightarrow Total de 33 cordoalhas

$$A_{p, est} = A_{p1\phi} \cdot N^{\circ} \text{ de cordoalhas}$$



$$A_{p,ef} = 33,46 \text{ cm}^2$$

$$P_i = A_{p,ef} \cdot \sigma_{pt,lim}$$

$$P_i = 4692,04 \text{ kN}$$

7. DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO DO CABO REPRESENTANTE

Para cabos circulares:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{x}{R-y} \right), \text{ sendo } R = \frac{x^2 + y^2}{2 \cdot y} \geq 12 \text{ m}$$

Para cabos parabólicos:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot y}{x} \right), \text{ sendo } y \text{ a diferença de nível entre o início e o fim do cabo}$$

Trajeto: Circular $\Rightarrow R = 6728,09 \text{ cm}$

Seção	x (m)	y (cm)	α (°)	α (rad)
S1	0	80,87	2,23	0,039
S2	2,6	45,37	2,22	0,0388
S3	5,2	20,12	2,22	0,0387
S4	7,8	5,03	2,21	0,0387
S5	10,4	0	0	0
S6	13	0	0	0
S7	15,6	0	0	0
S8	18,2	5,03	2,21	0,0387
S9	20,8	20,12	2,22	0,0387
S10	23,4	45,37	2,22	0,0388
S11	26	80,87	2,23	0,039

8. CÁLCULO DE P_0 (força de protensão que atua logo após a montagem final da peça) - perdas imediatas

$$P_0 = P_i - \Delta P_{\text{atrito}} - \Delta P_{\text{ancoragem}} - \Delta P_{\text{encurtamento do concreto}}$$

$\mu = 0,2$ coeficiente de atrito entre cordoalhas e bainha metálica

$\beta = 0,01 \cdot \mu \Rightarrow$ Atrito parasitário

$\beta = 0,002 \text{ rad/m}$

8.1. Perda por atrito

Seção	Δx (m)	$\Delta \alpha$ (rad)	$-(\mu \cdot \Delta \alpha + \beta \cdot \Delta x)$	σ_p	P (kN)
-------	----------------	-----------------------	---	------------	--------



Seção	X (m)	$\Delta\sigma$ (kg)	σ_p (kg)	σ_p (kN/cm ²)	P (kN)
S1	0	0	1	140,22	4692,04
S2	2,6	0,0390	0,987	138,41	4631,44
S3	5,2	0,0778	0,974	136,63	4571,77
S4	7,8	0,1165	0,962	134,87	4512,99
S5	10,4	0,1552	0,949	133,14	4455,01
S6	13	0,1552	0,945	132,45	4431,90
S7	15,6	0,1552	0,940	131,76	4408,91
S8	18,2	0,1939	0,928	130,07	4352,27
S9	20,8	0,2326	0,916	128,39	4296,30
S10	23,4	0,2714	0,904	126,74	4240,96
S11	26	0,3104	0,892	125,10	4186,18

8.2. Perda por deslizamento da ancoragem

$$\Omega = \Delta \ell \cdot E_p$$

$$E_p = 200 \text{ GPa}$$

$$\Omega = 12000 \text{ kN/cm}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{n-1} - \sigma_n$$

$$X_T = X_{n-1} + X_n$$

$$\Omega_n = \Omega_{n-1} + \Delta\sigma \cdot X_T$$

Seção	X (cm)	$\sigma_{p-\text{atrito}}$ (kN/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kN/cm ²)	X_T (cm)	Ω_n (kN/cm)	$\sigma_{p-\text{ancoragem}}$ (kN/cm ²)	P (kN)
S1	0	140,22	0	0	0	122,59	4102,16
S2	260	138,41	1,81	260	470,91	124,40	4162,77
S3	520	136,63	1,78	780	1861,63	126,19	4222,43
S4	780	134,87	1,76	1300	4145,55	127,94	4281,22
S5	1040	133,14	1,73	1820	7299,11	129,68	4339,20
S6	1300	132,45	0,69	2340	8914,90	130,37	4362,30
S7	1560	131,76	0,69	2860	10879,52	131,05	4385,29
S8	1820	130,07	1,69	3380	16601,08	130,07	4352,27
S9	2080	128,39	1,67	3900	23123,85	128,39	4296,30
S10	2340	126,74	1,65	4420	30434,34	126,74	4240,96
S11	2600	125,10	1,64	4940	38521,49	125,10	4186,18

Nota-se que os pontos indeslocáveis à ancoragem estão situados entre as seções S7 e S8
Situação A do método de Marconato (2015):

$$\tan \theta = \frac{\sigma_{pos} - \sigma_{ant}}{\dots}$$



$$tg\theta = \frac{X_{pos} - X_{ant}}{X_R} = -0,00651$$

$$X_R = \sqrt{X_{ant}^2 + \frac{\Omega_{ant} - \Omega_R}{tg\theta}} \Rightarrow (\text{posição do ponto indeslocável à ancoragem})$$
$$X_R = 1614,22 \text{ cm}$$

$$\sigma_R = \sigma_{ant} + (X_R - X_{ant}) \cdot tg\theta \Rightarrow (\text{tensão na armadura no ponto indeslocável à ancoragem})$$
$$\sigma_R = 131,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{p-ancoragem} = \begin{cases} se X > X_R \rightarrow \sigma_{p-ancoragem} = \sigma_{p-atrito} \\ se X \leq X_R \rightarrow \sigma_{p-ancoragem} = 2 \cdot \sigma_R - \sigma_{p-atrito} \end{cases}$$

8.3. Perda por encurtamento elástico do concreto devido a protensão dos cabos restantes

$$\alpha_p = \frac{E_p}{E_{ci,j}}$$

$$E_{ci,28} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \Rightarrow \text{Concretos do Grupo I (C20 - C50)}$$

$$E_{ci,28} = 21500 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow \text{Concretos do Grupo II (C55 - C90)}$$

$$\alpha_E = 1,2 \text{ para agregado basalto}$$

$$\alpha_E = 1,0 \text{ para agregado granito}$$

$$\alpha_E = 0,9 \text{ para agregado calcário}$$

$$\alpha_E = 0,7 \text{ para agregado arenito}$$

$$\alpha_E = 1$$

$$E_{ci,28} = 35417,51 \text{ MPa}$$

$$f_{cj} = \beta_1 \cdot f_{ck}$$

$$\beta_{1,t} = e^{\left[s \left(1 - (28/t)^{1/2} \right) \right]}$$

$$s = 0,38 \text{ (CP III e CP IV)}$$

$$s = 0,25 \text{ (CP I e CP II)}$$

$$s = 0,20 \text{ (CP V-ARI)}$$

$$s = 0,20$$

$$t = 5 \text{ dias}$$

$$\beta_{1,t} = 0,7609$$

$$f_{cj} = 30,43 \text{ MPa}$$

$$E_{ci,t} = \left[\frac{\beta_{1,t} \cdot f_{ck}}{f_{ck}} \right]^{0,5} \cdot E_{ci,28}$$



$$E_{ci,t} = 30894,04 \text{ MPa}$$

$$\alpha_p = 6,47$$

$$\Delta\sigma_{p,médio} = \alpha_p \cdot \left(\frac{N_p}{A_c} + \frac{N_p \cdot e_p^2}{I_x} - \frac{|M_{pp,k}| \cdot e_p}{I_x} \right) \cdot \frac{(n-1)}{2 \cdot n} \Rightarrow n = \text{Nº de cabos}$$

$$N_p = P \cdot \cos \alpha$$

$$M_p = N_p \cdot e_p$$

Se $|M_{pp,k}| < |M_p|$, $M_{pp,k}$ é mobilizado

Seção	X (m)	e_p (cm)	N_p (kN)	M_p (kN.cm)	$M_{pp,k}$ (kN.cm)	$M_{pp,k}$ é mobilizado?	$\Delta\sigma_{p,médio}$ (kN/cm ²)
S1	0	0	4099,04	0	0	Não	1,418
S2	2,6	35,5	4159,63	147662,74	0	Não	2,064
S3	5,2	60,74	4219,27	256280	0	Não	3,315
S4	7,8	75,84	4278,02	324444,08	0	Não	4,414
S5	10,4	80,87	4339,20	350890,87	0	Não	4,884
S6	13	80,87	4362,30	352759,33	0	Não	4,910
S7	15,6	80,87	4385,29	354618,11	0	Não	4,936
S8	18,2	75,84	4349,02	329828,68	0	Não	4,487
S9	20,8	60,74	4293,09	260763,86	0	Não	3,373
S10	23,4	35,5	4237,76	150436,4	0	Não	2,102
S11	26	0	4183,00	0	0	Não	1,447

Seção	σ_{p0} (kN/cm ²)	P (kN)	% de perda
S1	121,17	4054,73	13,58
S2	122,34	4093,72	12,75
S3	122,87	4111,49	12,37
S4	123,53	4133,52	11,90
S5	124,79	4175,76	11,00
S6	125,46	4197,99	10,53
S7	126,12	4220,11	10,06
S8	125,58	4202,13	10,44
S9	125,02	4183,42	10,84
S10	124,64	4170,61	11,11
S11	123,66	4137,77	11,81

9. CÁLCULO DE P_{∞} (força de protensão que atua após todas as perdas) - PERDAS DIFERIDAS NO TEMPO



As perdas de protensão diferidas no tempo são avaliadas conjuntamente pela expressão:

$$\Delta\sigma_p(t, t_0) = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_p - \alpha_p \cdot \sigma_{c, P0g} \cdot \phi(t, t_0) - \sigma_{P0} \cdot \chi(t, t_0)}{\chi_p + \chi_c \cdot \alpha_p \cdot \eta \cdot \rho_p}$$

9.1. Cálculo de α_p

$$\alpha_p = \frac{E_p}{E_{cl,28}}$$
$$\alpha_p = 5,65$$

9.2. Cálculo de $\sigma_{c, P0g}$

$$\sigma_{c, P0g} = \frac{N_p}{A_c} + \frac{N_p \cdot e_p^2}{I_x} - \frac{|M_{gk}| \cdot e_p}{I_x}$$

Seção	N_p (kN)	M_{gk} (kN.cm)	e_p (cm)	$\sigma_{c, P0g}$ (kN/cm ²)
S1	4051,64	0	0	0,649
S2	4090,63	0	35,5	0,940
S3	4108,41	0	60,74	1,496
S4	4130,44	0	75,84	1,975
S5	4175,76	0	80,87	2,178
S6	4197,99	0	80,87	2,190
S7	4220,11	0	80,87	2,201
S8	4198,99	0	75,84	2,008
S9	4180,29	0	60,74	1,522
S10	4167,47	0	35,5	0,958
S11	4134,63	0	0	0,663

9.3. Cálculo de $\varepsilon_{cs}(t, t_0)$

A idade fictícia inicial para a retração é:

$$t_0 = \alpha \cdot \sum_i \left(\frac{T_i + 10}{30} \right) \cdot \Delta t_{ef, i}$$

$$t_\infty = 10000 \text{ dias}$$

$$\alpha = 1$$

$$T_i = 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{ef, i} = 5 \text{ dias}$$

$$t_0 = 5,83 \text{ dias}$$



$$h_{f/c} = \gamma \cdot \frac{2 \cdot A_c}{u_{ar}}$$

$$\gamma = 5$$

$$h_{f/c} = 74,41 \text{ cm} \Rightarrow 0,7441 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{cs, \infty} \cdot [\beta_s(t_\infty) - \beta_s(t_0)]$$

$$\varepsilon_{cs, \infty} = \varepsilon_{1s} \cdot \varepsilon_{2s}$$

$$\varepsilon_{1s} = -0,00031$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \cdot h_{f/c}}{20,8 + 3 \cdot h_{f/c}}$$

$$\varepsilon_{2s} = 0,7451$$

$$\varepsilon_{cs, \infty} = -0,000231$$

$$\beta_s(t_0) = 0,0100$$

$$\beta_s(t_\infty) = 0,9911 \quad \left. \vphantom{\beta_s(t_\infty)} \right\} \text{Ábaco A.3 (ABNT NBR 6118:2014)}$$

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = -0,0002266$$

9.4. Cálculo de $\phi(t_\infty, t_0)$

A idade fictícia inicial para a fluência é:

$$t_0 = \alpha \cdot \sum_i \left(\frac{T_i + 10}{30} \right) \cdot \Delta t_{ef, i}$$

$$t_\infty = 10000 \text{ dias}$$

$$\alpha = 3$$

$$T_i = 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{ef, i} = 5 \text{ dias}$$

$$t_0 = 17,5 \text{ dias}$$

$$\phi(t_\infty, t_0) = \phi_{d\infty} \cdot \beta_d(t_\infty, t_0) + \phi_{f\infty} \cdot [\beta_f(t_\infty) - \beta_f(t_0)] + \phi_a$$

$$\phi_{d\infty} = 0,4$$

$$\phi_{f\infty} = \phi_{1c} \cdot \phi_{2c} \Rightarrow \text{Grupo I (C20 - C50); } \phi_{f\infty} = 0,45 \cdot \phi_{1c} \cdot \phi_{2c} \Rightarrow \text{Grupo II (C55 - C90)}$$

$$\phi_{1c} = 1,6$$

$$\phi_{2c} = \frac{42 + h_{f/c}}{20 + h_{f/c}}$$

$$\phi_{2c} = 1,233$$

$$\phi_{f\infty} = 1,9728$$

$$\beta_d(t_\infty, t_0) = \frac{t - t_0 + 20}{t - t_0 + 70}$$

$$\beta_d(t_\infty, t_0) = 0,995$$

$$\beta_{1, t_\infty} = e^{\left\{ \left[1 - (28/t_\infty)^{1,2} \right] \right\}}$$

$$\beta_{1, t_\infty} = 1,2085$$



$$\phi_a = 0,8 \cdot \left[1 - \frac{f_c(t_0)}{f_c(t_\infty)} \right] \Rightarrow \text{Grupo I (C20 - C50)}; \phi_a = 1,4 \cdot \left[1 - \frac{f_c(t_0)}{f_c(t_\infty)} \right] \Rightarrow \text{Grupo II (C55 - C90)}$$

$$\phi_a = 0,2963$$

$$\beta_f(t_0) = 0,2613$$

$$\beta_f(t_\infty) = 0,9500 \quad \left. \vphantom{\beta_f(t_0)} \right\} \text{Ábaco A.2 (ABNT NBR 6118:2014)}$$

$$\delta(t_\infty, t_0) = 2,053$$

9.5. Cálculo de $\chi(t, t_0)$

$$\chi(t, t_0) = -\ln[1 - \psi(t, t_0)]$$

$$R = \frac{\sigma_{p0, \max}}{f_{ptk}}$$

$$\sigma_{p0, \max} = 126,12 \text{ kN/cm}^2$$

$$R = 0,6638$$

$$\psi_{1000} = 2,0653\%$$

$$\psi(t_\infty, t_0) = 2,5 \cdot \psi_{1000}$$

$$\psi(t_\infty, t_0) = 5,1631\%$$

$$\chi(t, t_0) = 0,053$$

9.6. Cálculo de χ_p

$$\chi_p = 1 + \chi(t, t_0)$$

$$\chi_p = 1,053$$

9.7. Cálculo de χ_c

$$\chi_c = 1 + 0,5 \cdot \phi(t, t_0)$$

$$\chi_c = 2,0265$$

9.8. Cálculo de η

$$\eta = 1 + \frac{e_p^2 \cdot A_c}{I_c}$$

Seção	e_p (cm)	η
S1	0	1
S2	35,5	1,4346
S3	60,74	2,2723
S4	75,84	2,9834
S5	80,87	3,255
S6	80,87	3,255



S7	80,87	3,255
S8	75,84	2,9834
S9	60,74	2,2723
S10	35,5	1,4346
S11	0	1

9.9. Cálculo de ρ_p

$$\rho_p = \frac{A_p}{A_c}$$
$$\rho_p = 0,005363$$

9.10. Cálculo das perdas diferidas

Seção	$\Delta\sigma_p(t_x, t_0)$ (kN/cm ²)	$\sigma_{p,\infty} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_p(t_x, t_0) $ (kN/cm ²)	% de perda total	P_∞ (kN)
S1	-16,586	104,588	25,41	3499,71
S2	-19,211	103,129	26,45	3450,89
S3	-23,808	99,062	29,35	3314,83
S4	-27,486	96,043	31,51	3213,80
S5	-29,056	95,735	31,72	3203,49
S6	-29,191	96,264	31,35	3221,20
S7	-29,326	96,791	30,97	3238,81
S8	-27,881	97,698	30,33	3269,17
S9	-24,158	100,862	28,07	3375,05
S10	-19,497	105,140	25,02	3518,21
S11	-16,843	106,813	23,82	3574,18

10. ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE FLEXÃO (ELU)

10.1. Cálculo do momento fletor solicitante de cálculo

Para pontes rodoviárias:

$$M_{sd} = \gamma_g \cdot M_{gk} + \phi \cdot \gamma_q \cdot M_{qk}$$

$\phi = 1,35 \Rightarrow$ Para vãos até 10 m

$$\phi = 1 + 1,06 \cdot \left(\frac{20}{\ell + 50} \right) \Rightarrow \text{Para vãos entre 10 m e 200 m} \Rightarrow \ell: \text{Comprimento da peça}$$

Para outros casos:

$$M_{sd} = \gamma_g \cdot M_{gk} + \gamma_q \cdot M_{qk}$$

$$\gamma_g = 1,35$$

$$\gamma_q = 1,5$$



$$\phi = 1,28$$
$$M_{Sd} = 629171,05 \text{ kN.cm}$$

10.2. Limites dos domínios de deformação

$$d_p = 137,5 \text{ cm}$$

$$x_{2lim} = \frac{\varepsilon_c \cdot d_p}{10 + \varepsilon_c}$$

Valores de ε_c :

$$\text{Concretos Grupo I (C20 - C50)} \Rightarrow \varepsilon_c = 3,5\text{‰} \therefore x_{2lim} = \frac{3,5 \cdot d_p}{10 + 3,5} = 0,259 \cdot d_p$$

$$\text{Concretos Grupo II (C55 - C100)} \Rightarrow \varepsilon_c = 2,6\text{‰} + 35\text{‰} \cdot \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \therefore \text{Calcula-se } x_{2lim} \text{ conforme } f_{ck}$$

$$\varepsilon_c = 0,0035$$

$$x_{2lim} = 35,65 \text{ cm}$$

$$\beta_{x_{2lim}} = \frac{x_{2lim}}{d_p}$$

$$\beta_{x_{2lim}} = 0,259$$

Valores de x_{lim} :

$$\text{Concretos Grupo I (C20 - C50)} \Rightarrow x_{lim} = 0,45 \cdot d_p \therefore \beta_{x_{lim}} = \frac{0,45 \cdot d_p}{d_p} = 0,45$$

$$\text{Concretos Grupo II (C55 - C100)} \Rightarrow x_{lim} = 0,35 \cdot d_p \therefore \beta_{x_{lim}} = \frac{0,35 \cdot d_p}{d_p} = 0,35$$

$$x_{lim} = 61,88 \text{ cm}$$

$$\beta_{x_{lim}} = 0,45$$

10.3. Cálculo da profundidade da linha neutra

$$M_{Sd} = b_f \cdot \lambda \cdot x \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (d_p - 0,5 \cdot \lambda \cdot x)$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$a = -0,5 \cdot b_f \cdot \lambda^2 \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}$$

$$b = b_f \cdot \lambda \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot d_p$$

$$c = -M_{Sd}$$

Valores de λ :

$$\text{Concretos Grupo I (C20 - C50)} \Rightarrow \lambda = 0,8$$

$$\text{Concretos Grupo II (C55 - C100)} \Rightarrow \lambda = 0,8 - \frac{(f_{ck} - 50)}{100}$$



$$\lambda = 0,8$$

$$400$$

Valores de α_c :

Concretos Grupo I (C20 - C50) $\Rightarrow \alpha_c = 0,85$

$$\text{Concretos Grupo II (C55 - C100)} \Rightarrow \alpha_c = 0,85 \cdot \left[1 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200} \right]$$

$$\alpha_c = 0,85$$

$$x = 10,11 \text{ cm} \Rightarrow \text{Domínio 2}$$

$$0,8 \cdot x = 8,09 \text{ cm} < h_f = 10 \text{ cm} \Rightarrow \text{T falsa}$$

$$\beta_x = \frac{x}{d_p}$$

$$\beta_x = 0,07 < 0,45 \Rightarrow \text{Ok}$$

Valores de ε_s

$$\text{Domínio 2: } \varepsilon_s = 10\text{‰}$$

$$\text{Domínio 3: } \varepsilon_s = \varepsilon_c \cdot \frac{(d_p - x)}{x} \Rightarrow \varepsilon_s = 3,5\text{‰}$$

$$\varepsilon_s = 0,01$$

10.4. Cálculo do pré-alongamento

Adotar o valor da seção que tem o momento fletor solicitante máximo:

$$\sigma_{p, \text{toe}} = 9906,249 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_p = 0,005074 \Rightarrow \text{Tabela 6.1 - Livro Prof. Roberto Chust Carvalho}$$

10.5. Cálculo de ε_t e σ_{pd}

$$\varepsilon_t = \varepsilon_p + \varepsilon_s$$

$$\varepsilon_t = 0,015074$$

$$\sigma_{pd} = 150,73 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \text{Tabela 6.1 - Livro Prof. Roberto Chust Carvalho}$$

10.6. Cálculo da armadura ativa necessária

$$A_{p, \text{nec}} = \frac{M_{sd}}{\sigma_{pd} \cdot (d_p - 0,5 \cdot \lambda \cdot x)}$$

$$A_{p, \text{nec}} = 31,28 \text{ cm}^2 < 33,46 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Não é necessário recalcular as perdas}$$



3.4.1.3 Armadura ativa adotada

- 3 cabos com 11 cordoalhas de 12,7mm, aço CP 190-RB

3.4.1.4 Armadura passiva adotada

- Armadura longitudinal
 - $A_{s\text{inferior apoio e vão}} = 6 \varphi 16,0\text{mm}$
 - $A_{s\text{inferior apoio e vão}} = 6 \varphi 20,0\text{mm}$
- Armadura transversal
 - $A_{s\text{apoio}} = 2 \text{ ramos } \varphi 10,0\text{mm c/ } 10,0\text{cm}$
 - $A_{s\text{vão}} = 2 \text{ ramos } \varphi 8,0\text{mm c/ } 10,0\text{cm}$
 - $A_{s\text{vão}} = 2 \text{ ramos } \varphi 8,0\text{mm c/ } 15,0\text{cm}$
 - $A_{s\text{vão}} = 2 \text{ ramos } \varphi 8,0\text{mm c/ } 20,0\text{cm}$

3.4.1.5 Verificação da estabilidade lateral para as vigas pré-moldadas

Neste item serão apresentados os tópicos de algumas das principais normas técnicas que fazem menção à verificação da estabilidade lateral de vigas de concreto.

3.4.1.5.1 ABNT NBR 9062:2017

A atual ABNT NBR 9062:2017 não apresenta nenhuma recomendação sobre instabilidade lateral para vigas pré-moldadas. Apenas indica que devem ser consideradas as fases de carregamentos definidas no item 5.2.1.4, que se encontra a seguir:



5.2.1.4 A análise deve ser efetuada considerando todas as fases por que possam passar os elementos, os quais sejam suscetíveis a condições desfavoráveis quanto aos estados limites último e de serviço previstas na ABNT NBR 6118. As fases frequentes que exigem dimensionamento e verificação dos elementos são:

- a) de fabricação;
- b) de manuseio;
- c) de armazenamento;
- d) de transporte;
- e) de montagem;
- f) de construção (preliminar e final).

Figura 46 – Item 5.2.1.4 da ABNT NBR 9062:2017, pág. 7

Porém, a versão anterior da norma de projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado ABNT NBR 9062:2001 no item “6.1.1 Estabilidade lateral de vigas” recomendava que o espaçamento de escoramentos laterais, posicionados entre os apoios da viga, deveria atender a equação:

$$\frac{L}{b_f} \leq 50$$

Onde L é a distância entre travamentos transversais efetivos e b_f é a largura da mesa comprimida.

Para prevenir a ruptura por instabilidade lateral de vigas bi apoiadas a ABNT NBR 9062:2001 recomendava a seguinte verificação, no item 6.1.1.2:

$$\frac{L \cdot h}{b_f^2} \leq 500$$

Onde h é a altura total da viga.

Nas situações transitórias a ABNT NBR 9062:2001 recomendava a verificação do item 6.1.1.5 através da seguinte equação:

$$\frac{h_m}{a} \geq 2$$

Sendo h_m a menor dimensão entre h_s e h_i , e a igual a flecha da peça girada de 90°.

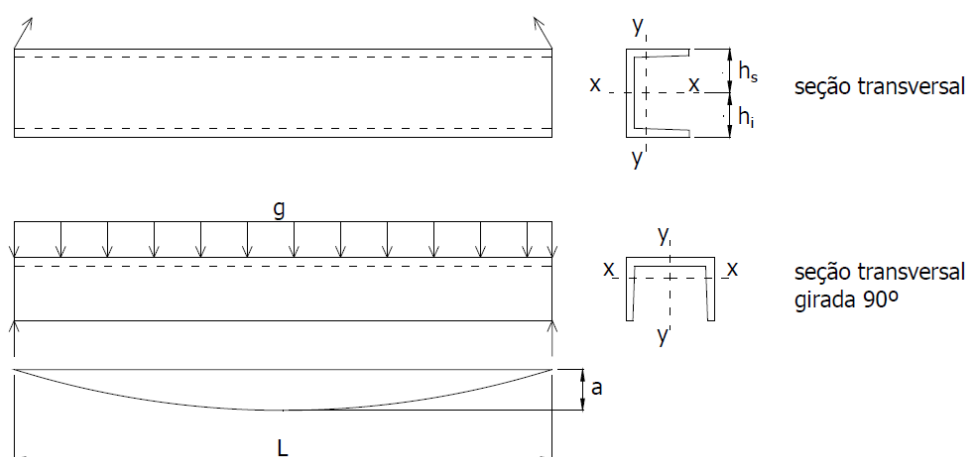


Figura 47 – Dimensões para a verificação da estabilidade lateral

Para obter o valor da flecha “a” foi modelada uma viga em elementos de placa no software STRAP. Abaixo são apresentados os resultados:

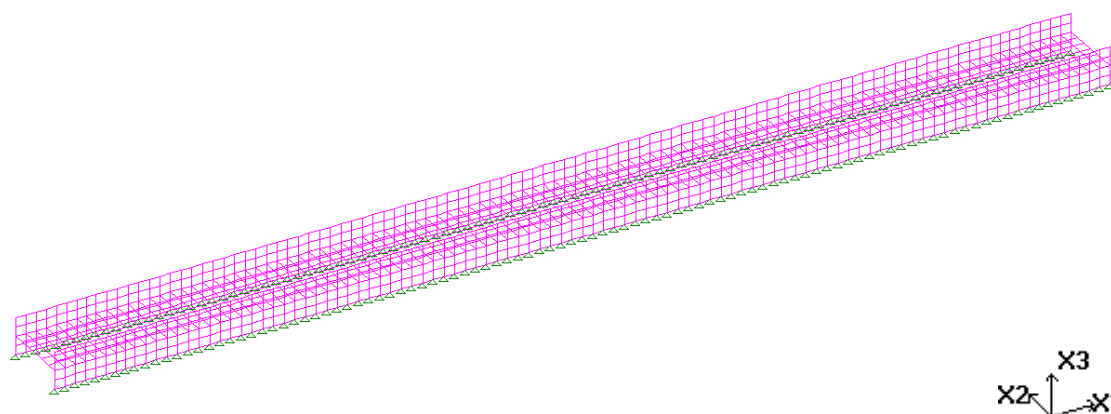


Figura 48 – Modelo da viga pré-moldada em elementos de placa, girada em 90°

A seguir serão apresentados detalhes dos furos de içamento das vigas pré-moldadas protendidas. Esses furos compreendem a distância entre travamentos efetivos, conforme especificado no item “6.1.1 Estabilidade lateral de vigas” da ABNT NBR 9062:2006, na falta de cálculo rigoroso, para o saque, manuseio e montagem, pode-se adotar o prescrito na ABNT NBR 6118, considerando, para verificação, o vão compreendido entre os pontos de içamento.

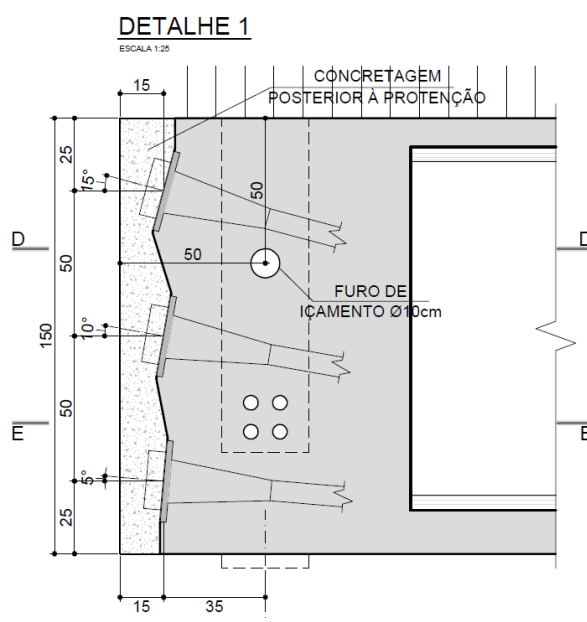


Figura 49 – Posição do furo de içamento

**Dados de entrada:**

L = 25,00 m	(distancia entre travamentos transversais efetivos)
b _f = 2,40 m	(largura da mesa comprimida)
h = 1,50 m	(altura total da viga)
h _s = 0,850 cm	h _i = 0,650 cm
a = 0,000294 cm	β _{fi} = 0,40 (coeficiente que depende da seção transversal da viga)
d = 1,4475 m	

ABNT NBR 9062:2006

$\frac{L}{b_f} \leq 50$	10,42	≤	50
$\frac{L \cdot h}{b_f^2} \leq 500$	6,51	≤	500
$\frac{h_m}{a} \geq 2$	2210,88	>	2

Portanto, todos os critérios foram atendidos para a ABNT NBR 9062:2006.

3.4.1.5.2 ABNT NBR 6118:2014

A norma brasileira de projeto de estruturas de concreto ABNT NBR 6118:2014, em seu item “15.10 Instabilidade lateral de vigas”, faz menção a um procedimento aproximado para verificação da estabilidade lateral de vigas de concreto armado ou protendido, podendo-se adotar as seguintes condições:

$b \geq \ell_0 / 50$
 $b \geq \beta_{fl} h$
 onde
 b é a largura da zona comprimida;
 h é a altura total da viga;
 ℓ_0 é o comprimento do flange comprimido, medido entre suportes que garantam o contra-ventamento lateral;
 β_{fl} é o coeficiente que depende da forma da viga (ver Tabela 15.1).

 Tabela 15.1 – Valores de β_{fl}




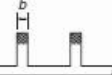
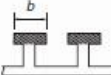

Tipologia da viga	Valores de β_{fl}
  	0,40
 	0,20
onde  Zona comprimida	

Figura 50 – Item “15.10 Instabilidade lateral de vigas”, pág. 114

ABNT NBR 6118:2014

$$\begin{aligned}
 \frac{L}{50} &\leq b & 0,50 \text{ m} &\leq 2,40 \text{ m} \\
 \beta_{fl} \cdot h &\leq b & 0,60 \text{ m} &\leq 2,40 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Portanto, todos os critérios foram atendidos para a ABNT NBR 6118:2014.

3.4.1.5.3 ACI 318

No item 10.4 o ACI 318 (2008) limita o espaçamento (L) entre apoios laterais a no máximo 50 vezes a menor largura (b_f) da face comprimida.

ACI 318

$$50 \cdot b_f \geq L \quad 120,00 \text{ m} > 25,00 \text{ m}$$



Além disso, estabelece que “efeitos de excentricidade lateral da carga devem ser considerados na determinação dos espaçamentos de apoios laterais.” No entanto Hurff e Kahn (2012) afirmam que não existe norma técnica que apresente uma metodologia para levar em conta a excentricidade lateral da carga.

A norma americana destaca, no item 16.9, que nas fases transitórias as solicitações não devem provocar tensões permanentes, deformações, fissuração e deslocamentos que ultrapassem suas recomendações.

Portanto, todos os critérios foram atendidos para a ACI 318.

3.4.1.5.4 BS:8110

O código de práticas para uso estrutural do concreto BS:8110 (2007) aborda o tema da estabilidade lateral de vigas através da relação entre limite de esbeltez e distância entre restrições laterais L no seu item 3.4.1.6. A recomendação para vigas bi apoiadas do código é a seguinte:

$$L \leq \begin{cases} 60 \cdot b_f \\ \frac{250 \cdot b_f^2}{d} \end{cases}$$

BS:8110

$$L \leq \begin{cases} 60 \cdot b_f \\ \frac{250 \cdot b_f^2}{d} \end{cases} \quad 25,00 \text{ m} \quad \begin{matrix} \leq & 144,00 \text{ m} \\ \leq & 994,82 \text{ m} \end{matrix}$$



3.4.1.5.5 EUROCODE 2

As verificações de estabilidade lateral da norma europeia, em seu item 5.9, são diferentes para situações definitivas e transitórias, apresentando valores limites maiores para as etapas temporárias como transporte e içamento.

O EUROCODE 2 (2004) estabelece que efeitos de segunda ordem em vigas, relacionados à instabilidade, podem ser desprezados:

EUROCODE 2

Situação definitiva:

$$\frac{L}{b_f} \leq \frac{50}{h/b_f^{1/3}} \quad 10,42 \leq 58,48$$

$$\frac{h}{b_f} \leq 2,5 \quad 0,63 \leq 2,50$$

Situação transitória:

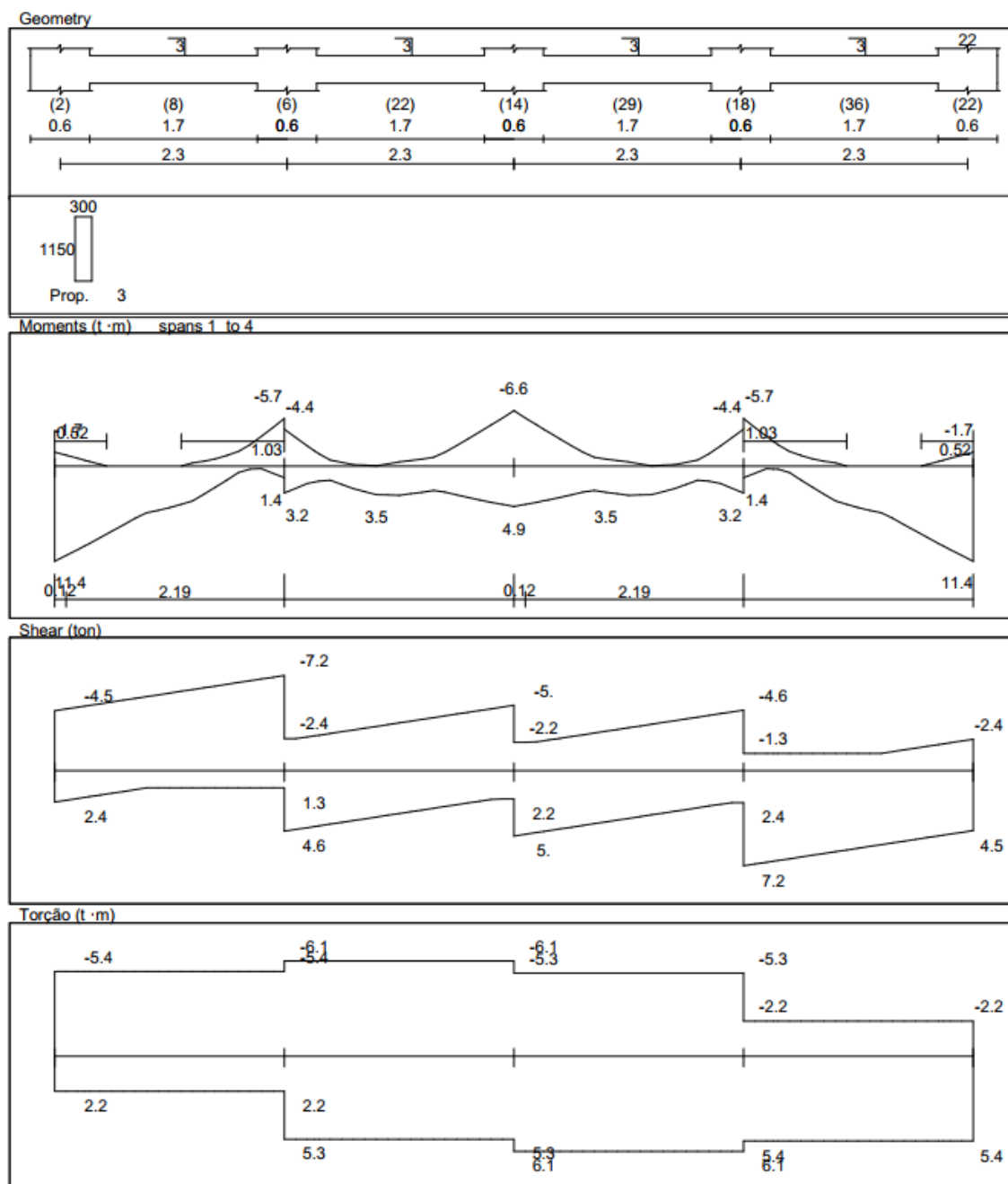
$$\frac{L}{b_f} \leq \frac{70}{h/b_f^{1/3}} \quad 10,42 \leq 81,87$$

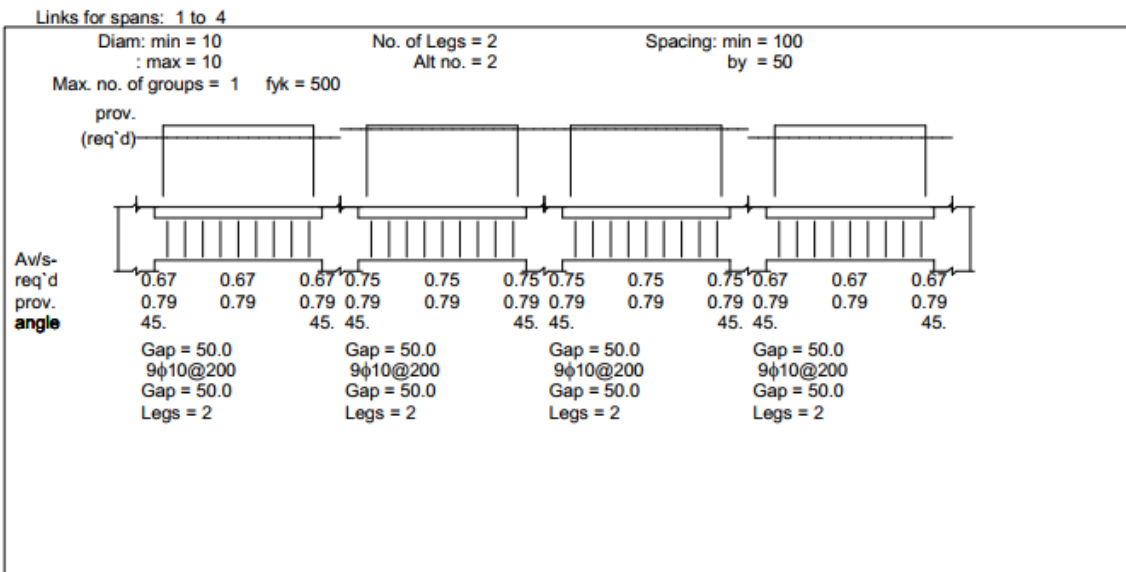
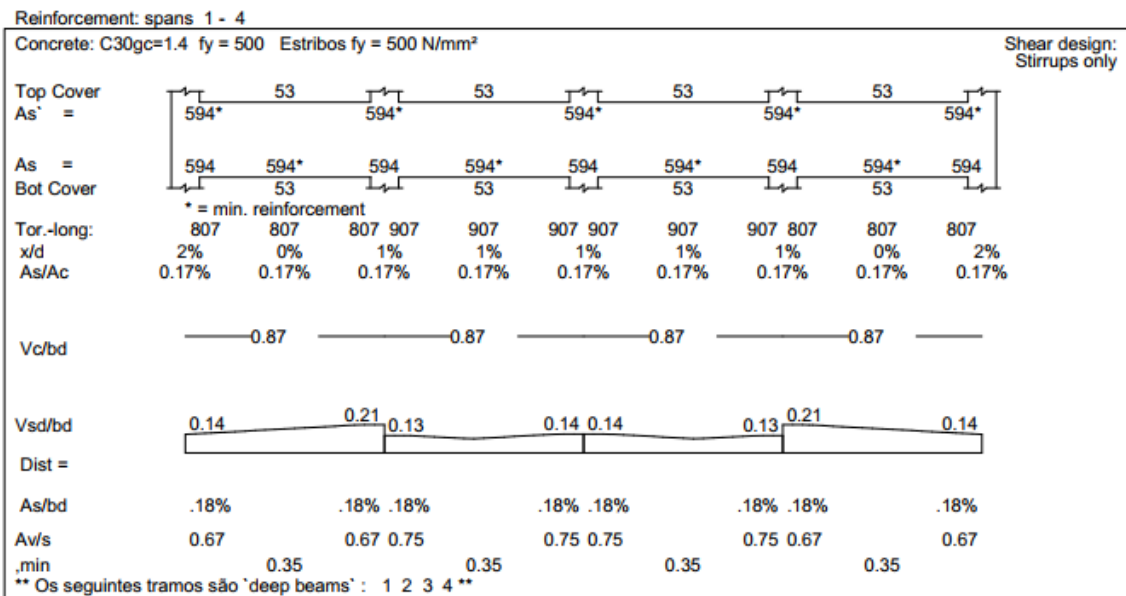
$$\frac{h}{b_f} \leq 3,5 \quad 0,63 \leq 3,50$$

Portanto, todos os critérios foram atendidos para a EUROCODE 2.



3.4.2 Transversinas







Deslocamentos: Tramo 1 4

As' =	0	0	0	0
As =	595	595	595	595
$\delta(\text{elástico}) =$	0.04534	-0.03154	-0.03154	0.04534
$\delta \cdot E / (EI)_{\text{novo}} =$	0.04694	-0.03265	-0.03265	0.04694
lo =	0.03802	0.03802	0.03802	0.03802
lr =	0.00461	0.00461	0.00461	0.00461
Mr =	28.72	28.72	28.72	28.72
Ma,g =	4.4	2.01	2.01	4.4
Ma,g+q =	5.35	2.44	2.44	5.35
Ma,sust =	4.78	2.18	2.18	4.78
leq,g =	0.03802	0.03802	0.03802	0.03802
leq,g+q =	0.03802	0.03802	0.03802	0.03802
leq,sust =	0.03802	0.03802	0.03802	0.03802
e/1+50r =	1.98	1.98	1.98	1.98
di,g =	0.027	-0.019	-0.019	0.027
di,q =	0.006	-0.004	-0.004	0.006
dt,sust =	0.058	-0.040	-0.040	0.058
di,q =	L****	L****	L****	L****
di,q+dt =	L****	L****	L****	L****

Deformação imediata: aplicar 100% de perm; 100% de acid
Deformação de longa duração:
- Longa duração : 100% de perm; 40 % de acid
- Duração da carga: 60 meses
Fat. de perm= 1.4 Fat. de acid= 1.6 Perm./Total= 0.8
fr = 0.29 Ec = 30672 Es= 210000

- Armadura longitudinal
 - $A_{s\text{inferior}} = 4 \varphi 10,0\text{mm}$
 - $A_{s\text{superior}} = 4 \varphi 10,0\text{mm}$
- Armadura transversal
 - $A_{s\text{apoio e vão}} = 2 \text{ ramos } \varphi 10,0\text{mm } c/15,0\text{cm}$

3.4.3 Laje principal

Para o cálculo dos esforços da laje principal utilizou-se o método de Rüsçh, com o auxílio do aplicativo T-Rüsçh.

As principais características do programa são:

- Busca das tabelas de forma automática, de acordo com as características das lajes;

- Cálculo dos esforços para o trem tipo TB-450 de acordo com a NBR 7188:2013;
- Saída gráfica para os diagramas de momentos fletores;
- Memória de cálculo em formato HTML.

A janela principal do aplicativo é organizada de uma forma prática, onde o usuário tem acesso rápido a todas as entradas de dados e saída de resultados.

TRüsch 1.0

Arquivo Opções Resultados Sobre

Dimensões:

$l_x = 2,30$ m

$l_y = \infty$ m

$t = 0,32$ m

$a = 2$ m

Vinculações:

Borda superior: Indefinida

Borda inferior: Indefinida

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Apoiada

Direção do tráfego: ☒ ☐

Coefficiente de Impacto (ϕ): 1,278

Calcular Mxm Mym Mxe

l_x/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,155	0,116	0,066	0,05	0,0	0,0
1,0	0,24	0,19	0,148	0,096	0,01	0,0
1,5	0,362	0,313	0,254	0,189	0,09	0,0
2,0	0,475	0,428	0,36	0,295	0,18	0,1
2,5	0,58	0,52	0,451	0,385	0,33	0,2
3,0	0,63	0,6	0,53	0,466	0,4	0,45
4,0	0,75	0,72	0,66	0,59	0,6	1,55
5,0	0,84	0,82	0,76	0,69	0,93	3,06
6,0	0,91	0,89	0,83	0,77	1,4	5,3
7,0	0,97	0,96	0,89	0,83	2,2	5,4
8,0	1,02	1,01	0,97	0,88	3,3	12,1
9,0	1,06	1,05	0,98	0,92	4,6	15,8
10,0	1,09	1,08	1,01	0,95	6,0	19,5

Resultados:

Tabela Utilizada: 14

Cargas Móveis:

$M_L=0,263$

$M_p=0,034$

$M_{p'}=0,000$

$M_{xm}=2,540$ tf.m/m

Cargas Permanentes:

$k_{xm}=0,062$

$M_{xm}=0,222$ tf.m/m

Figura 51 – Tela de entrada aplicativo T-Rüsch



Os esforços são calculados a partir de coeficientes indicados nas tabelas, que são escolhidas de forma automática de acordo com a relação entre os vãos da laje, vinculações e direção do tráfego.

O programa possui uma saída gráfica para os diagramas de momentos fletores, onde são indicados os diagramas devidos aos carregamentos móvel e permanente.

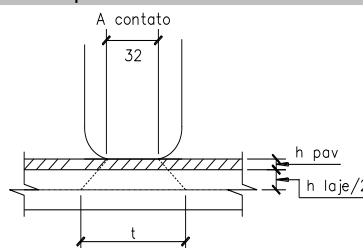
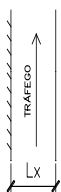
O programa exibe uma memória de cálculo em formato HTML, onde são exibidas todas as tabelas utilizadas, as contas que foram feitas para a determinação dos momentos e os diagramas.


DADOS DE ENTRADA:

$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$	
Trem tipo = 45 t	$a = 2,00 \text{ m}$ (distância entre eixos do veículo tipo)
$P = 7,5 \text{ t}$	$p' = 0,50 \text{ t/m}^2$ (lados) $0,50 \text{ t/m}^2$ (frente e atrás)
$h_{\text{laje}} = 0,220 \text{ m}$	$A_{\text{contato}} = 0,32 \text{ m}$ (A_{contato} : segundo tabela 3 - Rusch)
	$\text{cobr} = 2,5 \text{ cm}$ (Cobrimento da armadura)
	$g_{\text{conc}} = 2,50 \text{ t/m}^3$ $\gamma_g = 1,35$
$h_{\text{pav}} + \text{recap} = 0,05 \text{ m}$ (carregamento)	$g_{\text{pav}} = 2,40 \text{ t/m}^3$ $\gamma_p = 1,50$

1) Laje engastada - apoiada Tabela Rüsch 14
1.1) Cálculo para o Mxm e Mym

$L_x = 2,30 \text{ m}$	$n_{\text{pistas}} = 2$
$L_y / L_x = \infty$	
$L_x / a = 1,15$	
$t = (h_{\text{pav}} + h_{\text{laje}}/2) * 2 + A_{\text{contato}}$	
$t = 0,640$	
$t / a = 0,320$	


Cálculo do coeficiente de impacto
 $CIV = 1,278$ ("Fator de impacto" na memória de cálculo)

 $CNF = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9$
 $CNF = 1,00$

Coeficiente de impacto = 1,278

a) Carga Permanente

 Rüsch : Mxm $\rightarrow K = 0,0625$ $Mym \rightarrow K = 0,0104$

$$g = h_{\text{pav}} * g_{\text{pav}} + h_{\text{laje}} * g_{\text{laje}}$$

$$g = 0,670 \text{ t/m}^2$$

$$M = K * g * L_x^2$$

$$M_{xm} = 0,222 \text{ tm/m}$$

$$M_{ym} = 0,037 \text{ tm/m}$$

b) Carga Móvel

 Rüsch : Mxm $\rightarrow ML = 0,263$
 $M_p = 0,034$
 $M_{p'} = 0$

 Rüsch : Mym $\rightarrow ML = 0,165$
 $M_p = 0,006$
 $M_{p'} = 0,01$

$$M = \Phi * P * ML + \Phi * p * M_p + \Phi * p' * M_{p'}$$

$$M_{xm} = 2,543 \text{ tm/m}$$

$$M_{ym} = 1,592 \text{ tm/m}$$


Dimensionamento

$$M_d = \gamma_g * M_{perm} + \gamma_p * M_{móvel}$$

$$A_s' = 0,85 * b_w * y * f_{cd} / f_{yd}$$

$$K_f = [M_p / (M_p + M_g)] * 1,39$$

$$y = d - [d^2 - M_d / (0,425 * b_w * f_{cd})]^{0,5}$$

$$A_s = A_s' * K_f$$

Mxm →

$$d = 0,189 \text{ m}$$

$$b_w = 1,00 \text{ m}$$

$$M_{xmd} = 4,11 \text{ tm}$$

$$A_s' = 5,18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_f = 1,279$$

$$A_s = 6,63 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\varnothing 12,5\text{mm}$$

$$C/ 15,00\text{cm}$$

Mym →

$$d = 0,179 \text{ m}$$

$$b_w = 1,00 \text{ m}$$

$$M_{ymd} = 2,44 \text{ tm}$$

$$A_s' = 3,21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_f = 1,359$$

$$A_s = 4,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

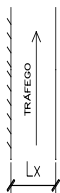
$$\varnothing 8,0\text{mm}$$

$$C/ 10,00\text{cm}$$

1.2) Cálculo para o Mxe

$$L_x = 2,30 \text{ m}$$

$$n_{pistas} = 2$$



$$L_y / L_x = \infty$$

$$L_x / a = 1,15$$

$$t = (h_{pav} + h_{laje}/2) * 2 + A_{contato}$$

$$t = 0,640$$

$$t / a = 0,320$$

Cálculo do coeficiente de impacto

$$CIV = 1,278$$

("Fator de impacto" na memória de cálculo)

$$CNF = 1 - 0,05x(n-2) > 0,9$$

$$CNF = 1,00$$

$$\text{Coeficiente de impacto} = 1,278$$

a) Carga Permanente

$$\text{Rüsch : Mxe} \rightarrow K = -0,125$$

$$g = h_{pav} * g_{pav} + h_{laje} * g_{laje}$$

$$g = 0,670 \text{ t/m}^2$$

$$M = K * g * L_x^2$$

$$M_{xe} = -0,443 \text{ t.m/m}$$

b) Carga Móvel

$$\text{Rüsch : Mxe} \rightarrow ML = 0,401$$

$$M_p = 0,015$$

$$M_{p'} = 0,260$$

$$M = \Phi * P * ML + \Phi * p * M_p + \Phi * p' * M_{p'}$$

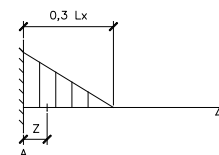
$$M_{xeA} = -4,019 \text{ tm/m}$$

c) Diagrama de Cobertura

$$Z = 0,535$$

$$M_{xez} = [(0,3 * L_x - Z) / (0,3 * L_x)] * M_{xe}$$

$$M_{xez} = -0,90 \text{ tm/m}$$




Dimensionamento

$$M_d = \gamma_g \cdot M_{\text{perm}} + \gamma_p \cdot M_{\text{móvel}}$$

$$A_s' = 0,85 \cdot b_w \cdot y \cdot f_{cd} / f_{yd}$$

$$K_f = [M_p / (M_p + M_g)] \cdot 1,39$$

$$y = d - [d^2 - M_d / (0,425 \cdot b_w \cdot f_{cd})]^{0,5}$$

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

em "A" → $d = 0,289 \text{ m}$ $b_w = 1,00 \text{ m}$

$M_{x\text{ed}_A} = -6,63 \text{ tm}$

$A_s' = 5,40 \text{ cm}^2/\text{m}$

$K_f = 1,252$

$A_s = 6,76 \text{ cm}^2/\text{m}$

$\varnothing 12,5\text{mm}$

$C/ 15,00\text{cm}$

em "Z" → $d = 0,189 \text{ m}$ $b_w = 1,00 \text{ m}$

$M_{x\text{ed}_Z} = -1,95 \text{ tm}$

$A_s' = 2,42 \text{ cm}^2/\text{m}$

$K_f = 1,000$

$A_s = 2,42 \text{ cm}^2/\text{m}$

$\varnothing 12,5\text{mm}$

$C/ 50,00\text{cm}$

Adotadas as seguintes armaduras:

- Armadura transversal
 - $A_{s\text{superior}} = \varnothing 12,5 \text{ mm } c/10,0\text{cm}$
 - $A_{s\text{inferior}} = \varnothing 12,5 \text{ mm } c/15,0\text{cm}$
- Armadura longitudinal
 - $A_{s\text{superior}} = \varnothing 6,3\text{mm } c/15,0\text{cm}$
 - $A_{s\text{inferior}} = \varnothing 10,0\text{mm } c/15,0\text{cm}$

3.4.4 Junta de dilatação

Para determinar-se a junta de dilatação necessária, verifica-se a deformação no modelo computacional na direção longitudinal da obra, demonstrado a seguir:

Dimensionamento da junta

Variação de temperatura = 30

Coeficiente de variação térmica do concreto =

1,00E-05

 $L_{\text{total}} = 4972,50 \text{ cm}$

Deslocamento máximo =

 $L_{\text{total}} \cdot \Delta T \cdot C$

Deslocamento máximo =

14,92 mm



Portanto, tem-se uma deformação de 14,92mm.

A seguir as especificações técnicas das juntas flexíveis, tal junta será aplicada com a finalidade de evitar infiltração da água e depósito de detritos que possam comprometer a durabilidade da OAE, e possibilitar a movimentação da estrutura devido aos esforços causados pela temperatura.

Características dimensionais específicas
(em milímetros)

Código da Junta	Dimensões – ponto neutro		Perfil	Movimentação Máxima	
	Largura	Profund.		(-)	(+)
JJ150190VV	150	210	150	75	75
JJ120120VV	120	140	120	60	60
JJ99120VV	100	140	100	50	50
JJ8097VV	80	120	80	40	40
JJ6080VV	60	90	60	30	30
JJ5070VV	50	80	50	25	25
JJ4060VV	40	70	40	20	20
JJ3550VV	35	60	35	15	20
JJ2540VV	25	50	25	10	15
JJ2030VV	20	40	20	10	10

Figura 52 – Características dimensionais das juntas flexíveis

Adota-se uma junta JJ3550VV da fabricante de juntas JEENE, ou similar de outro fabricante, que possui uma movimentação máxima de 20mm, positivo, e 15mm negativo, e atende as necessidades de projeto.



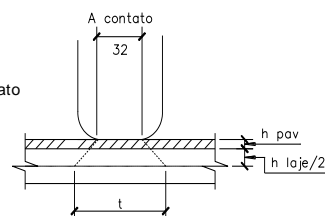
3.4.5 Laje de transição

DADOS DE ENTRADA:	$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$	
Trem tipo = 45 t	$a = 2,00 \text{ m}$	(distância entre eixos do veículo tipo)
$P = 7,5 \text{ t}$	$p' = 0,50 \text{ t/m}^2$	(lados) $p = 0,50 \text{ t/m}^2$ (frente e atrás)
$h_{pav} = 0,050 \text{ m}$	$A_{contato} = 0,32 \text{ m}$	($A_{contato}$: segundo tabela 3 - Rusch)
laje de transição = 0,25 m	$cobr = 2,5 \text{ cm}$	(Cobrimento da armadura)
$h_{aterro} = 0,35 \text{ m}$	(altura média)	$\gamma_p = 1,50$ $\gamma_g = 1,35$
$g_{conc} = 2,50 \text{ t/m}^3$	$g_{aterro} = 1,80 \text{ t/m}^3$	$g_{pav} = 2,40 \text{ t/m}^3$

1) Laje "apoiada - apoiada" (bordas laterais livres) - Tabela Rüsch 5

1.1) Cálculo para o Mxm, Mym e Mxr

$L_x = 4,00 \text{ m}$	$L_y = 10,20 \text{ m}$	$npistas = 2$
$L_y / L_x = 2,55$		
$L_x / a = 2,00$		
$t = (h_{pav} + h_{aterro} + h_{laje \text{ de transição}}/2) * 2 + A_{contato}$		
$t = 1,37$		
$t / a = 0,685$		



Cálculo do coeficiente de impacto

$CIV = 1,278$ (item "2.8.2.1.1" da memória de cálculo)
 $CNF = 1 - 0,05x(n-2) > 0,9$
 $CNF = 1,000$
 $CIA = 1,000$
 Coeficiente de impacto = 1,278

a) Carga Permanente

Rüsch : $M_{xm} \rightarrow K = 0,125$	$M_{ym} \rightarrow K = 0,021$	$M_{xr} \rightarrow K = 0,125$
--	--------------------------------	--------------------------------

$$g = h_{pav} * g_{pav} + h_{aterro} * g_{aterro} + h_{laje \text{ de transição}} * g_{conc}$$

$$g = 1,375 \text{ t/m}^2$$

$$M = K * g * Lx^2$$

$$M_{xm} = 2,750 \text{ tm/m}$$

$$M_{ym} = 0,458 \text{ tm/m}$$

$$M_{xr} = 2,750 \text{ tm/m}$$

b) Carga Móvel

Rüsch : $M_{xm} \rightarrow ML = 0,085$	$M_p = 0,092$	$M_{p'} = 0,060$
Rüsch : $M_{ym} \rightarrow ML = 0,115$	$M_p = 0,031$	$M_{p'} = 0,055$
Rüsch : $M_{xr} \rightarrow ML = 0,096$	$M_p = 0,063$	$M_{p'} = 0,042$

$$M = \Phi * P * ML + \Phi * p * M_p + \Phi * p' * M_{p'}$$

$$M_{xm} = 0,91 \text{ tm/m}$$

$$M_{ym} = 1,16 \text{ tm/m}$$

$$M_{xr} = 0,99 \text{ tm/m}$$

**Dimensionamento**

$$M_d = \gamma_g \cdot M_{\text{perm}} + \gamma_p \cdot M_{\text{móvel}}$$

$$A_s' = 0,85 \cdot b_w \cdot y \cdot f_{cd} / f_{yd}$$

$$K_f = [M_p / (M_p + M_g)] \cdot 1,39$$

$$y = d - [d^2 - M_d / (0,425 \cdot b_w \cdot f_{cd})]^{0,5}$$

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

Mxm →

$d = 0,220 \text{ m}$

$b_w = 1,00 \text{ m}$

$M_{xmd} = 5,08 \text{ tm}$

$A_s' = 5,47 \text{ cm}^2/\text{m}$

$K_f = 1,000$

$A_s = 5,47 \text{ cm}^2/\text{m}$

$\varnothing 10,0\text{mm}$

$C/ 15,00\text{cm}$

*longitudinal

Mym →

$d = 0,211 \text{ m}$

$b_w = 1,00 \text{ m}$

$M_{ymd} = 2,35 \text{ tm}$

$A_s' = 2,60 \text{ cm}^2/\text{m}$

$K_f = 1,000$

$A_s = 2,60 \text{ cm}^2/\text{m}$

$\varnothing 8,0\text{mm}$

$C/ 20,0\text{cm}$

*transversal

Mxr →

$d = 0,22 \text{ m}$

$b_w = 1,00 \text{ m}$

$M_{ymd} = 5,19 \text{ tm}$

$A_s' = 5,60 \text{ cm}^2/\text{m}$

$K_f = 1,000$

$A_s = 5,60 \text{ cm}^2/\text{m}$

$\varnothing 10,0\text{mm}$

$C/ 15,0\text{cm}$

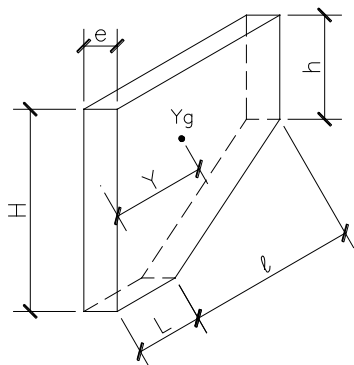
*longitudinal

- Armadura longitudinal adotada
 - $A_{s\text{inferior}} = \varnothing 12,5\text{mm } c/15,0\text{cm } (M_{xr})$
 - $A_{s\text{superior}} = \varnothing 12,5\text{mm } c/15,0\text{cm}$
- Armadura transversal adotada
 - $A_{s\text{inferior}} = \varnothing 12,5\text{mm } c/20,0\text{cm } (M_{ym})$
 - $A_{s\text{superior}} = \varnothing 12,5\text{mm } c/20,0\text{cm}$



3.4.6 Ala

CÁLCULO DAS ALAS



dimensão (m)	
H	3,350
h	1,050
L	3,750
l	2,000
e	0,250
$g_{conc} = 2,50 \text{ t/m}^3$	

Dados de entrada:

$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$	$\gamma_{conc} = 1,4$	$\gamma_{ações} = 1,5$
$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$	$\gamma_{aço} = 1,15$	$g_{solo} = 1,80 \text{ t/m}^3$
$P_{gRODAS} = 0,69 \text{ t}$	$L_{transv.} = 0,30 \text{ m}$	

Cálculo do Esforço Vertical

$$P_{ala} = [H * L + h * l + (H - h) * l / 2] * e * g_{conc} + P_{gRODAS}$$

$$P_{ala} = 11,29 \text{ t}$$

$$M = P_{ala} * Y \quad (\text{Momento Vertical})$$

$$M = 29,08 \text{ t.m}$$

$$M_d = 1,5 * M$$

$$M_d = 43,62 \text{ t.m}$$

Dimensionamento:

$$F = [L + 0,27 * l] * P_{ala} / H$$

$$F = 14,46 \text{ t}$$

$$A_s = [F * \gamma_{ações}] / [f_{yk} / \gamma_{aço}]$$

$$A_s = 4,99 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 3 \varnothing 20,0 \text{ mm}$$

Dimensionamento ao cortante:

$d = 3,30 \text{ m}$	$b_w = 0,25 \text{ m}$	$\text{Thau}_c = 5,20 \text{ kg/cm}^2$
----------------------	------------------------	--

$$\text{Thau}_{wd} = (P_{ala} * \gamma_{conc}) / b_w / d / 10$$

$$\text{Thau}_d = \text{Thau}_{wd} * 1,15 - \text{Thau}_c$$

$$\text{Thau}_{wd} = 1,92 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Thau}_d = -3,00 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{st} = (\text{Thau}_d * b_w) / 4347 * 10000$$

$$A_{st} = -1,72 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 0,14 * b_w$$

$$A_{s,min} = 3,50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$\varnothing 10,0 \text{ mm}$	C/ 22,4cm
$\varnothing 10,0 \text{ mm}$	C/ 15,0cm

ADOTADO

Cálculo do Esforço Horizontal

$L_1 = 3,75 \text{ m}$	$L_2 = 1,00 \text{ m}$	$L_3 = 2,00 \text{ m}$	
$h_1 = 3,35 \text{ m}$	$h_2 = 2,30 \text{ m}$	$h_3 = 1,05 \text{ m}$	$A_{\text{ala}} = 16,96 \text{ m}^2$
$L_1' = 1,50 \text{ m}$	$L_2' = 4,40 \text{ m}$	$q = 0,50 \text{ t/m}^2$	$K_a = 0,33$

1) Empuxo de terra na ala:

a) Empuxo de Terra (A1)

$$E_1 = K_a \cdot g \cdot h_1^2 / 2 \cdot L_1$$

$$E_1 = 12,50 \text{ t}$$

b) Empuxo de Terra (A2)

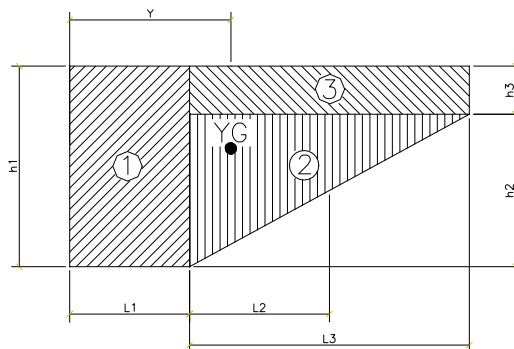
$$E_2 = K_a \cdot g \cdot (h_3 + h_2/3) \cdot h_2 \cdot L_3 / 2$$

$$E_2 = 2,48 \text{ t}$$

c) Empuxo de Terra (A3)

$$E_3 = K_a \cdot g \cdot h_3^2 / 2 \cdot L_3$$

$$E_3 = 0,65 \text{ t}$$



2) Empuxo de terra na ala devido à carga móvel:

$$q' = L_1' \cdot L_2' / 2 \cdot q$$

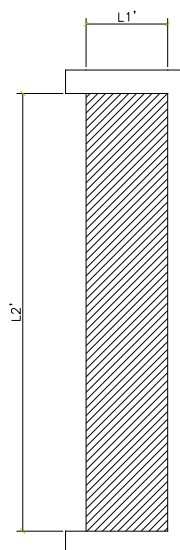
$$q' = 1,65 \text{ t/m}^2$$

$$E_4 = K_a \cdot q$$

$$E_4 = 0,54 \text{ t}$$

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

$$E = 16,18 \text{ t}$$



Dimensionamento:

$$d = 0,20 \text{ m}$$

$$b_w = 1,00 \text{ m}$$

$$Y = 2,876 \text{ m}$$

$$M = E \cdot Y$$

$$M = 46,53 \text{ tm}$$

$$M_d = 1,4 \cdot M$$

$$M_d = 65,14 \text{ tm}$$

$$y = d - [d^2 - M_d / (0,425 \cdot b_w \cdot f_{cd})]^{0,5}$$

$$A_s = 0,85 \cdot b_w \cdot y \cdot f_{cd} / f_{yd}$$

$$A_s = \# \text{NÚM!}$$

$$A_{s \text{ min}} = 3,00 \text{ cm}^2$$

$\varnothing 10,0 \text{ mm}$	C/ 26,2 cm
$\varnothing 10,0 \text{ mm}$	C/ 15,0 cm

ADOTADO



3.4.7 Barreira rígida

Conforme o item “5.2.3.4 Dispositivo de Contenção”, da ABNT NBR 7188:2013, “o elemento deve ser dimensionado para uma força horizontal perpendicular à direção do tráfego de 100kN e carga concomitante de 100kN.

As barreiras rígidas serão executadas com concreto moldado “in loco” de resistência característica igual ou superior a 30MPa. Sua geometria e o dimensionamento estão representados abaixo:

Dimensionamento

Dados de Entrada

fck=	30,0 MPa	hmédio=	35,0 cm
fcd=	21,4 MPa	c=	4,0 cm
fyk=	500,0 MPa	d=	31,0 cm
fyd=	434,8 MPa	bw=	100,0 cm
Mk=	kN.m	εyd=	2,07 ‰
Md=	52,20 kN.m	pmin=	0,17 %

Altura da linha neutra

$$\frac{x}{d} = 1,25 * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Md}{0,85 * fcd * bw * d^2}} \right) \leq \frac{3,5}{3,5 + \epsilon_{yd}}$$

x/d =	0,0379	≤ 0,628	D2
x =	1,1734 cm		

Área de Aço

$$A_s = \frac{Md}{f_{yd} * (d - 0,4 * x)}$$

As = 3,932 cm²/m

Armadura mínima

$$A_{s,min} = 6,055 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Armadura de pele

$$A_{s,pele} = 2,300 \text{ cm}^2/\text{m}$$

10 x 6,3mm

Armação Adotada

$$A_{s,adot} = 6,055 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Adotado: Ø 8,0 c/15,0cm

3.5 Mesoestrutura

3.5.1 Apoios P1, P2 e P3

3.5.1.1 Pilares

Os apoios deste item possuem uma configuração com dois pilares circulares e travessa de topo. Estes apoios recebem todos os carregamentos da superestrutura.

Os resultados são referentes às combinações do Estado Limite Último (ELU), serão demonstrados através dos diagramas das solicitações.

Devido as características geométricas para todos os apoios serem iguais, apresentaremos apenas os valores máximos considerados para cálculo e dimensionamento, sendo assim, a favor da segurança.

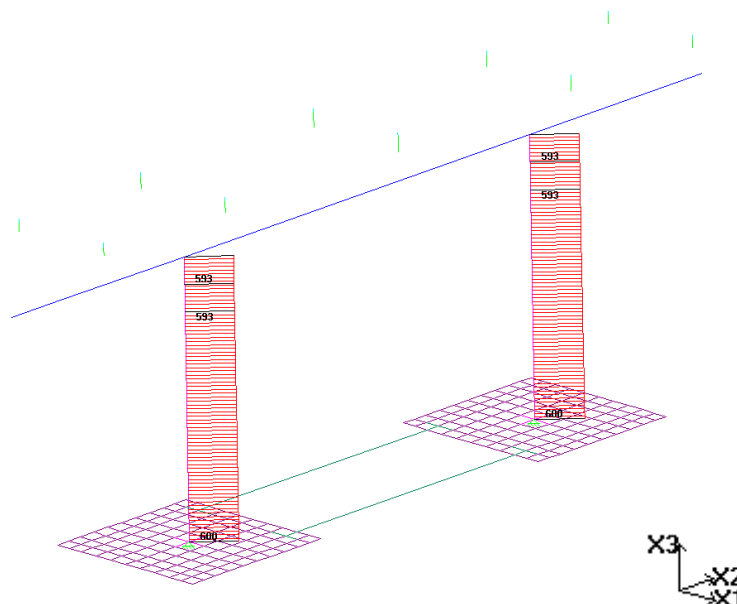


Figura 53 – Esforço Axial nos pilares (tf)

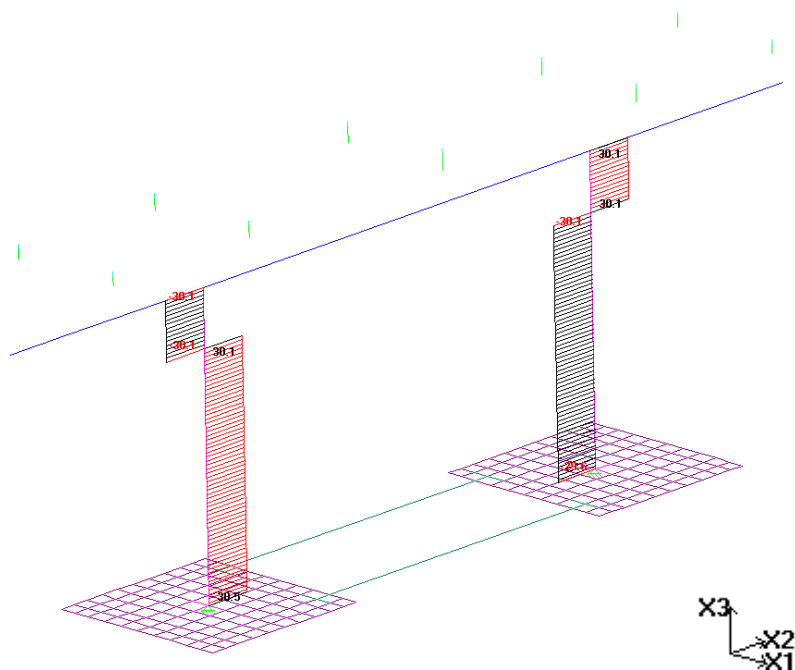


Figura 54 – Esforço Cortante V2 nos pilares (tf)

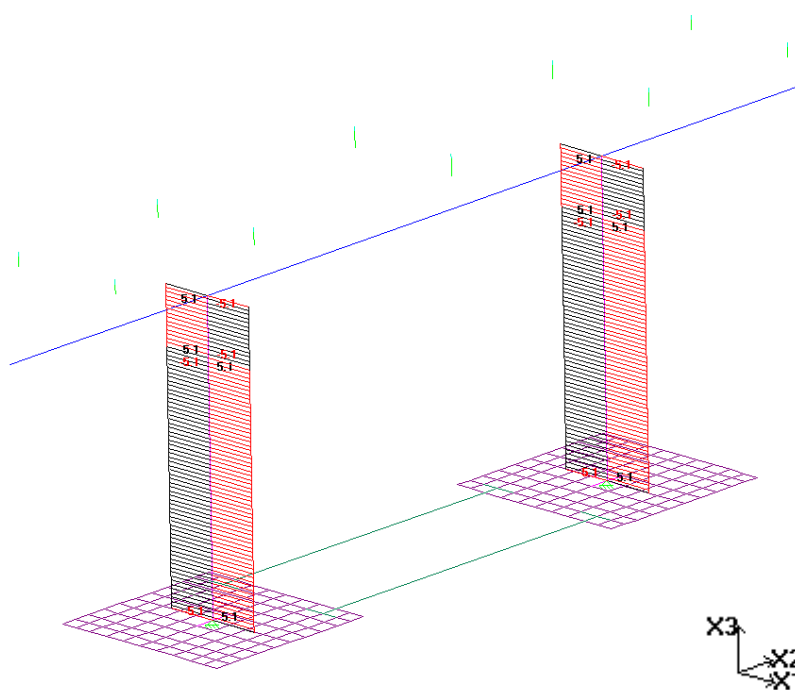


Figura 55 – Esforço Cortante V3 nos pilares (tf)

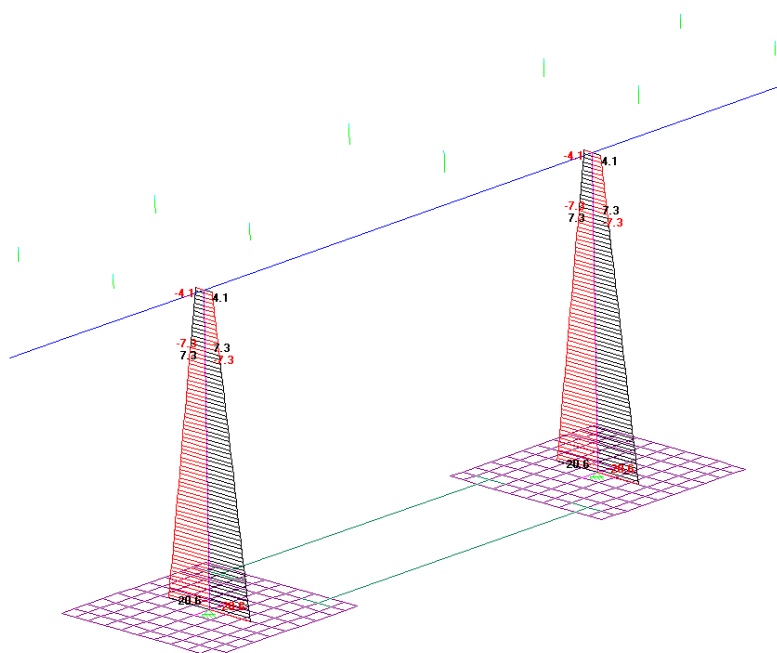


Figura 56 – Momento fletor M2 nos pilares (tf.m)

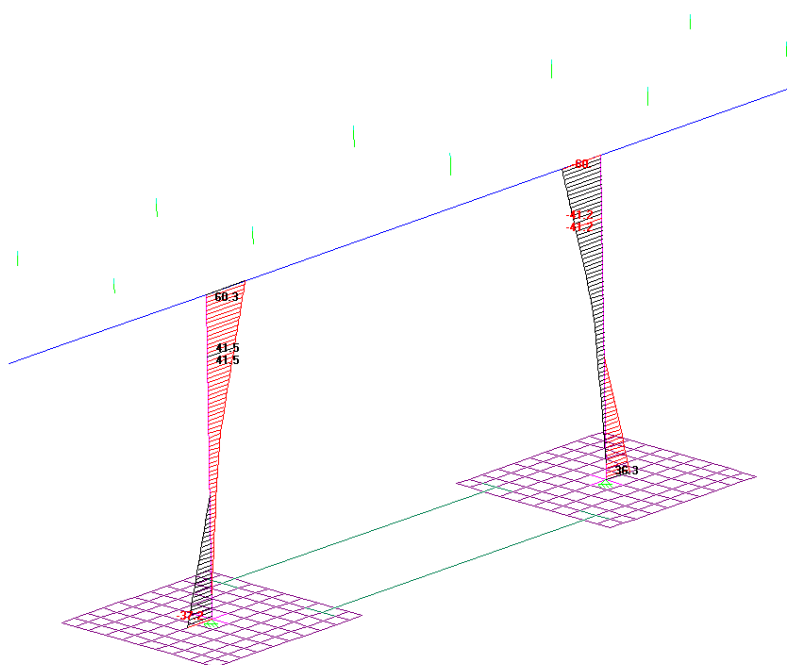
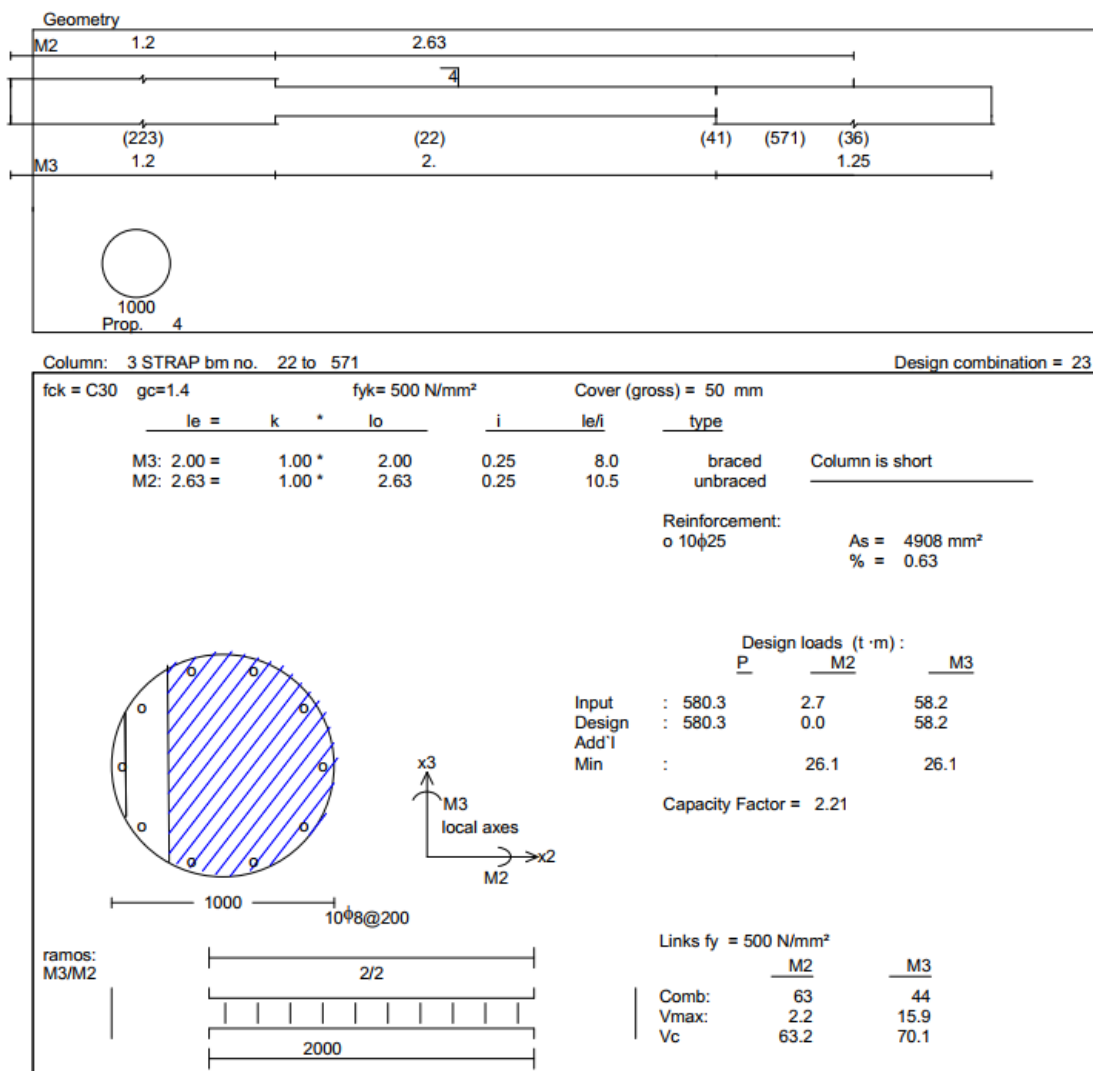


Figura 57 – Momento fletor M3 nos pilares (tf.m)

• Dimensionamento



Armadura adotada:

- $A_{s\text{principal}} = 10\phi 20,0\text{mm}$
- $A_{s\text{transversal}} = \phi 8,0\text{mm c}/20,0\text{cm}$

3.5.1.2 Travessa dos Pilares

Os resultados são referentes às combinações do Estado Limite Último (ELU), serão demonstrados através dos diagramas das solicitações.

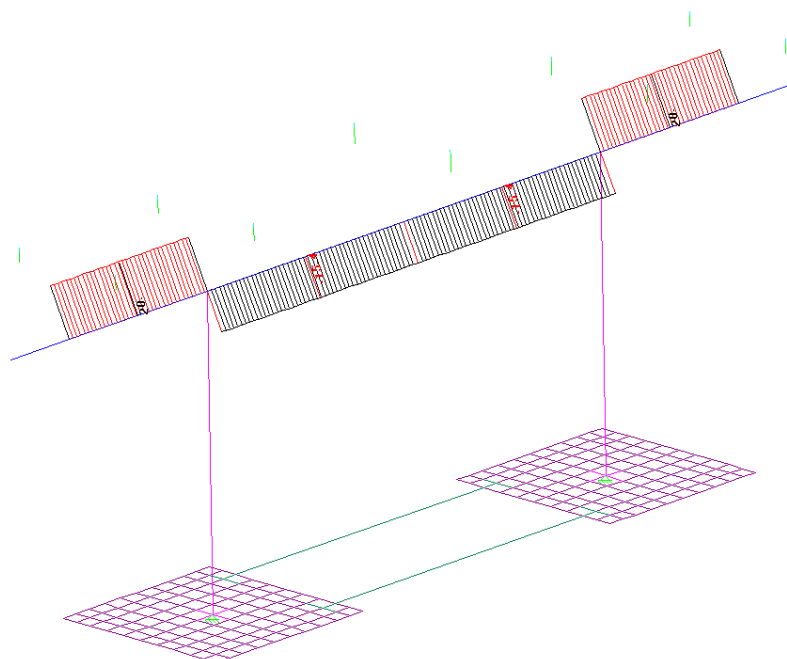


Figura 58 – Esforço Axial na travessa (tf)

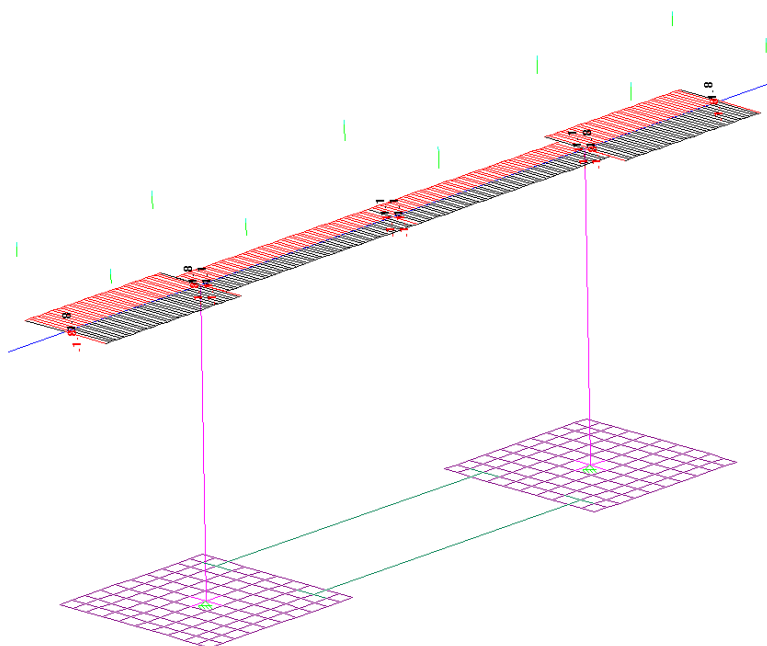


Figura 59 – Esforço Cortante V2 na travessa (tf)

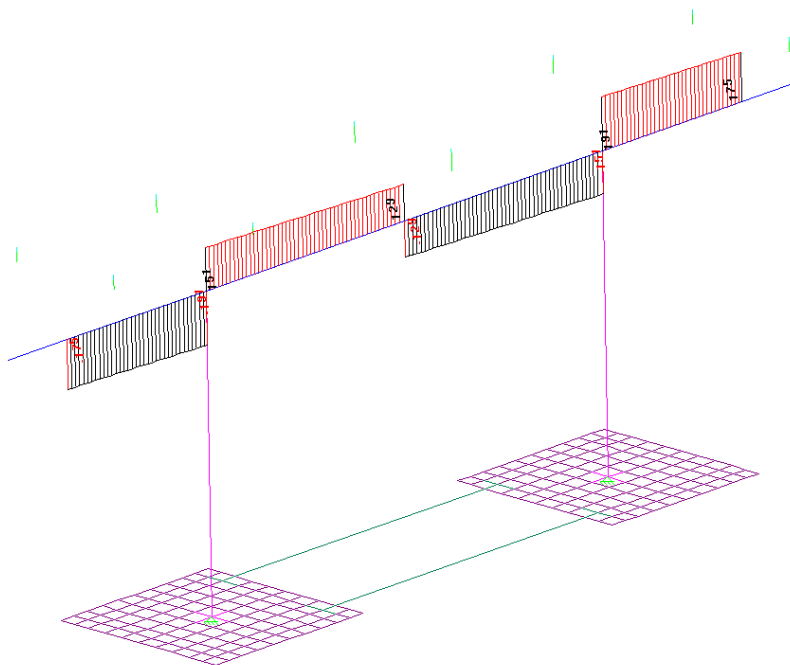


Figura 60 – Esforço Cortante V3 na travessa (tf)

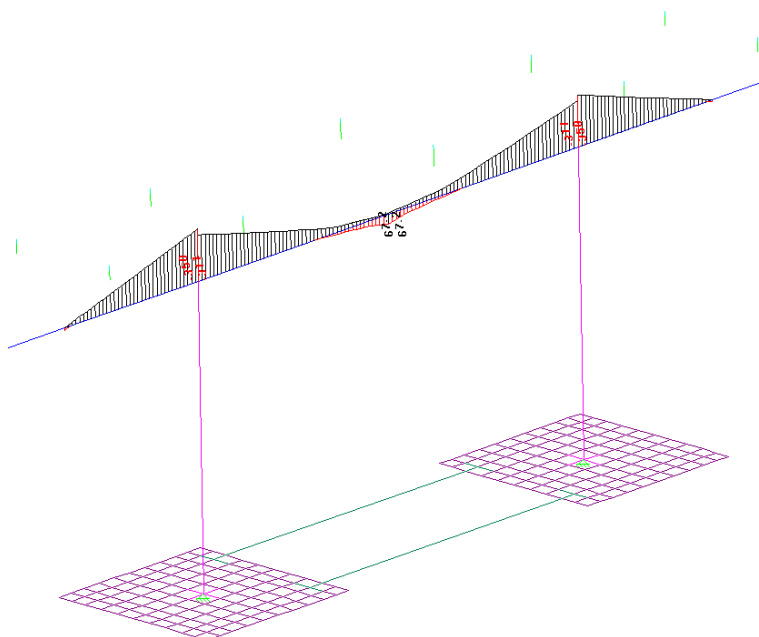


Figura 61 – Momento fletor M2 na travessa (tf.m)

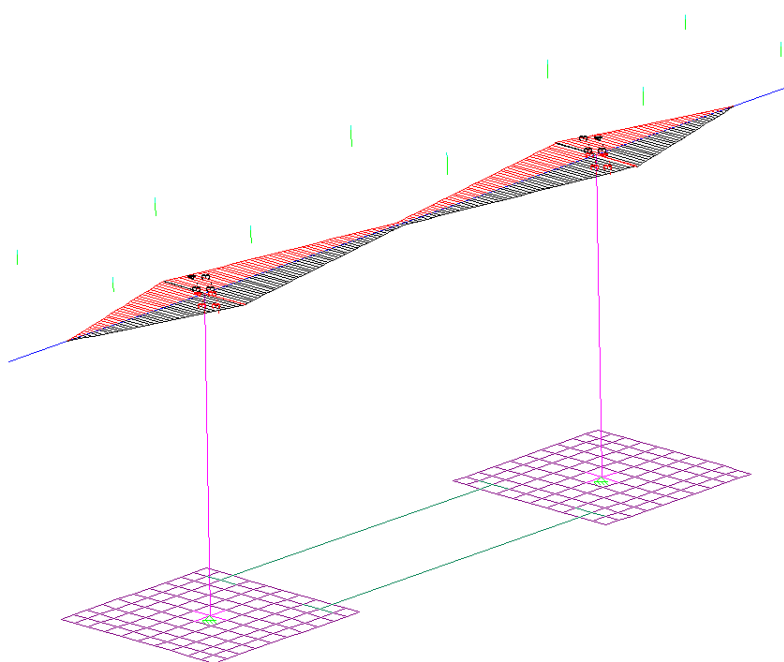
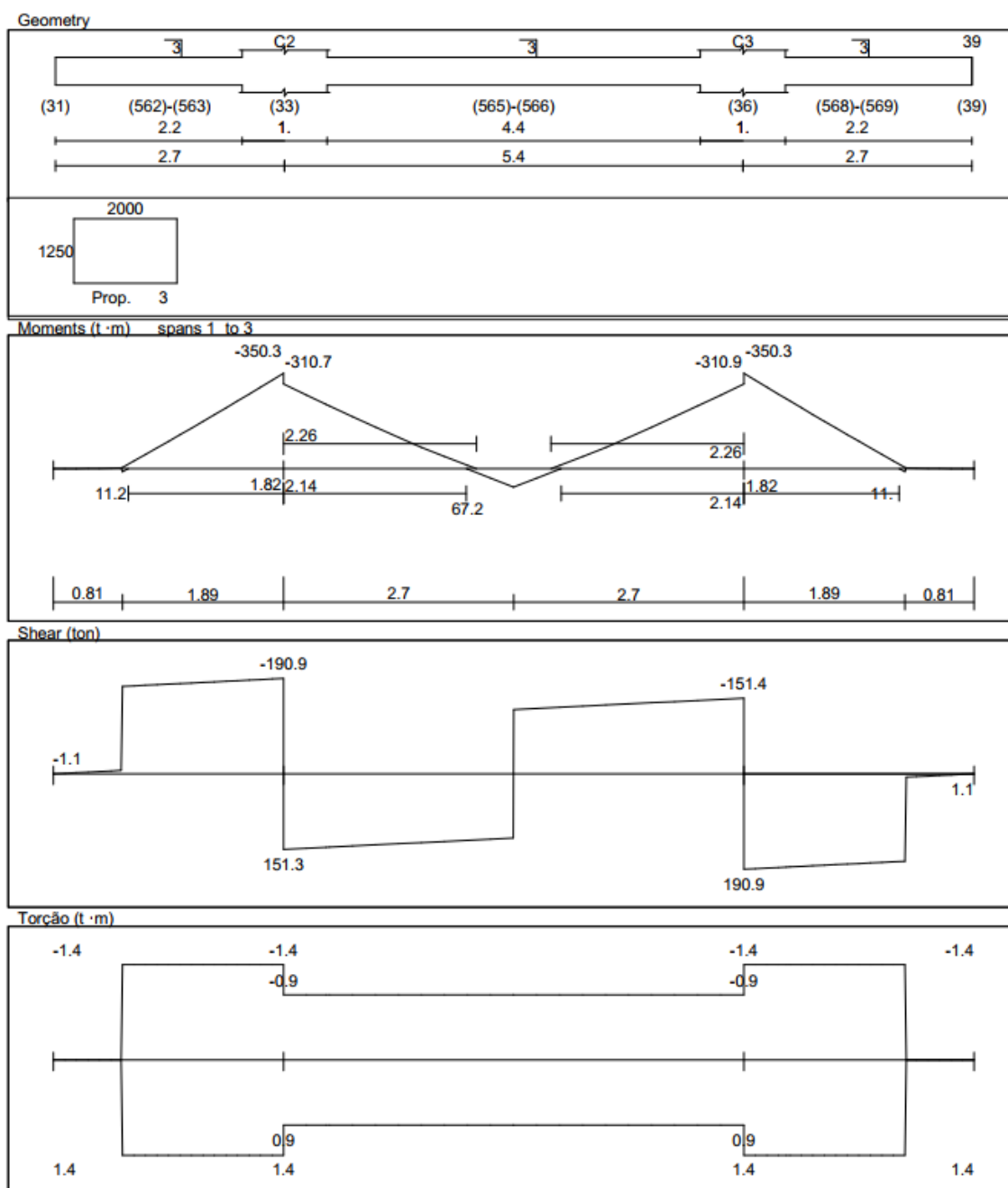
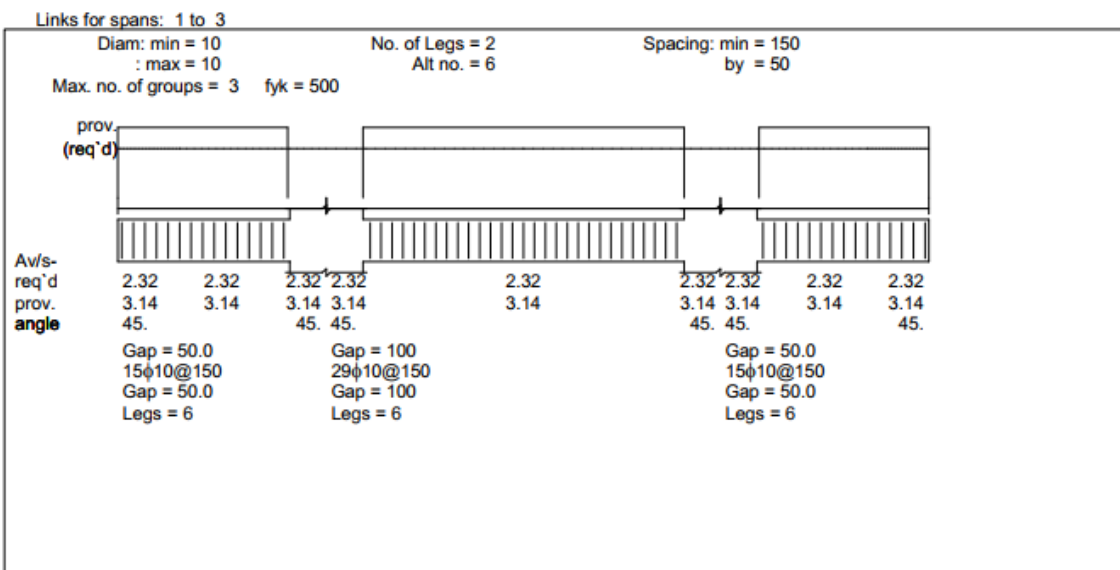
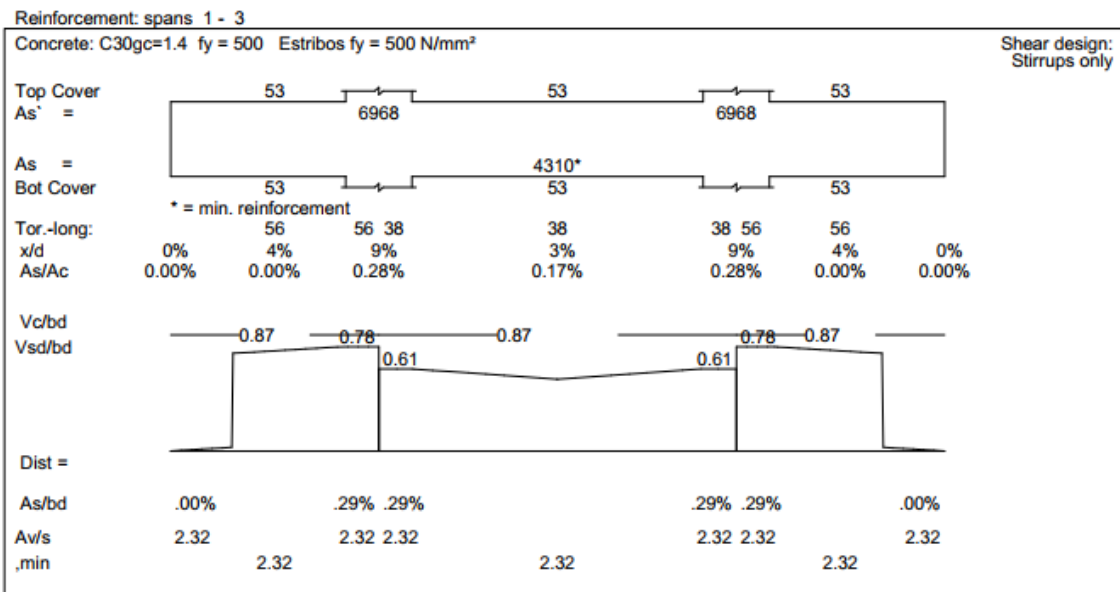


Figura 62 – Momento fletor M3 na travessa (tf.m)



- Dimensionamento







Deslocamentos: Tramo 1 3

As' =	0	2217	0
As =	6969	4310	6969
** Balanços:			
	As =armadura sup. no apoio As' =armadura inf. no apoio		
δ(elastico)=	0.	-0.15568	0.
lo =	0.32552	-0.16117	0.32552
lr =	0.0606	0.32552	0.0606
Mr =	226.24	0.0401	226.24
Ma,g =	1.14	226.24	1.14
Ma,g+q =	1.39	28.25	1.39
Ma,sust =	1.24	34.33	1.24
leq,g =	0.32552	30.68	0.32552
leq,g+q =	0.32552	0.32552	0.32552
leq,sust =	0.32552	0.32552	0.32552
e/1+50r =	2.00	0.32552	2.00
di,g =	1.652	1.91	-1.480
di,q =	0.356	-0.092	-0.319
dt,sust =	3.589	-0.020	-3.215
di,q =	L/6185	-0.191	L/6906
di,q+dt =	L/ 684	L/****	L/ 764
		L/****	
Deformação imediata:aplicar 100% de perm; 100% de acid			
Deformação de longa duração:			
- Longa duração : 100% de perm; 40 % de acid			
- Duração da carga: 70 meses			
Fat. de perm= 1.4 Fat. de acid= 1.6 Perm./Total= 0.8			
fr = 0.29 Ec = 30672 Es= 210000			

Armadura adotada:

- Armadura longitudinal
 - $A_{s\text{superior}} = 15 \varphi 25,0\text{mm}$
 - $A_{s\text{inferior}} = 10 \varphi 25,0\text{mm}$
- Armadura transversal
 - $A_{s\text{apoio e vão}} = 6 \text{ ramos } \varphi 10,0\text{mm c/ } 15,0\text{cm}$



3.5.2 Aparelho de apoio

APARELHOS DE APOIO EM NEOPRENE

DADOS DE ENTRADA:

$R_{Y \text{ máx } g} = 43,50 \text{ t}$ (carregamento vertical máximo permanente)
 $R_{Y \text{ máx } p} = 47,40 \text{ t}$ (carregamento vertical máximo móvel)
 $V_{d1} = 0,75 \text{ t}$ (frenagem e aceleração)
 $V_{d2} = 4,60 \text{ t}$ (retração e temperatura)
 $L_{\text{neoprene}} = 39,40 \text{ cm}$ $B_{\text{neoprene}} = 24,40 \text{ cm}$ $H_{\text{borracha}} = 3,00 \text{ cm}$
 $G_{\text{neoprene}} = 10,00 \text{ kg/cm}^2$ $H_{\text{total}} = 5,00 \text{ cm}$
 $S_n = 961,36 \text{ cm}^2$ $n = 1$ (neoprene/viga)
 $R_n = 320,45 \text{ t/m}$

se L ou $B < 15$ Tensão máxima recomendada = 80 kg/cm^2
se L ou $B 15 < x < 20$ Tensão máxima recomendada = 100 kg/cm^2
se L ou $B 20 < x < 30$ Tensão máxima recomendada = 125 kg/cm^2
se L ou $B x > 30$ Tensão máxima recomendada = 150 kg/cm^2

1) Verificação da Tensão máxima (Valor máximo recomendado $150,0 \text{ kg/cm}^2$)

$$R_{Y \text{ máx}} = (R_{Y \text{ máx } g} + R_{Y \text{ máx } p}) / n$$
$$R_{Y \text{ máx}} = 90,90 \text{ t}$$
$$S_{h \text{ máx}} = R_{Y \text{ máx}} / S_n$$
$$S_{h \text{ máx}} = 94,55 \text{ kg/cm}^2$$

OK!

2) Verificação do deslizamento (Valor máximo recomendado $50,0 \text{ kg/cm}^2$)

$$S_{h \text{ mín}} = R_{Y \text{ máx } g} / S_n$$
$$S_{h \text{ mín}} = 45,25 \text{ kg/cm}^2$$

OK!

3) Verificação da Flexibilidade

$$d = 1 / R_n \text{ (flexibilidade do aparelho de apoio)}$$
$$d = 0,312 \text{ cm/t}$$
$$D_h = d * (V_{d1} + V_{d2} + V_{d3}) / n$$
$$D_h = 1,67 \text{ cm}$$
$$D_{\text{adm}} = 0,8 * H_{\text{borracha}}$$
$$D_{\text{adm}} = 2,40 \text{ cm}$$
$$D_h = d * (V_{d4}) / n$$
$$D_h = 0,00 \text{ cm}$$

OK!

Adotado aparelho de apoio do tipo neoprene fretado com as seguintes dimensões:

$$40,00 \text{ cm} \times 25,00 \text{ cm} \times 5,00 \text{ cm}$$



3.5.3 Fretagem

Verificação da Fretagem

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, item "21.2.1 Pressão de contato em área reduzida", pág. 174.

Havendo carga em área reduzida, deve ser disposta armadura para resistir a todos os esforços de tração, sempre que a possibilidade de fissuração do concreto puder comprometer a resistência do elemento estrutural.

Quando a carga atuar em área menor do que a da superfície do elemento estrutural, pode-se considerar aumentada a resistência do concreto, não ultrapassando o valor resistente de cálculo correspondente ao esmagamento, dado pela expressão:

$$F_{Rd} = A_{c0} f_{cd} \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \leq 3,3 f_{cd} A_{c0}$$

onde

A_{c0} é a área reduzida carregada uniformemente;

A_{c1} é a área máxima de mesma forma e mesmo centro de gravidade que A_{c0} , inscrita na área A_{c2} ;

A_{c2} é a área total, situada no mesmo plano de A_{c0} .

$$N_d = 96,10 \text{ tf}$$

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

$$A_{c0} = 25\text{cm} \times 60\text{cm} = 1500 \text{ cm}^2$$

área da base da viga sobre o aparelho de apoio

$$A_{c1} = 25\text{cm} \times 40\text{cm} = 1000 \text{ cm}^2$$

área do aparelho de apoio

$$A_{c2} = 120\text{cm} \times 60\text{cm} = 7200 \text{ cm}^2$$

área do console do pilar para uma viga

$$F_{rd} = 2624,45 \text{ kN}$$

≤

$$10607,14 \text{ kN}$$

OK!

e) Armadura de fretagem

$$A_s = 0,14 * (1 - (a/A) * (N_d * \gamma_c * \gamma_s) / f_{yk})$$

$$a = 25\text{cm}$$

$$A = 55\text{cm}$$

$$A_s = 13,43 \text{ cm}^2$$

Para cada camada:

$$A_{si} = A_s / 6 = 2,24 \text{ cm}^2$$

Diâmetro:

$$\phi = 8,44 \text{ mm}$$

$$\text{Adotado} = \phi 10,0 \text{ mm}$$

Então:

3 camadas $\phi 10,0\text{mm}$



3.6 Infraestrutura

A fundação é um elemento estrutural cuja função é transmitir as ações atuantes na estrutura à camada resistente do solo, portanto este elemento deve apresentar resistência adequada para suportar as tensões geradas pelos esforços solicitantes.

Foram analisados os resultados, referentes à combinação nominal, onde os coeficientes de majoração e minoração são iguais a 1,0, obtidos através do software STRAP. Os valores estão descritos a seguir:

3.6.1 Dimensionamento dos blocos

3.6.1.1 Apoio P1

Tabela 2 – Reações nos apoios P1

Apoio	Combinação	X1	X2	X3	X4	X5	X6
P1/P2 A	Máx	3,45	-7,35	441,49	28,35	14,60	0,05
P1/P2 A	Mín	-3,45	-21,75	428,91	1,85	-14,60	-0,05
P1/P2 B	Máx	3,45	21,05	441,57	-1,15	14,60	0,05
P1/P2 B	Mín	-3,45	6,65	428,99	-27,65	-14,60	-0,05

X1 – Força longitudinal no eixo X;

X2 – Força transversal no eixo Y;

X3 – Força vertical no eixo Z;

X4 – Rotação no eixo X1/Momento fletor em torno do eixo X;

X5 – Rotação no eixo X2/Momento fletor em torno do eixo Y;

X6 – Rotação no eixo X3/Torsor no eixo Z.

Os blocos de coroamento serão em concreto armado moldados “in loco”, com resistência característica de 30MPa. A sua seção tipo e características estão apresentadas abaixo:

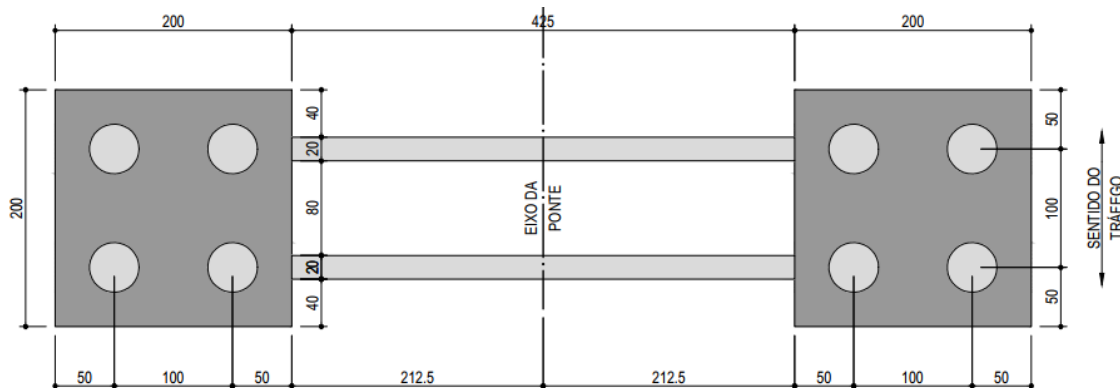


Figura 63 – Geometria e localização dos blocos de coroamento

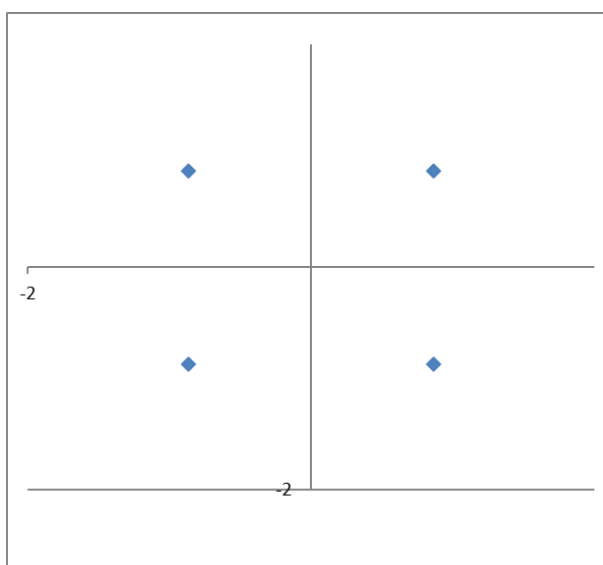
Posição	1				DADOS
Nó	P1/P2 A				fck= 30,0 MPa
X1	3,5 tf				fcd= 21,4 MPa
X2	-7,4 tf				fyk= 500,0 MPa
X3	441,5 tf				fyd= 434,8 MPa
X4	28,4 tf.m	a _{bloco} =	2,00 m		Apilar = 0,5027 m ²
X5	14,6 tf.m	b _{bloco} =	2,00 m		øest = 0,41 m
X6	0,0 tf.m	P _{bloco}	11,00 tf		yações = 1,1

	X	Y	Z		
Pilar	0,00	0,00	1,10		
	X	Y	Z	X ²	Y ²
Estaca 1	0,500	0,500	0,100	0,25	0,25
Estaca 2	0,500	-0,500	0,100	0,25	0,25
Estaca 3	-0,500	0,500	0,100	0,25	0,25
Estaca 4	-0,500	-0,500	0,100	0,25	0,25
4				1,00	1,00



Máximo 133,6 tf
Mínimo 90,7 tf

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Σ (Fz)
Estaca 1	0,9 tf	-1,8 tf	113,1 tf	14,2 tf	7,3 tf		133,6 tf
Estaca 2	0,9 tf	-1,8 tf	113,1 tf	14,2 tf	-7,3 tf		119,0 tf
Estaca 3	0,9 tf	-1,8 tf	113,1 tf	-14,2 tf	7,3 tf		105,3 tf
Estaca 4	0,9 tf	-1,8 tf	113,1 tf	-14,2 tf	-7,3 tf		90,7 tf
							448,6 tf



	Distâncias		Ângulos		Reações nas estacas			
	XY	XYZ	α	β	F	Fx	Fy	Fz
Estaca 1	0,71	1,22	54,74°	45,00°	180,0 tf	73,5 tf	73,5 tf	133,6 tf
Estaca 2	0,71	1,22	54,74°	45,00°	160,4 tf	65,5 tf	65,5 tf	119,0 tf
Estaca 3	0,71	1,22	54,74°	45,00°	141,8 tf	57,9 tf	57,9 tf	105,3 tf
Estaca 4	0,71	1,22	54,74°	45,00°	122,2 tf	49,9 tf	49,9 tf	90,7 tf

Onde:

$$XY = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1,20m - 0,10m}{XY} \right)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{X}{Y} \right)$$



$$F = \left(\frac{\sum F_z}{\sin \alpha} \right) \cdot \gamma_{ações}$$

$$F_x = (\cos \alpha \cdot F) \cdot \cos \beta$$

$$F_y = (\cos \alpha \cdot F) \cdot \sin \beta$$

	As Calculado				As Adotado				
	X	Y	As,mín		X		Y		
Estaca 1	16,90 cm ²	16,90 cm ²	8,12 cm ²	9	ø 20,0	28,27 cm ²	9	ø 20,0	28,27 cm ²
Estaca 2	15,06 cm ²	15,06 cm ²	8,12 cm ²	9	ø 20,0	28,27 cm ²	9	ø 20,0	28,27 cm ²
Estaca 3	13,32 cm ²	13,32 cm ²	8,12 cm ²	9	ø 20,0	28,27 cm ²	9	ø 20,0	28,27 cm ²
Estaca 4	11,47 cm ²	11,47 cm ²	8,12 cm ²	9	ø 20,0	28,27 cm ²	9	ø 20,0	28,27 cm ²

Onde:

$$\text{Área de aço em "x"} = \frac{f_{yd}}{F_x}$$

$$\text{Área de aço em "y"} = \frac{f_{yd}}{F_y}$$

Verificação das tensões de compressão nas bielas

- Junto ao Pilar

$$\sigma_{c,biela} = \frac{N \cdot R_{est}}{A_p \cdot \sin^2 \theta} \leq 1,40 \cdot f_{cd} \quad 15,95 \text{ MPa} \leq 30,00 \text{ MPa}$$

- Junto à estaca

$$\sigma_{c,biela} = \frac{R_{est}}{A_{est} \cdot \sin^2 \theta} \leq 0,85 \cdot f_{cd} \quad 12,85 \text{ MPa} \leq 18,21 \text{ MPa}$$

Armaduras complementares

- Armadura de pele:

$$A_{sl} = 0,10\% \cdot b \cdot h \quad (\text{em cada face})$$

$$b = 2 \cdot \phi_{est} = 82,00 \text{ cm}$$

$$h = 110,00 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 9,02 \text{ cm}^2 \quad \text{adotado:} \quad 8 \quad \phi 12,5 \text{ mm} = 9,82 \text{ cm}^2 \quad (\text{N2})$$

**Verificação do cisalhamento por força cortante**

A dispensa de armadura transversal para a força cortante é permitida se:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1} \quad \text{com} \quad V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40\rho) \cdot b_w \cdot d$$

A verificação do esforço cortante é feita numa seção de referência S_2 , distante " $d/2$ " da face do pilar

Na seção S_2 :

$$V_{Sd} = 2 \cdot F_{\text{reação}} = 360,03 \text{ tf}$$

Retornando ao cálculo da tensão resistente que dispensa a armadura transversal

$$\tau_{Rd} = 0,0375 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{com } f_{ck} \text{ em MPa}$$

$$k = \left| 1,6 - d \right| \geq 1,0 \quad \text{com } d \text{ em metros}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d}$$

A_s é a área de armadura longitudinal na direção analisada e que passa pela seção S_2

b_w é a largura da seção S_2

d é a altura útil média na seção S_2 .

$$\tau_{Rd} = 0,362 \text{ MPa}$$

$$k = 1,00$$

$$\rho = 19,66$$

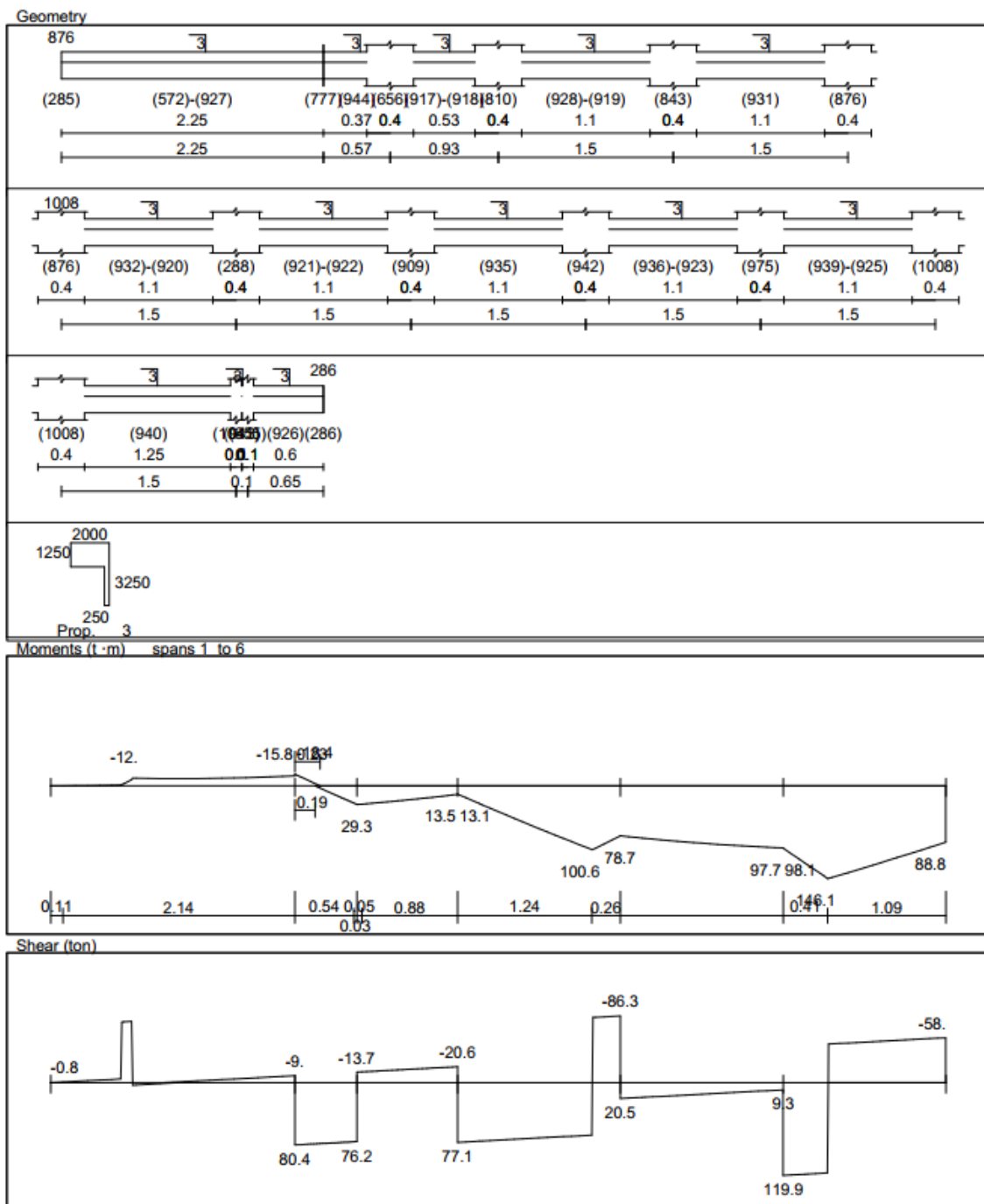
$$V_{Rd1} = 570,30 \text{ tf} \quad \text{Ok!}$$

3.6.1.2 Apoios E1 e E2

Para o caso da travessa, ambos os apoios possuem as mesmas solicitações, portanto será apresentado apenas um deles. Os resultados são referentes às combinações do Estado Limite Último (ELU), serão demonstrados através dos diagramas das solicitações.

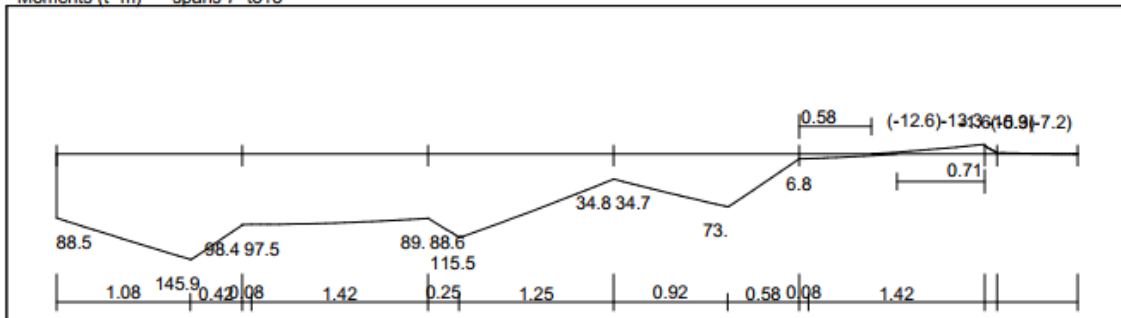


- Dimensionamento da cortina de entrada

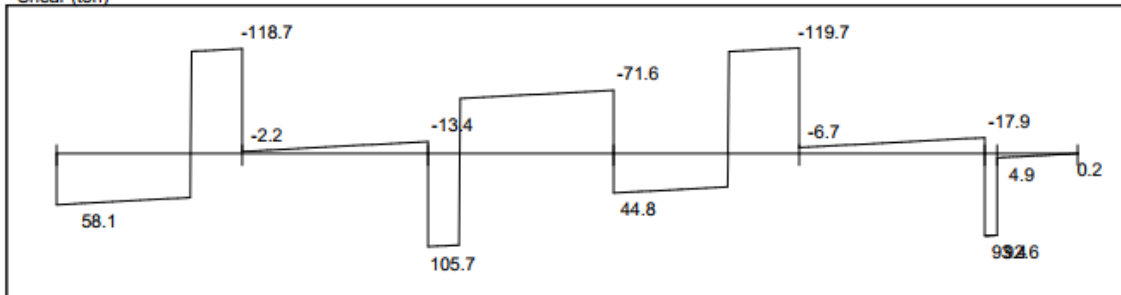




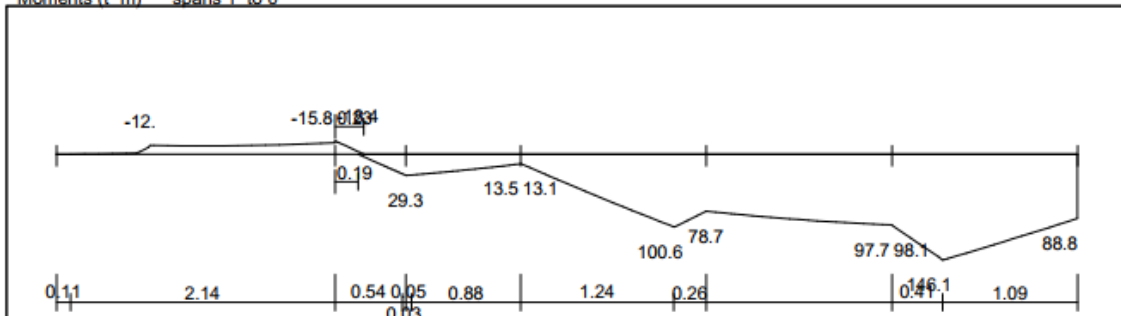
Moments (t · m) spans 7 to 13



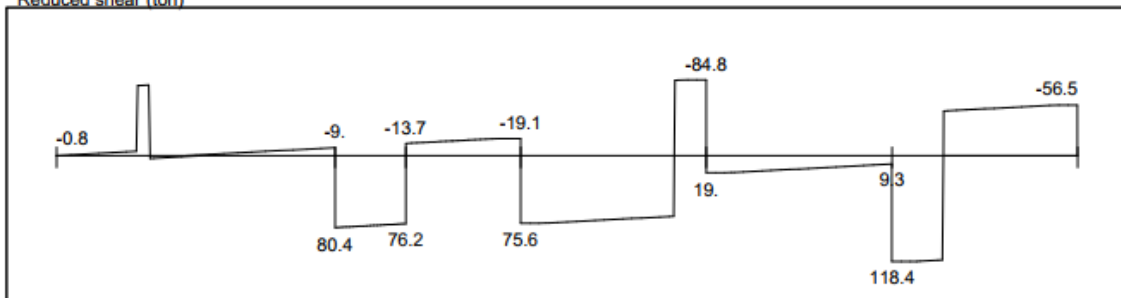
Shear (ton)



Moments (t · m) spans 1 to 6

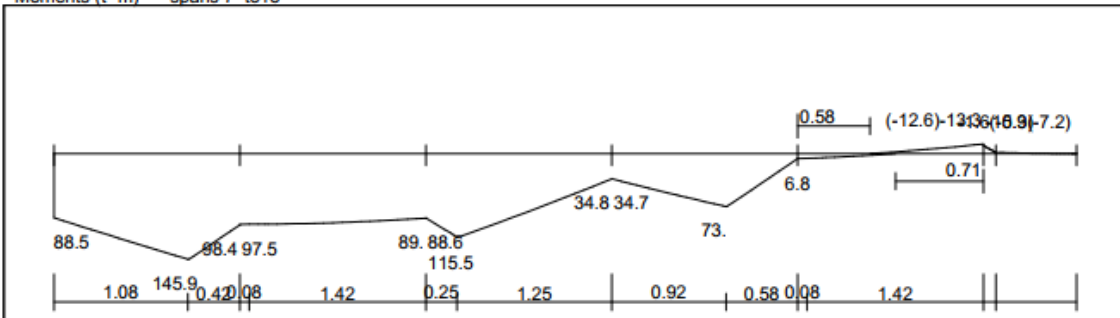


Reduced shear (ton)

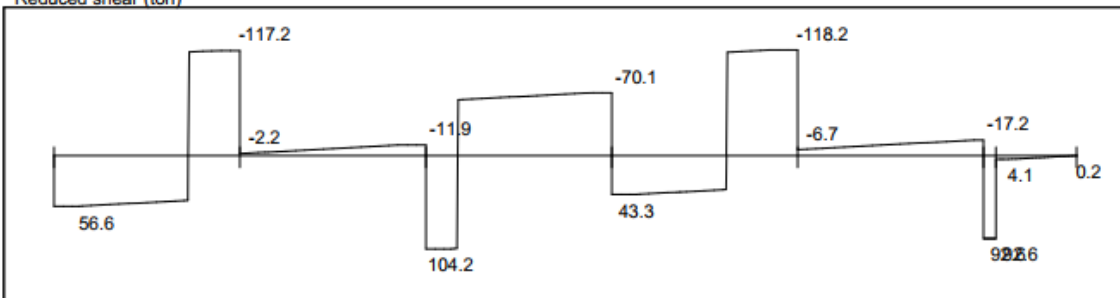




Moments (t · m) spans 7 to13



Reduced shear (ton)



Reinforcement: spans 1 - 5

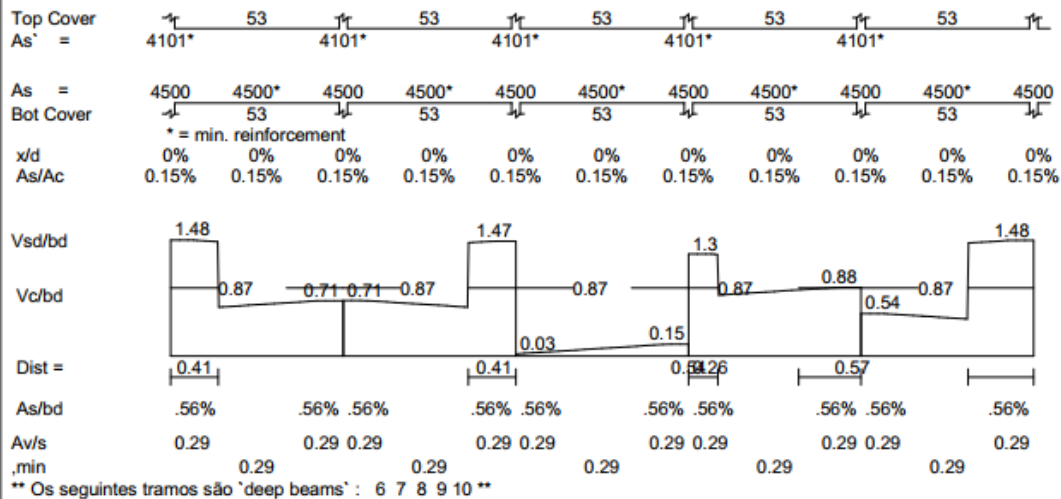
Concrete: C30gc=1.4 fy = 500 Estribos fy = 500 N/mm ²											Shear design: Stirrups only
Top Cover	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	
As =	4581*	4581*	4101*	4101*	4500*	4500*	4500*	4500*	4500*	4500*	
Bot Cover	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	
* = min. reinforcement											
x/d	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
As/Ac	0.00%	0.00%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	
Vsd/bd	0.87	1.01	0.95	0.87	0.95	1.06	0.87	0.87	0.87	0.87	
Vc/bd	0.11	0.17	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.12	
Dist =	0.37	1.07	0.26								
As/bd	.00%	.57%	.57%	.56%	.56%	.56%	.56%	.56%	.56%	.56%	
Av/s	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	
.min	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	
** Os seguintes tramos são 'deep beams': 2 3 4 5 **											



Reinforcement: spans 6 - 10

Concrete: C30gc=1.4 $f_y = 500$ Estribos $f_y = 500$ N/mm²

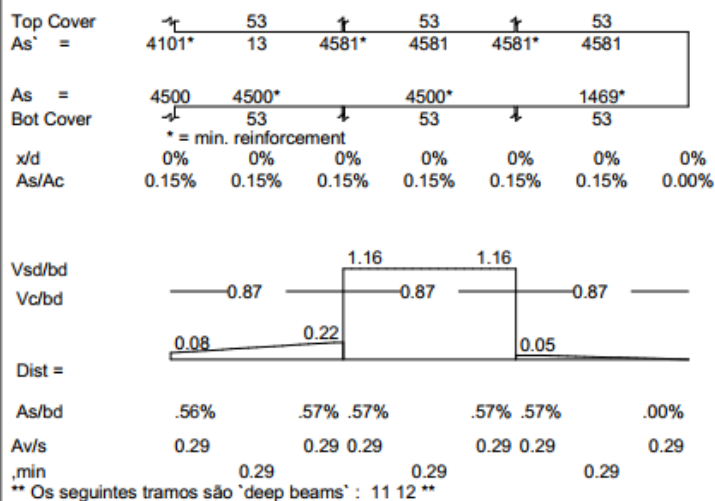
Shear design:
Stirrups only

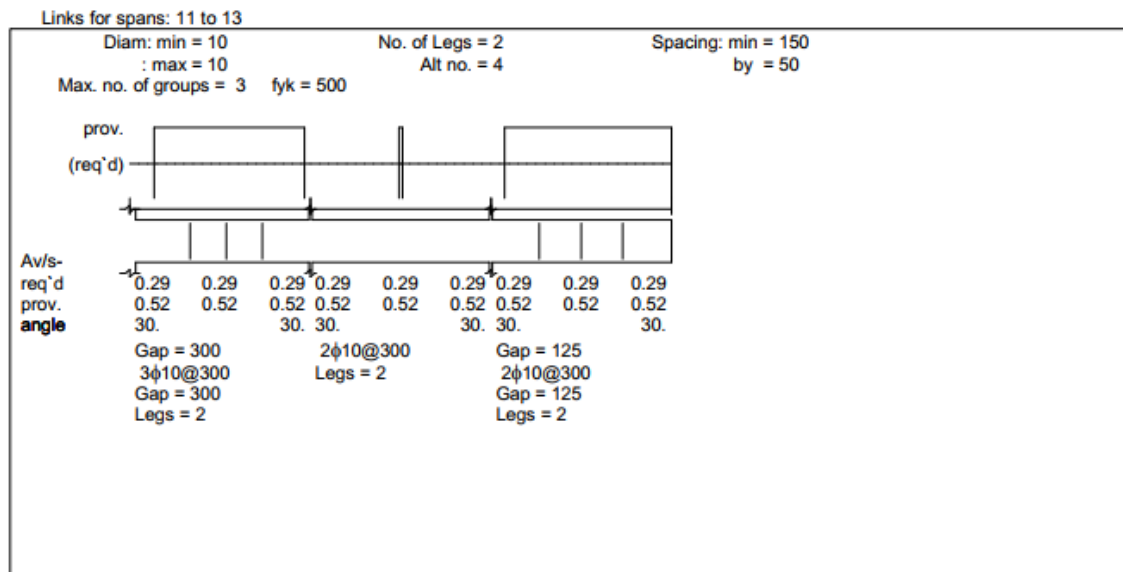
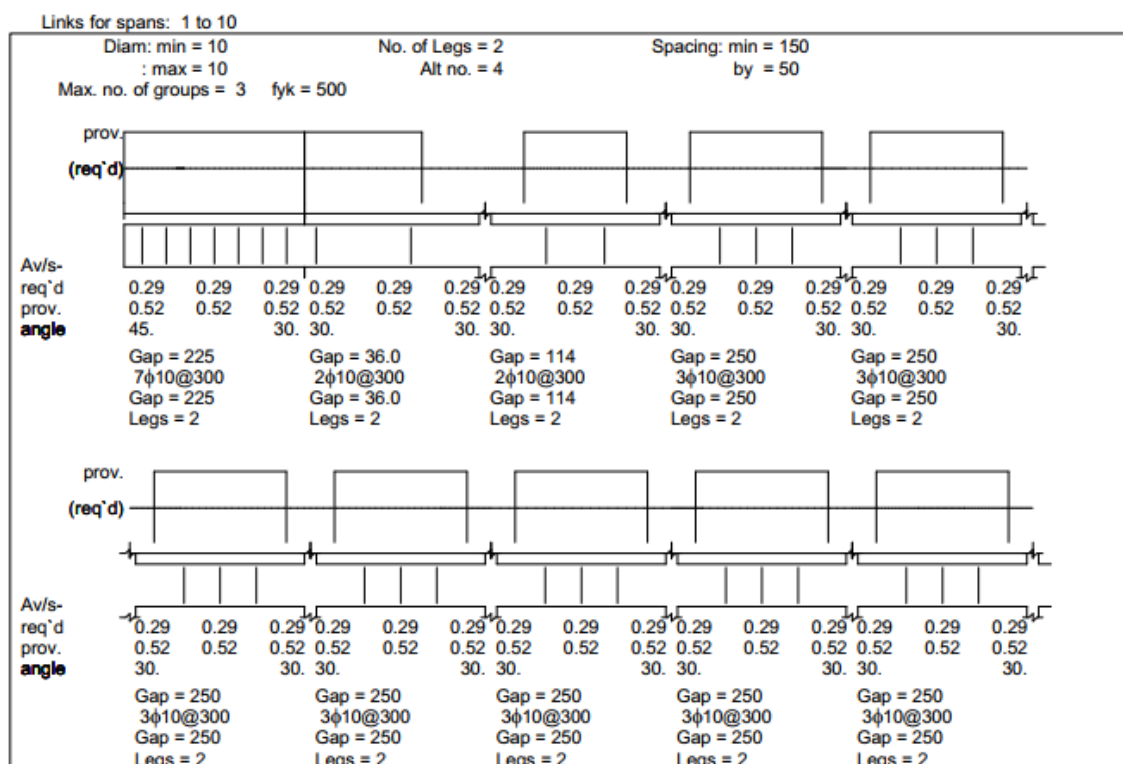


Reinforcement: spans 11 - 13

Concrete: C30gc=1.4 $f_y = 500$ Estribos $f_y = 500$ N/mm²

Shear design:
Stirrups only







Deslocamentos: Tramo 1 5

As' =	0	0	0	0	0
As =	4581	4500	4500	4500	4500
** Balanços:					
As = armadura sup. no apoio					
As' = armadura inf. no apoio					
$\delta(\text{elástico}) =$	0.	0.00009	0.00101	0.0225	0.00589
lo =	1.59245	1.59245	1.59245	0.0233	1.59245
lr =	0.25439	0.32186	0.32186	1.59245	0.32186
Mr =	617.72	235.06	235.06	0.32186	235.06
Ma,g =	0.91	16.76	13.52	235.06	55.85
Ma,g+q =	1.1	20.37	16.43	57.53	67.87
Ma,sust =	0.98	18.21	14.68	69.91	60.66
leq,g =	1.59245	1.59245	1.59245	62.48	1.59245
leq,g+q =	1.59245	1.59245	1.59245	1.59245	1.59245
leq,sust =	1.59245	1.59245	1.59245	1.59245	1.59245
e/1+50r =	2.00	2.00	2.00	1.59245	2.00
di,g =	3.652	0.000	0.001	2.00	0.003
di,q =	0.786	0.000	0.000	0.013	0.001
dt,sust =	7.934	0.000	0.001	0.003	0.008
di,q =	L/2862	L/****	L/****	0.029	L/****
di,q+dt =	L/258	L/****	L/****	L/****	L/****
Deformação imediata: aplicar 100% de perm; 100% de acid					
Deformação de longa duração:					
- Longa duração : 100% de perm; 40 % de acid					
- Duração da carga: 70 meses					
Fat. de perm= 1.4 Fat. de acid= 1.6 Perm./Total= 0.8					
fr = 0.29 Ec = 30672 Es= 210000					

Deslocamentos: Tramo 6 10

As' =	0	0	0	0	0
As =	4500	4500	4500	4500	4500
$\delta(\text{elástico}) =$	0.03693	0.03672	0.00622	0.02488	0.03652
lo =	0.03823	0.03802	1.59245	0.02575	0.0378
lr =	1.59245	1.59245	0.32186	1.59245	1.59245
Mr =	0.32186	0.32186	235.06	0.32186	0.32186
Ma,g =	235.06	235.06	55.71	235.06	235.06
Ma,g+q =	83.52	83.4	67.7	66.01	41.74
Ma,sust =	101.5	101.35	60.51	80.22	50.72
leq,g =	90.71	90.58	1.59245	71.69	45.33
leq,g+q =	1.59245	1.59245	1.59245	1.59245	1.59245
leq,sust =	1.59245	1.59245	1.59245	1.59245	1.59245
e/1+50r =	1.59245	1.59245	2.00	1.59245	1.59245
di,g =	2.00	2.00	0.004	2.00	2.00
di,q =	0.022	0.022	0.001	0.015	0.022
dt,sust =	0.005	0.005	0.008	0.003	0.005
di,q =	0.047	0.047	L/****	0.032	0.047
di,q+dt =	L/****	L/****	L/****	L/****	L/****



Deslocamentos: Tramo 11 13

As' =	14	4500	0
As =	4500	4581	4581
$\delta(\text{elastico}) =$	-0.0002	0.	7.59852
lo =	1.59245	1.59245	7.8667
lr =	0.32186	0.27655	1.59245
Mr =	235.06	617.72	0.25439
Ma,g =	2.96	0.9	617.72
Ma,g+q =	3.6	1.1	0.91
Ma,sust =	3.21	0.98	1.1
leq,g =	1.59245	1.59245	0.98
leq,g+q =	1.59245	1.59245	1.59245
leq,sust =	1.59245	1.59245	1.59245
e/1+50r =	2.00	1.56	1.59245
di,g =	0.000	0.000	2.00
di,q =	0.000	0.000	4.495
dt,sust =	0.000	0.000	0.968
di,q =	L/****	L/****	9.766
di,q+dt =	L/****	L/****	L/ 568
			L/ 60

Armadura adotada:

- Armadura longitudinal
 - $A_{s inferior} = 10 \varphi 25,0mm$
 - $A_{s superior} = 10 \varphi 25,0mm$
- Armadura transversal
 - $A_{s apoio} = 4 ramos \varphi 10,0mm \text{ c/ } 10,0cm$
 - $A_{s v\tilde{a}o} = 4 ramos \varphi 10,0mm \text{ c/ } 15,0cm$

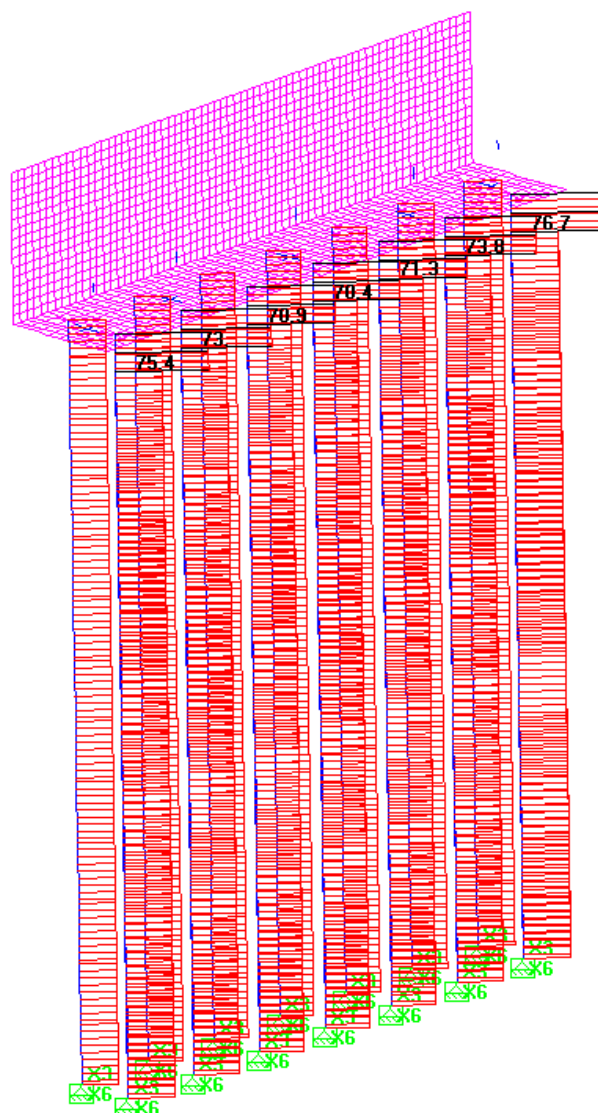
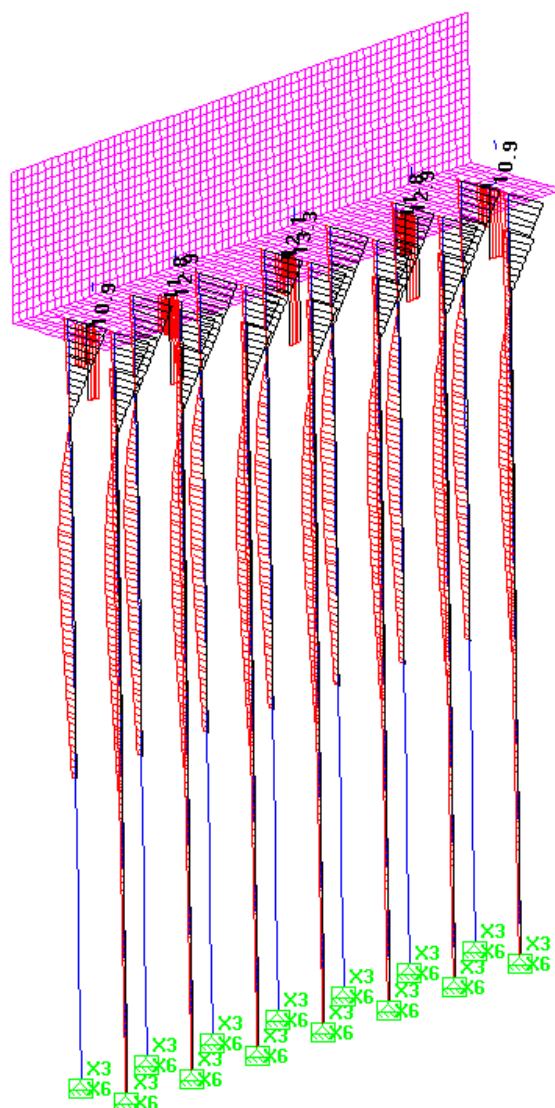


Figura 64 – Esforço Axial nas estacas – N máx = 76,70 (tf)


 Figura 65 – Momento fletor nas estacas – $M_{\text{máx}} = 13,30$ (tf)

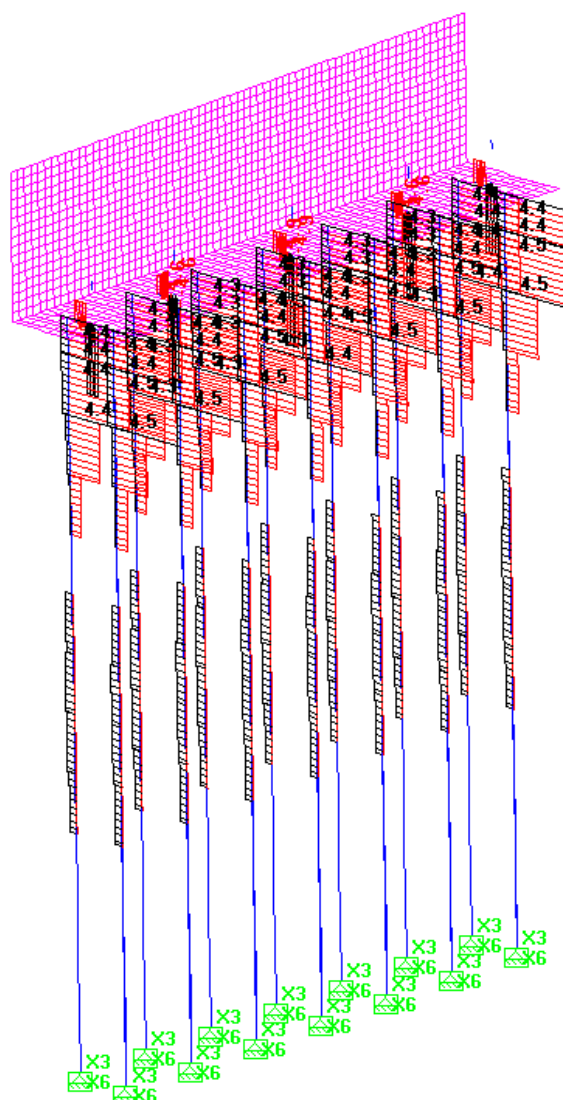


Figura 66 – Esforço cortante nas estacas – $V_{\text{máx}} = 4,50 \text{ (tf)}$

3.6.2 Capacidade admissível das estacas

A estaca pré-moldada centrifugada é composta de argamassa moldada “in loco” com diâmetro nominal de 400 mm, executada por processo mecânico mediante o uso de rotação ou roto percussão com circulação de água, lama betonítica ou ar comprimido e pode atravessar



terrenos de qualquer natureza, inclusive alvenaria, concreto armado, rochas ou matacões. Posterior à perfuração, é feita a injeção ascendente de argamassa, podendo ser executada na direção vertical ou inclinada. Possui elevada tensão de trabalho do fuste e é inteiramente armada com barras de aço e estribos ao longo de todo o seu comprimento.

Para determinar a capacidade admissível das estacas foram utilizados métodos de cálculos diferenciados para as camadas em solo e rocha. A seguir estão descritos ambos os métodos.



- Capacidade no solo:

Fórmulas dos processos

Pedro Paulo Costa Velloso

$$Q_{adm} = \{[\alpha_i \cdot \lambda_i \cdot p \cdot \Sigma(C_i \cdot N_i)] + \{\alpha_p \cdot \lambda_p \cdot \beta \cdot s_p \cdot 0,5 \cdot [(C_p \cdot N)_{acima} + (C_p \cdot N)_{abaixo}]\} / 2,5$$

($C_p \cdot N$) med.acima (8*dp)
($C_p \cdot N$) med.abaixo (3,5*dp)
 $\beta = 1,016 - 0,016dp/dc$ (dc=3,6 cm)
 $N(SPT) > 40 \Rightarrow 40$

Aoki-Velloso

$$Q_{adm} = \{[(p/F2) \cdot \Sigma(\alpha \cdot K \cdot N)] + [(s_p/F1) \cdot K \cdot N_p]\} / 2$$

 N_p = valor do SPT na ponta da estaca $\Sigma(\alpha \cdot K \cdot N)$ = soma dos valores ($\alpha \cdot K \cdot N$), calculado ao longo do fuste da estaca $N(SPT) > 40 \Rightarrow 40$

Decourt-Quaresma

$$Q_{adm} = \{p \cdot L \cdot [\Sigma[(\beta \cdot N)/3 + \beta]/(L-1)] / 1,3\} + \{s_p \cdot (\alpha \cdot K \cdot N)_{médio} / 4\}$$

 $\Sigma[(\beta \cdot N)/3 + \beta]$ = soma dos valores $[(\beta \cdot N)/3 + \beta]$ ao longo do fuste da estaca, até a ponta. $(\alpha \cdot K \cdot N)_{médio}$ = média dos valores ($\alpha \cdot K \cdot N$), calculada na ponta da estaca, 1m acima e 1m abaixo $N(SPT) < 3 \Rightarrow 3$ $N(SPT) > 50 \Rightarrow 50$

Alberto Henriques Teixeira

para estacas cravadas e raiz $Q_{adm} = \{(p \cdot \beta \cdot \Sigma N) + \{s_p \cdot 0,5 \cdot [(\alpha \cdot N)_{med.acima} + (\alpha \cdot N)_{med.abaixo}]\} / 2$

para estacas escavadas em geral $Q_{adm} = \{[(p \cdot \beta \cdot \Sigma N)] / 1,5\} + \{s_p \cdot 0,5 \cdot [(\alpha \cdot N)_{med.acima} + (\alpha \cdot N)_{med.abaixo}]\} / 4\}$

 $(\alpha \cdot N)_{med.acima} = (4 \cdot dp)$ $(\alpha \cdot N)_{med.abaixo} = (1 \cdot dp)$ $N(SPT) < 4 \Rightarrow 4$ $N(SPT) > 40 \Rightarrow 40$

Urbano Rodrigues Alonso

Q_{adm} caso valor menor $Q_{adm} = \{(0,662 \cdot p \cdot \alpha \cdot \Sigma N) + \{s_p \cdot 0,5 \cdot [(\beta \cdot N)_{med.acima} + (\beta \cdot N)_{med.abaixo}]\} / 2$

Q_{adm} caso valor maior $Q_{adm} = (0,662 \cdot p \cdot \alpha \cdot \Sigma N) / 0,8$

 $(\beta \cdot N)_{med.acima} = (8 \cdot dp)$ $(\beta \cdot N)_{med.abaixo} = (3 \cdot dp)$ $N(SPT) > 40 \Rightarrow 40$

- Capacidade na rocha:

O método de Cabral-Antunes (2000), estabelece para sua aplicação, que a capacidade de carga de estacas embutidas em rocha, e que atravessando camadas de solo com ou sem encamisamento (para $L > 20D$ e $NSPT$ médio do fuste > 10) pode ser considerada como a soma da parcela da resistência por atrito lateral com a parcela de resistência de ponta. Porém, na maioria dos casos, considera-se apenas a capacidade de carga do trecho em rocha, sendo desprezada a contribuição do solo e utiliza-se um coeficiente de segurança global igual a 3,0. Além do fator da qualidade do maciço rochoso, que pode ser caracterizado por meio de ensaios de Resistência a Compressão Simples ($RCS = \sigma_c$), o método de Cabral-Antunes (2000) depende também da limpeza da ponta da estaca, onde ocorre o contato concreto-rocha. A determinação da capacidade de carga de fundações profundas (Q_R), através do método de Cabral-Antunes (2000) é realizada por meio da seguinte equação:

$$Q_R = \sigma_p \cdot A_p + \sigma_l \cdot U \quad (1)$$

Sendo:

Q_R = Carga de Ruptura;

σ_p = resistência de ponta unitária;

A_p = área de ponta da estaca;

σ_l = resistência devido ao atrito lateral;

U = perímetro embutido em rocha.

A NBR 6122/2010, estabelece que a determinação da capacidade de carga de fundações profundas admissível (Q_{adm}), seja calculada com um fator de segurança global (FS) igual a 2,0,

$$Q_{adm} = \frac{Q_R}{FS} \quad (2)$$

Para o cálculo da resistência de ponta unitária (σ_p), é proposta pelos autores Cabral e Antunes (2000) a seguinte equação:

$$\sigma_p = \beta_p \cdot \sigma_c < 0,40.f_{ck} \text{ (valor máx. = 8,0 Mpa)} \quad (3)$$

onde, β_p é um valor adimensional de correlação, descrito na Tabela 05 e σ_c é a resistência a compressão simples da rocha, descrita na Tabela 06,

Tabela 05 - Coeficiente de correlação β_p .

TIPO DE ROCHA	β_p	
	Variação	Média
Muito alterada	0,07 a 0,13	0,10
Alterada	0,24 a 0,36	0,30
Pouco alterada a sã	0,48 a 0,60	0,54

Fonte: Cabral-Antunes (2000).

Tabela 06 - Valores indicativos de σ_c .

TIPO DE ROCHA	σ_c (Mpa)
Rochas ígneas e metamórficas (Basaltos, gnaisses e granitos)	70 a 250
Rochas metamórficas foliadas (ardósias e xistos)	40 a 90
Rochas Sedimentares bem cimentadas (Arenitos, calcários e siltitos)	30 a 80

Fonte: Cabral-Antunes (2000).

Para o cálculo da resistência por atrito lateral unitária (σ_l) da estaca, são indicadas duas limitações pelos autores, que são:

$$\sigma_l = \frac{f_{ck}}{15} \text{ ou } \sigma_l = \sigma_p \cdot 0,035 \text{ (valor máx = 1,33 MPa)} \quad (4)$$

Com relação ao comprimento mínimo de embutimento da estaca (L_e) é recomendado, pelos autores, a distinção do fator multiplicador do diâmetro da estaca (D), devido a qualidade da rocha de apoio e nível de confiança da limpeza da ponta da estaca, descritos na Tabela 07:



Tabela 07 - Limpeza de estacas e qualidade da rocha de apoio

Nível de Confiança e qualidade da rocha	Fator Multiplicador
Não existe dúvidas quanto a limpeza e qualidade da rocha de apoio	$Le = 0,5 \cdot D$
Possibilidade da qualidade da rocha de apoio inferior ao encontrada no final da perfuração	$Le = 1,5 \cdot D \rightarrow \sigma_p > 30 \text{ MPa}$ $Le = 2,0 \cdot D \rightarrow 15 \text{ MPa} < \sigma_p < 30 \text{ MPa}$
Problemas com relação a limpeza e qualidade da rocha de apoio	$Le = 3,0 \cdot D \rightarrow \sigma_p > 30 \text{ MPa}$ $Le = 4,0 \cdot D \rightarrow 15 \text{ MPa} < \sigma_p < 30 \text{ MPa}$

Fonte: Cabral e Antunes (2000).



3.6.2.1 Sondagem SPT-01

Tipo de Estaca

☒ Premoldada (concreto ou aço)

☐ Franki

☐ Hélice Contínua

☐ Escavadas sem revestimentos

☐ Escavadas com revestimentos ou lama

☐ Hollow Auger

☐ Raiz

Sondagem

Cota (m)	N° SPT	Tipo do solo						
		Argila Siltosa	Argila Arenosa	Silte Argiloso	Silte Arenoso	Areia Argilosa	Areia Siltosa	Areia com pedregulhos
1	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comprimento total da estaca (m)
12,0 m

Diâmetro seção circular
400,0 mm

Volume base alargada (Franki) (L)
litros

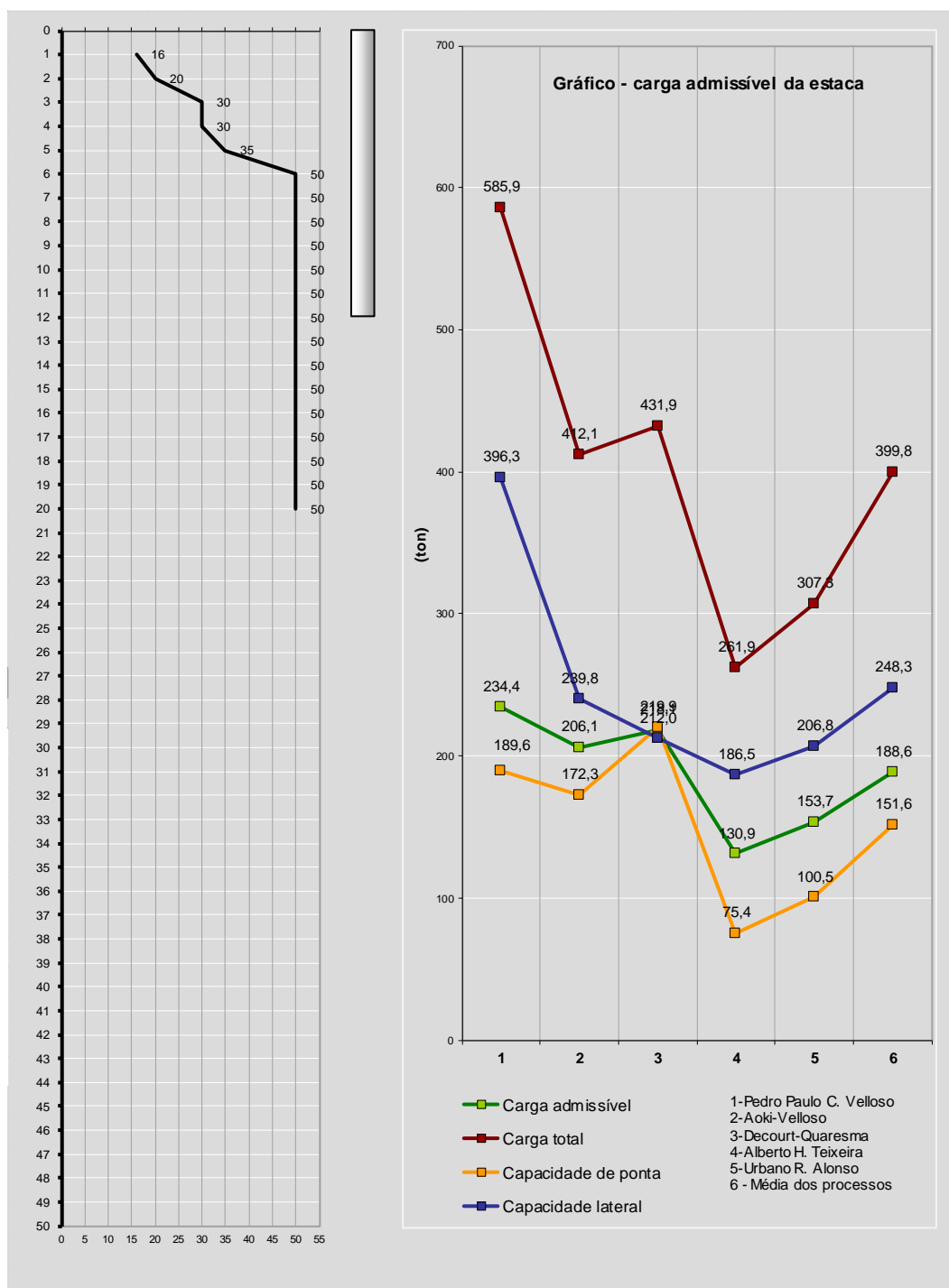
Tipo de carregamento "P.P.C.V"
Compressão

Resultado dos "processos"

Carga admissível da estaca (t)

	Capacidade de carga total da estaca (t)	Capacidade de carga resistência de ponta (t)	Capacidade de carga atrito lateral (t)	
Pedro Paulo Costa Velloso	396,3	189,6	585,9	234,4
Aoki-Velloso	239,8	172,3	412,1	206,1
Decourt-Quaresma	212,0	219,9	431,9	218,1
Alberto Henriques Teixeira	186,5	75,4	261,9	130,9
Urbano Rodrigues Alonso	206,8	100,5	307,3	153,7
Média dos processos	248,3	151,6	399,8	188,6

Atenção: Para carga admissível, a capacidade de carga total deve ser dividida pelo coeficiente de segurança (CS). Os coeficientes de segurança (CS) utilizados nos métodos são os estipulados pelo seus respectivos autores. A Norma estipula valor mínimo para CS igual a 2.



Adotou-se um comprimento de 12,00m.



3.6.2.2 Sondagem SPT-02

ok

Tipo de Estaca

☒ Premoldada (concreto ou aço)

☐ Franki

☐ Hélice Contínua

☐ Escavadas sem revestimentos

☐ Escavadas com revestimentos ou lama

☐ Hollow Auger

☐ Raiz

Sondagem

Cota (m)

Nº SPT

Argila Siltosa

Argila Arenosa

Silte Argiloso

Silte Arenoso

Areia Argilosa

Areia Siltosa

Areia

Areia com pedregulhos

1	14								
2	16								
3	35								
4	34								
5	2								
6	2								
7	2								
8	2								
9	4								
10	20								
11	30								
12	27								
13	28								
14	50								
15	50								
16	50								
17	50								
18	50								
19	50								
20	50								
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									

Comprimento total da estaca (m)

15,0m

ok

Diâmetro seção circular

400,0mm

ok

Volume base alargada (Franki) (L)

litros

Tipo de carregamento "P.P.C.V"

Compressão

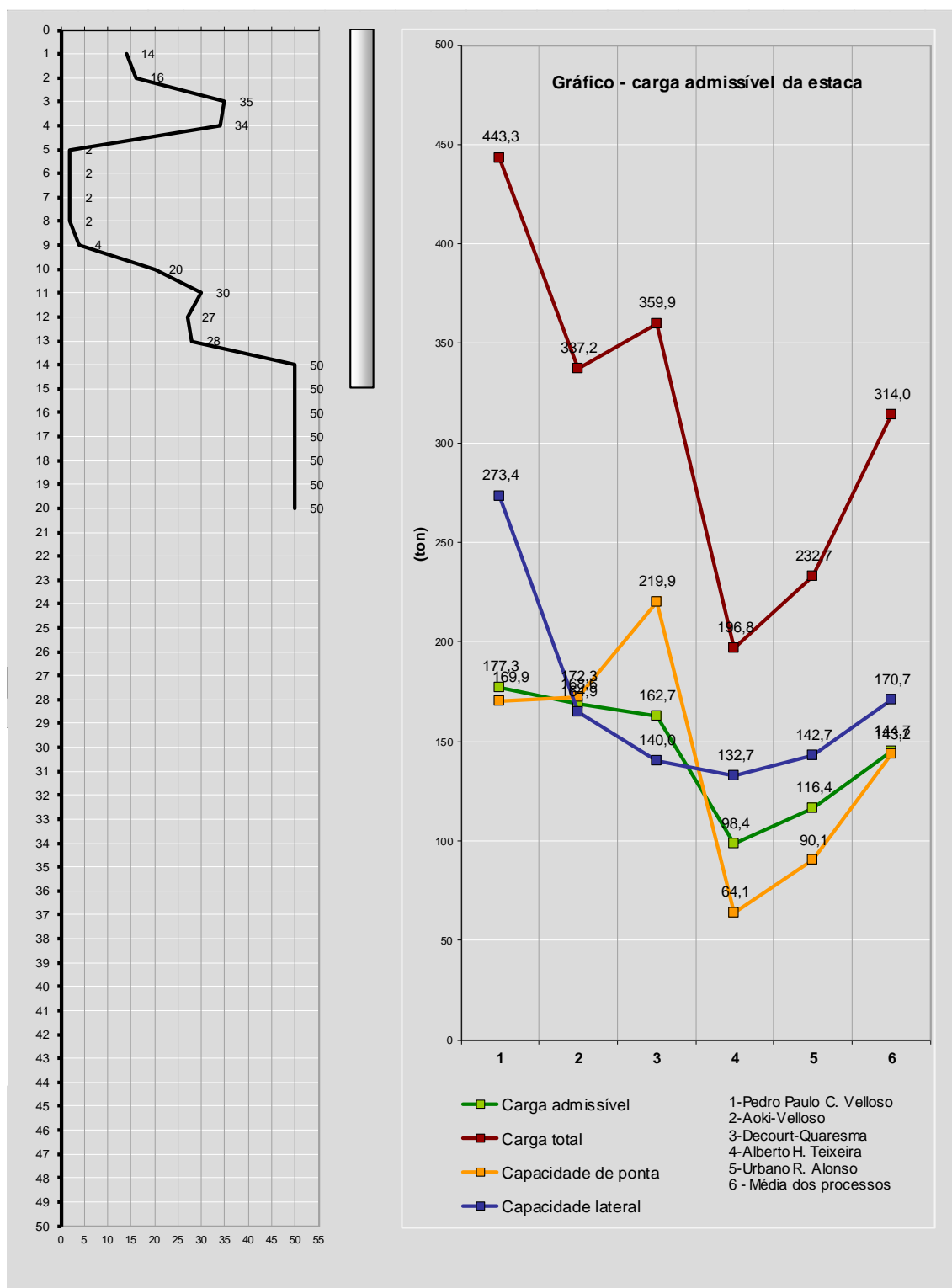
ok

Resultado dos "processos"

Carga admissível da estaca (t)

	Capacidade de carga total da estaca (t)	Capacidade de carga resistência de ponta (t)	Capacidade de carga atrito lateral (t)	
Pedro Paulo Costa Velloso	273,4	169,9	443,3	177,3
Aoki-Velloso	164,9	172,3	337,2	168,6
Decourt-Quaresma	140,0	219,9	359,9	162,7
Alberto Henriques Teixeira	132,7	64,1	196,8	98,4
Urbano Rodrigues Alonso	142,7	90,1	232,7	116,4
Média dos processos	170,7	143,2	314,0	144,7

Atenção: Para carga admissível, a capacidade de carga total deve ser dividida pelo coeficiente de segurança (CS). Os coeficientes de segurança (CS) utilizados nos métodos são os estipulados pelo seus respectivos autores. A Norma estipula valor mínimo para CS igual a 2.



Adotou-se um comprimento de 15,00m.



3.6.2.3 Sondagem SM-01

ok

Tipo de Estaca

☒ Premoldada (concreto ou aço)

☐ Franki

☐ Hélice Contínua

☐ Escavadas sem revestimentos

☐ Escavadas com revestimentos ou lama

☐ Hollow Auger

☐ Raiz

Sondagem

Cota (m)

Nº SPT

Argila Siltosa

Argila Arenosa

Silte Argiloso

Silte Arenoso

Areia Argilosa

Areia Siltosa

Areia

Areia com pedregulhos

1	18								
2	20								
3	28								
4	32								
5	35								
6	50								
7	50								
8	50								
9	50								
10	50								
11	50								
12	50								
13	50								
14	50								
15	50								
16	50								
17	50								
18	50								
19	50								
20	50								
21	50								
22	50								
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									

Comprimento total da estaca (m)

12,0m

ok

Diâmetro seção circular

400,0mm

ok

Volume base alargada (Franki) (L)

litros

Tipo de carregamento "P.P.C.V"

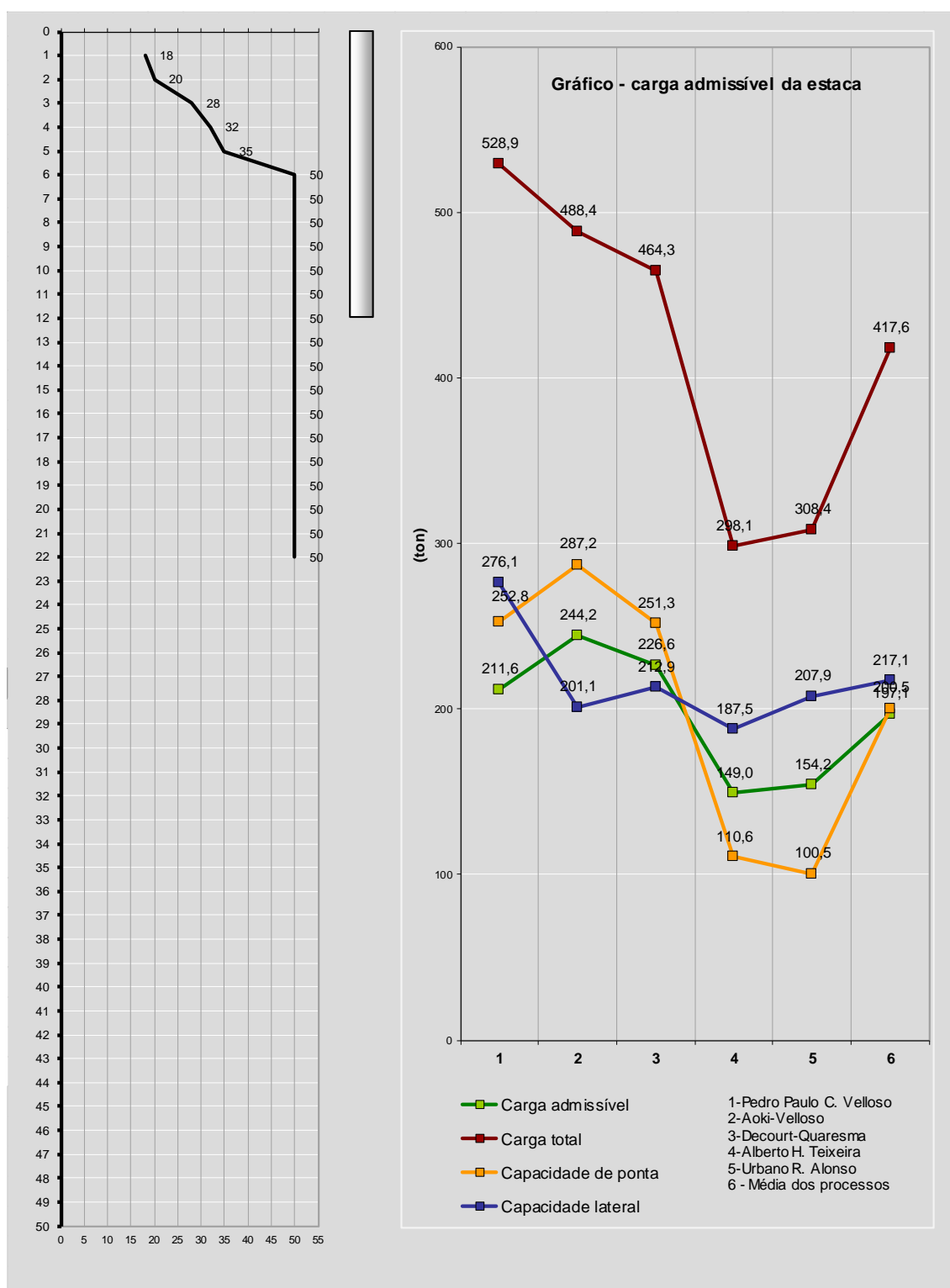
Compressão

Resultado dos "processos"

Carga admissível da estaca (t)

Capacidade de carga total da estaca (t)				
Capacidade de carga resistência de ponta (t)				
Capacidade de carga atrito lateral (t)				
Pedro Paulo Costa Velloso	276,1	252,8	528,9	211,6
Aoki-Velloso	201,1	287,2	488,4	244,2
Decourt-Quaresma	212,9	251,3	464,3	226,6
Alberto Henriques Teixeira	187,5	110,6	298,1	149,0
Urbano Rodrigues Alonso	207,9	100,5	308,4	154,2
Média dos processos	217,1	200,5	417,6	197,1

Atenção: Para carga admissível, a capacidade de carga total deve ser dividida pelo coeficiente de segurança (CS). Os coeficientes de segurança (CS) utilizados nos métodos são os estipulados pelo seus respectivos autores. A Norma estipula valor mínimo para CS igual a 2.



Adotou-se um comprimento de 12,00m.



3.6.2.4 Sondagem SM-02

ok

Tipo de Estaca

☒ Premoldada (concreto ou aço)

☐ Franki

☐ Hélice Contínua

☐ Escavadas sem revestimentos

☐ Escavadas com revestimentos ou lama

☐ Hollow Auger

☐ Raiz

Sondagem

Cota (m)

Nº SPT

Argila Siltosa

Argila Arenosa

Silte Argiloso

Silte Arenoso

Areia Argilosa

Areia Siltosa

Areia

Areia com pedregulhos

1	18								
2	22								
3	24								
4	26								
5	25								
6	35								
7	50								
8	50								
9	50								
10	50								
11	50								
12	50								
13	50								
14	50								
15	50								
16	50								
17	50								
18	50								
19	50								
20	50								
21	50								
22	50								
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									

Comprimento total da estaca (m)

15,0m

ok

Diâmetro seção circular

400,0mm

ok

Volume base alargada (Franki) (L)

litros

Tipo de carregamento "P.P.C.V"

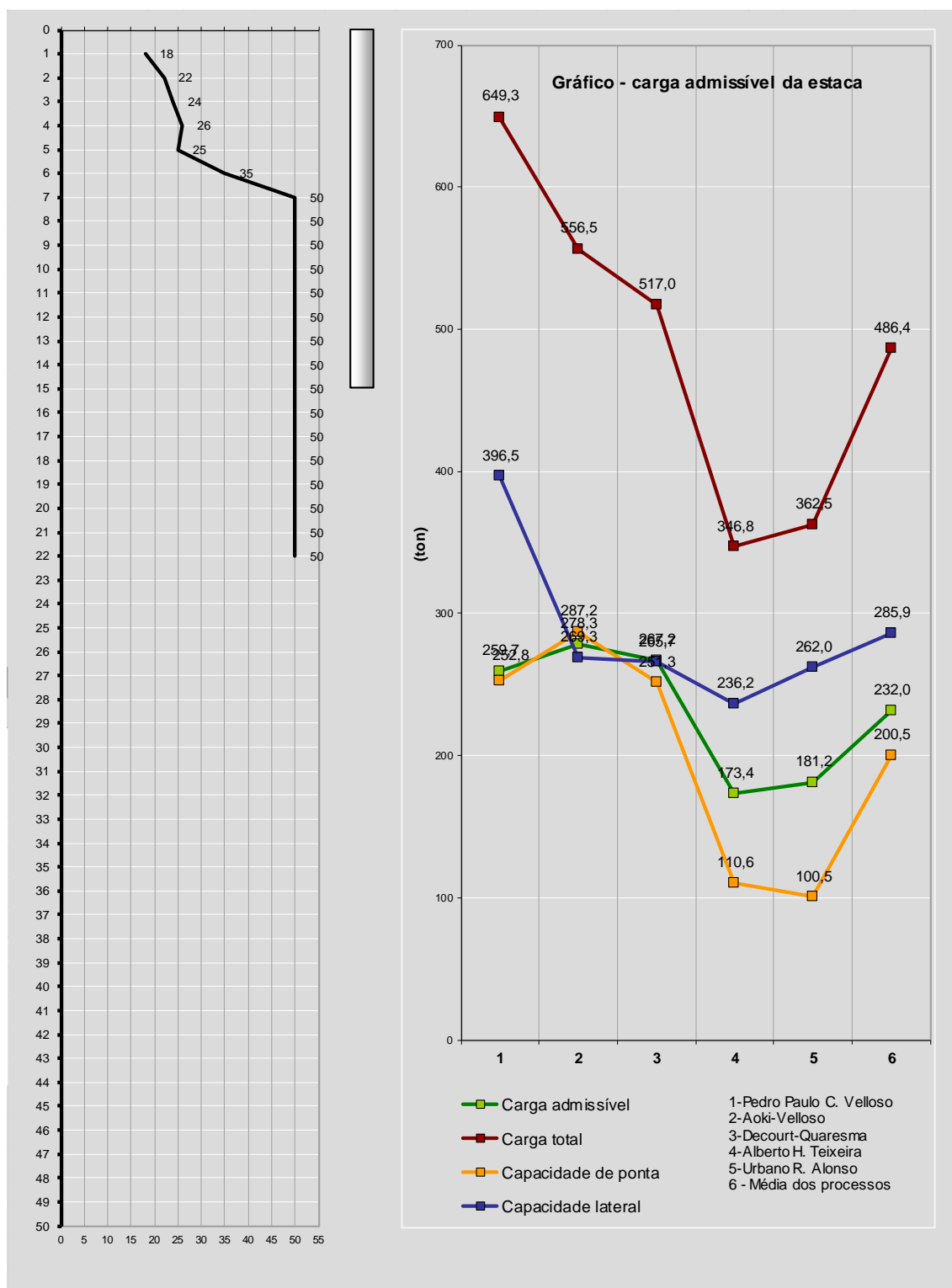
Compressão

Resultado dos "processos"

Carga admissível da estaca (t)

Capacidade de carga total da estaca (t)				
Capacidade de carga resistência de ponta (t)				
Capacidade de carga atrito lateral (t)				
Pedro Paulo Costa Velloso	396,5	252,8	649,3	259,7
Aoki-Velloso	269,3	287,2	556,5	278,3
Decourt-Quaresma	265,7	251,3	517,0	267,2
Alberto Henriques Teixeira	236,2	110,6	346,8	173,4
Urbano Rodrigues Alonso	262,0	100,5	362,5	181,2
Média dos processos	285,9	200,5	486,4	232,0

Atenção: Para carga admissível, a capacidade de carga total deve ser dividida pelo coeficiente de segurança (CS). Os coeficientes de segurança (CS) utilizados nos métodos são os estipulados pelo seus respectivos autores. A Norma estipula valor mínimo para CS igual a 2.



Adotou-se um comprimento de 15,00m.



3.6.2.5 Sondagem SM-03



Tipo de Estaca									
Sondagem									
Cota (m)	Nº SPT	Tipo do solo							
		Argila Siltosa	Argila Arenosa	Silte Argiloso	Silte Arenoso	Areia Argilosa	Areia Siltosa	Areia	Areia com pedregulhos
1	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	26	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	29	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

☒ Premoldada (concreto ou aço)

☐ Franki

☐ Hélice Contínua

☐ Escavadas sem revestimentos

☐ Escavadas com revestimentos ou lama

☐ Hollow Auger

☐ Raiz

Comprimento total da estaca (m)

15,0 m

Diâmetro seção circular

400,0 mm

Volume base alargada (Franki) (L)

litros

Tipo de carregamento "P.P.C.V"

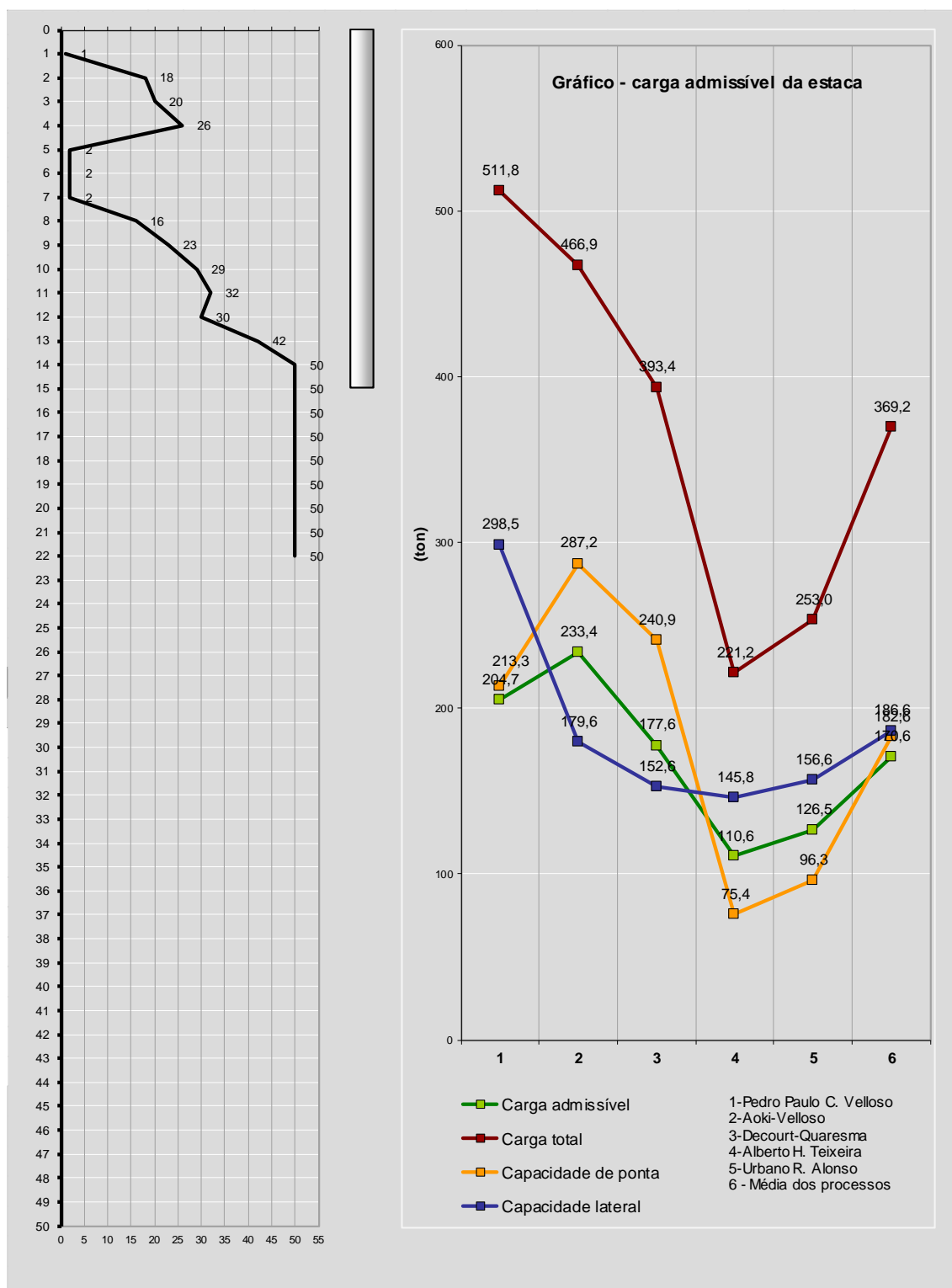
Compressão

Resultado dos "processos"

Carga admissível da estaca (t)

	Capacidade de carga total da estaca (t)	Capacidade de carga resistência de ponta (t)	Capacidade de carga atrito lateral (t)	
Pedro Paulo Costa Velloso	298,5	213,3	511,8	204,7
Aoki-Velloso	179,6	287,2	466,9	233,4
Decourt-Quaresma	152,6	240,9	393,4	177,6
Alberto Henriques Teixeira	145,8	75,4	221,2	110,6
Urbano Rodrigues Alonso	156,6	96,3	253,0	126,5
Média dos processos	186,6	182,6	369,2	170,6

Atenção: Para carga admissível, a capacidade de carga total deve ser dividida pelo coeficiente de segurança (CS). Os coeficientes de segurança (CS) utilizados nos métodos são os estipulados pelo seus respectivos autores. A Norma estipula valor mínimo para CS igual a 2.



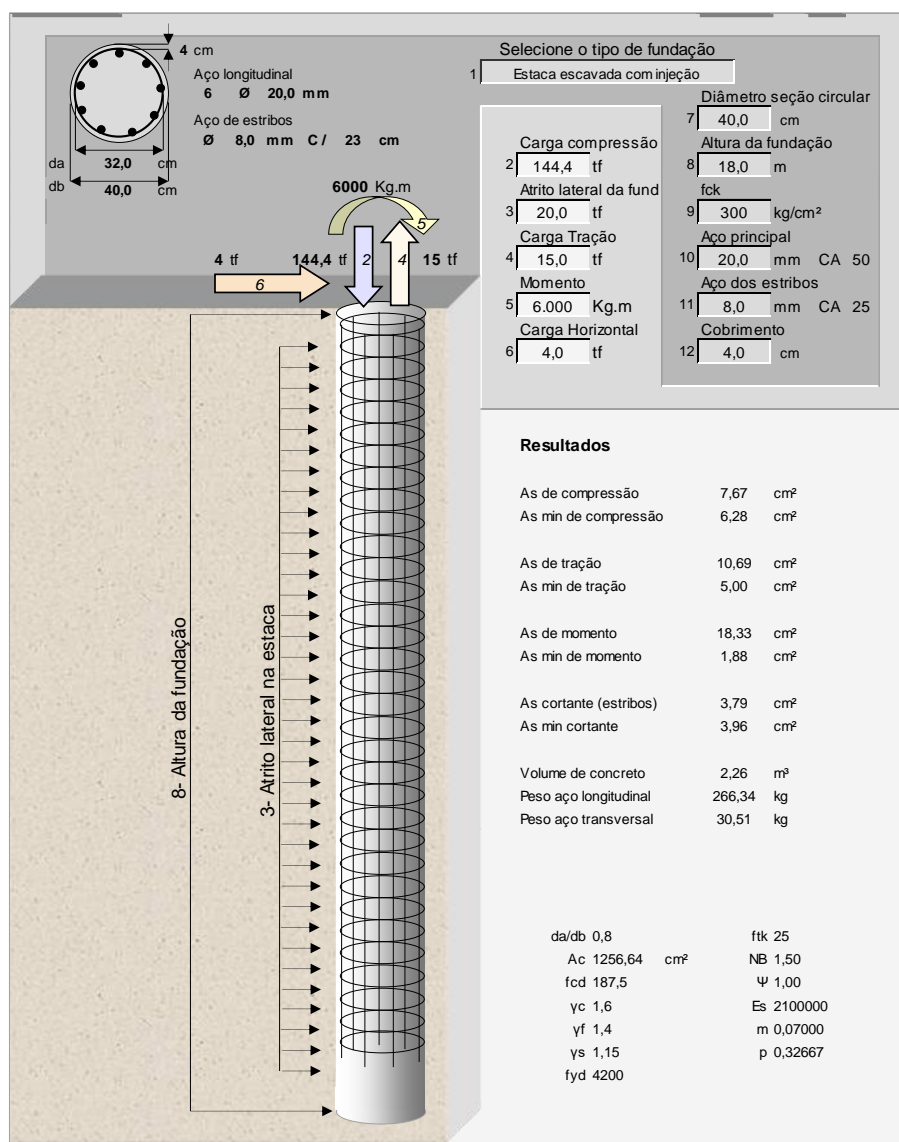
Adotou-se um comprimento de 15,00m.



3.6.2.6 Sondagem SM-04

Adotou-se um comprimento de 18,00m.

3.6.3 Dimensionamento das estacas



Foi adotado para o dimensionamento da estaca:

- 6 Ø 20mm, como armadura principal;
- Ø 8,0mm c/20cm, para os estribos;
- Comprimento total = 18,00m.



4 ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART



4 ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



ART Número
12163764

Tipo: PRESTAÇÃO DE SERVIÇO	Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO	Motivo: NORMAL

Contratado

Carteira: RS187192	Profissional: ROBSON ALEX CASTRO SOARES	E-mail: engemost@gmail.com
RNP: 2210505801	Título: Engenheiro Civil	
Empresa: ENGEMOST SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA	Nr.Reg.: 238354	

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ	E-mail:
Endereço: RUA ORMEZINDA RAMOS LOUREIRO 180	Telefone: CPF/CNPJ: 90152950000124
Cidade: ARAMBARÉ	Bairro: CENTRO CEP: 96178000 UF: RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ	CPF/CNPJ: 90152950000124
Endereço da Obra/Serviço: RUA ORMEZINDA RAMOS LOUREIRO 180	CEP: 96178000 UF: RS
Cidade: ARAMBARÉ	Bairro: CENTRO
Finalidade: OUTRAS FINALIDADES	Vlr Contrato(R\$): 183.443,06 Honorários(R\$):
Data Início: 08/08/2022 Prev.Fim: 08/12/2022	Ent.Classe:

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Coordenação Técnica	Obras de Arte	1,00	UN
Estudo	Sondagens e Estudos Geotécnicos	1,00	UN
Estudo	Hidrologia	1,00	UN
Estudo	Topografia - Levantamento Planialtimétrico	1,00	UN
Projeto	Obras de Arte	1,00	UN
Projeto	Estradas - Projeto Geométrico	1,00	UN
Projeto	Estradas - Sinalização	1,00	UN
Projeto	Estradas - Pavimentação	1,00	UN
Projeto	Fundações Profundas	1,00	UN
Projeto	Geotecnia - Leitões/Cortes/Aterros de Estradas	1,00	UN
Projeto	Estruturas - Muros de Contenção	1,00	UN
Projeto	Drenagem	1,00	UN
Estudo	Impacto Ambiental	1,00	UN
Projeto	ILUMINAÇÃO PÚBLICA	1,00	UN
Orçamento	TODAS AS ATIVIDADES	1,00	UN

ART registrada (paga) no CREA-RS em 03/10/2022

Canoas 04/10/2022	Declaro serem verdadeiras as informações acima ROBSON ALEX CASTRO SOARES 02052142070	De acordo
Local e Data	Profissional ROBSON ALEX CASTRO SOARES	Contratante MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



ART Número
12163764

Contratado

Nr. Carteira: RS187192 Profissional: ROBSON ALEX CASTRO SOARES E-mail: engemost@gmail.com
Nr. RNP: 2210505801 Título: Engenheiro Civil
Empresa: ENGEMOST SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA Nr. Reg.: 238354

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE ARAMARÉ E-mail:
Endereço: RUA ORMEZINDA RAMOS LOUREIRO 180 Telefone: CPF/CNPJ: 90152950000124
Cidade: ARAMARÉ Bairro: CENTRO CEP: 96178000 UF: RS

RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

Contrato nº 038/2022 - TP nº 03/2022 - Município de Aramaré - Processo 997/2022
-
Objeto
ELABORAÇÃO DOS PROJETOS EXECUTIVOS DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DA NOVA PONTE JOÃO GOULART
-
Continuação das atividades
Projeto de Estradas - Obras complementares
Levantamento topográfico planialtimétrico e batimétrico georeferenciado
Projeto de Estruturas de Concreto Pré-Moldado
Projetos de Estruturas de Concreto Protendido
Projeto e Execução de sondagens mistas com auxílio de flutuante.
Projeto de Estruturas Metálicas
Vistoria de Pontes Viadutos e Elevados
Especificação técnica de Pontes, viadutos e Elevados
Projeto Arquitetônico
Inspeção Pontes, viadutos e elevados
Projeto Estradas - Estudo de Traçado
Projeto Estradas - Projeto de Terraplenagem
Projeto Acessos de Aproximação da Obra de Arte Especial
Projeto de Desapropriação
Projeto de iluminação pública
Memorial de Cálculo de Obras de Arte Especial
Memorial Obras de Arte Especial
Diagnóstico Ambiental, avaliação de impactos ambientais e medidas mitigatórias
Projeto de Demolição da Ponte existente

Canoas 04/10/2022

Local e Data

Declaro serem verdadeiras as informações acima
ROBSON ALEX CASTRO
SOARES: 02052142070

Profissional

De acordo

Contratante



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



ART Número
12163794

Tipo: PRESTAÇÃO DE SERVIÇO Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO Motivo: NORMAL

Contratado

Carteira: RS154518 Profissional: TIAGO RODRIGUES BORGES E-mail: eng.borgestiago@gmail.com
RNP: 2205731033 Título: Engenheiro Civil
Empresa: ENGE MOST SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA Nr.Reg.: 238354

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ E-mail:
Endereço: RUA ORMEZINDA RAMOS LOUREIRO 180 Telefone: CPF/CNPJ: 90152950000124
Cidade: ARAMBARÉ Bairro: CENTRO CEP: 96178000 UF: RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ
Endereço da Obra/Serviço: Rua ORMEZINDA RAMOS LOUREIRO 180 CPF/CNPJ: 90152950000124
Cidade: ARAMBARÉ Bairro: CENTRO CEP: 96178000 UF: RS
Finalidade: OUTRAS FINALIDADES Vlr Contrato(RS): 183.443,06 Honorários(RS):
Data Início: 08/08/2022 Prev.Fim: 08/12/2022 Ent.Classe:

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Coordenação Técnica	Obras de Arte	1,00	UN
Estudo	Sondagens e Estudos Geotécnicos	1,00	UN
Estudo	Hidrologia	1,00	UN
Estudo	Topografia - Levantamento Planialtimétrico	1,00	UN
Projeto	Obras de Arte	1,00	UN
Projeto	Estradas - Projeto Geométrico	1,00	UN
Projeto	Estradas - Sinalização	1,00	UN
Projeto	Estradas - Pavimentação	1,00	UN
Projeto	Fundações Profundas	1,00	UN
Projeto	Geotecnia - Leitões/Cortes/Aterros de Estradas	1,00	UN
Projeto	Estruturas - Muros de Contenção	1,00	UN
Projeto	Drenagem	1,00	UN
Estudo	Impacto Ambiental	1,00	UN
Projeto	ILUMINAÇÃO PÚBLICA	1,00	UN
Orçamento	TODAS AS ATIVIDADES	1,00	UN

ART registrada (paga) no CREA-RS em 03/10/2022

Canoas 04/10/2022	Declaro serem verdadeiras as informações acima TIAGO RODRIGUES BORGES.00725427051 Assinado de forma digital por TIAGO RODRIGUES BORGES.00725427051 Data: 2022.10.04 11:36:30 -03'00'	De acordo MUNICÍPIO DE ARAMBARÉ
Local e Data	Profissional	Contratante

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



ART Número
12163794

Contratado

Nr. Carteira: RS154518 Profissional: TIAGO RODRIGUES BORGES E-mail: eng.borgestiago@gmail.com
Nr. RNP: 2205731033 Título: Engenheiro Civil
Empresa: ENGE MOST SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA Nr. Reg.: 238354

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE ARAMARÉ E-mail:
Endereço: RUA ORMEZINDA RAMOS LOUREIRO 180 Telefone: CPF/CNPJ: 90152950000124
Cidade: ARAMARÉ Bairro: CENTRO CEP: 96178000 UF: RS

RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

Contrato nº 038/2022 - TP nº 03/2022 - Município de Aramaré - Processo 997/2022
-
Objeto
ELABORAÇÃO DOS PROJETOS EXECUTIVOS DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DA NOVA PONTE JOÃO GOULART
-
Continuação das atividades
Projeto de Estradas - Obras complementares
Levantamento topográfico planialtimétrico e batimétrico georeferenciado
Projeto de Estruturas de Concreto Pré-Moldado
Projetos de Estruturas de Concreto Protendido
Projeto e Execução de sondagens mistas com auxílio de flutuante.
Projeto de Estruturas Metálicas
Vistoria de Pontes Viadutos e Elevados
Especificação técnica de Pontes, viadutos e Elevados
Projeto Arquitetônico
Inspeção Pontes, viadutos e elevados
Projeto Estradas - Estudo de Traçado
Projeto Estradas - Projeto de Terraplenagem
Projeto Acessos de Aproximação da Obra de Arte Especial
Projeto de Desapropriação
Projeto de iluminação pública
Memorial de Cálculo de Obras de Arte Especial
Memorial Obras de Arte Especial
Diagnóstico Ambiental, avaliação de impactos ambientais e medidas mitigatórias
Projeto de Demolição da Ponte existente

Canoas 04/10/2022

Local e Data

Declaro serem verdadeiras as informações acima
TIAGO RODRIGUES
BORGES:00725427051
Assinado de forma digital por TIAGO RODRIGUES
BORGES:00725427051
Dados: 2022.10.04 11:16:53 -03'00'

Profissional

De acordo

Contratante



5 DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA



5 DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

O Eng.º Robson Alex Castro Soares e o Eng.º Tiago Rodrigues Borges, responsáveis pelos Projetos de Execução, Projeto de OAE, Projeto de Drenagem, Projeto de Sinalização, Projeto de Terraplenagem e Pavimentação, Orçamento, Especificações e Plano de Execução, e a empresa **ENGEMOST SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA.**, aqui representada pelos seus responsáveis técnicos, Eng.º Robson Soares e Eng.º Tiago Borges, declaramos que acompanhamos todas as etapas do projeto desde a concepção ao produto final do projeto executivo, e que obedecem rigorosamente às normas técnicas e instruções de serviços (IS) em vigor, etapas necessárias para a ELABORAÇÃO DE PROJETO BÁSICO E EXECUTIVO DE ENGENHARIA DA PONTE SOBRE O ARROIO VELHACO, EM ARAMBARÉ/RS, e assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

Canoas, 17 de março de 2023.

Robson Soares
Responsável Técnico – CREA-RS 187.192



6 TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E ENCERRAMENTO



6 TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E ENCERRAMENTO

Informações técnicas eventualmente obtidas durante a realização das atividades envolvidas neste memorial, como especificação, funcionamento, organização ou desempenho da empresa cliente serão tidas como confidenciais e sigilosas sempre que tal condição for solicitada.

A ENGEMOST Soluções em Engenharia apresenta o **MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS**, referente a ELABORAÇÃO DE PROJETO BÁSICO E EXECUTIVO DE ENGENHARIA DA PONTE SOBRE O ARROIO VELHACO, EM ARAMBARÉ/RS.

Este relatório possui 146 páginas, incluindo esta, numeradas sequencialmente.

Canoas, 17 de março de 2023.

Robson Soares
Responsável Técnico – CREA-RS 187.192