

ENGEMOST****
SOLUÇÕES EM ENGENHARIA

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA RAMADA/RS

**ELABORAÇÃO DE PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DE DUAS
PONTES EM CONCRETO ARMADO, MOLDADO IN LOCO
OU PRÉ MOLDADO OU ESTRUTURA MISTA SOBRE O RIO
FAXINAL E PINHALZINHO NA ERS 539, NO ACESSO AO
MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA/RS**

**PROJETO EXECUTIVO
VOLUME 3B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS**

SETEMBRO/2022





VOLUME 3B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS

PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA DA PONTE SOBRE O
RIO FAXINAL E DA PONTE SOBRE O RIO PINHALZINHO

MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA/RS

00	Emissão inicial	R.S.	08/09/2022
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 RIO FAXINAL	19
3.1	INTRODUÇÃO	19
3.2	MODELO COMPUTACIONAL.....	20
3.2.1	<i>Superestrutura.....</i>	<i>23</i>
3.2.1.1	Geometria do modelo	23
3.2.1.2	Propriedades do modelo	24
3.2.1.3	Apoios do modelo	26
3.2.1.4	Materiais do modelo	26
3.2.1.5	Ações do modelo.....	27
3.2.1.5.1	Peso próprio das vigas.....	27
3.2.1.5.2	Peso próprio das transversinas	27
3.2.1.5.3	Peso próprio da laje principal.....	28
3.2.1.5.4	Peso próprio da pavimentação	28
3.2.1.5.5	Peso próprio da barreira rígida “New Jersey”	29
3.2.1.5.6	Frenagem e aceleração	29
3.2.1.5.7	Vento.....	30
3.2.1.5.8	Temperatura	30
3.2.1.5.9	Retração e fluência.....	31
3.2.1.5.10	Trem-tipo TB-450 e multidão – Módulo de Pontes	31
3.2.2	<i>Mesoestrutura.....</i>	<i>35</i>



3.2.2.1	Geometria do modelo	35
3.2.2.2	Propriedades do modelo	36
3.2.2.3	Apoios do modelo	37
3.2.2.4	Materiais do modelo	37
3.2.2.5	Ações do modelo.....	38
3.2.2.5.1	Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura	38
3.2.2.5.2	Empuxo de terra.....	38
3.3	SUPERESTRUTURA.....	39
3.3.1	<i>Vigas</i>	39
3.3.1.1	Resultados.....	40
3.3.1.2	Dimensionamento	42
3.3.1.3	Armadura adotada	45
3.3.2	<i>Transversinas</i>	46
3.3.3	<i>Laje principal</i>	50
3.3.4	<i>Laje de transição</i>	55
3.3.5	<i>Barreira rígida</i>	56
3.4	MESOESTRUTURA	57
3.4.1	<i>Apoios E1 e E2</i>	57
3.5	INFRAESTRUTURA.....	59
3.5.1	<i>Tensão admissível do solo</i>	60
3.5.2	<i>Dimensionamento das sapatas</i>	67
3.5.3	<i>Recalque inicial</i>	69
4	MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O RIO PINHALZINHO...	71
4.1	INTRODUÇÃO	71
4.2	MODELO COMPUTACIONAL.....	72



4.2.1	<i>Superestrutura</i>	75
4.2.1.1	Geometria do modelo	75
4.2.1.2	Propriedades do modelo	76
4.2.1.3	Apoios do modelo	78
4.2.1.4	Materiais do modelo	78
4.2.1.5	Ações do modelo	79
4.2.1.5.1	Peso próprio das vigas	79
4.2.1.5.2	Peso próprio das transversinas	79
4.2.1.5.3	Peso próprio da laje principal	80
4.2.1.5.4	Peso próprio da pavimentação	80
4.2.1.5.5	Peso próprio da barreira rígida “New Jersey”	81
4.2.1.5.6	Frenagem e aceleração	81
4.2.1.5.7	Vento	82
4.2.1.5.8	Temperatura	82
4.2.1.5.9	Retração e fluência	83
4.2.1.5.10	Trem-tipo TB-450 e multidão – Módulo de Pontes	83
4.2.2	<i>Mesoestrutura</i>	87
4.2.2.1	Geometria do modelo	87
4.2.2.2	Propriedades do modelo	88
4.2.2.3	Apoios do modelo	89
4.2.2.4	Materiais do modelo	89
4.2.2.5	Ações do modelo	90
4.2.2.5.1	Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura	90
4.2.2.5.2	Empuxo de terra	90
4.3	SUPERESTRUTURA	91
4.3.1	<i>Vigas</i>	91
4.3.1.1	Resultados	92
4.3.1.2	Dimensionamento	94



4.3.1.3	Armadura adotada	97
4.3.2	<i>Transversinas</i>	<i>98</i>
4.3.3	<i>Laje principal</i>	<i>102</i>
4.3.4	<i>Laje de transição</i>	<i>107</i>
4.3.5	<i>Barreira rígida.....</i>	<i>108</i>
4.4	MESOESTRUTURA	109
4.4.1	<i>Apoios E1 e E2</i>	<i>109</i>
4.5	INFRAESTRUTURA.....	111
4.5.1	<i>Tensão admissível do solo.....</i>	<i>112</i>
4.5.2	<i>Dimensionamento das sapatas.....</i>	<i>119</i>
4.5.3	<i>Recalque inicial.....</i>	<i>121</i>
5	ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART.....	123
6	DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA.....	128
7	TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E ENCERRAMENTO	130



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de barras e elementos de placa	21
Figura 2 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado	22
Figura 3 – Seção transversal do modelo computacional.....	23
Figura 4 – Modelo computacional em planta baixa da superestrutura	24
Figura 5 – Visualização das propriedades geométricas da OAE	24
Figura 6 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da superestrutura ...	26
Figura 7 – Módulo de Cargas: Peso próprio das vigas	27
Figura 8 – Módulo de Cargas: Peso próprio das transversinas	27
Figura 9 – Módulo de Cargas: Peso próprio da laje principal	28
Figura 10 – Módulo de Cargas: Peso próprio da pavimentação	28
Figura 11 – Módulo de Cargas: Peso próprio da barreira rígida.....	29
Figura 12 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração	29
Figura 13 – Módulo de Cargas: Vento	30
Figura 14 – Módulo de Cargas: Temperatura	30
Figura 15 – Módulo de Cargas: Retração e fluência	31
Figura 16 – Módulo de Pontes: Faixas	33
Figura 17 – Módulo de Pontes: Faixas	34



Figura 18 – Modelo computacional da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2	35
Figura 19 – Modelo computacional renderizado da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2	35
Figura 20 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da mesoestrutura .	37
Figura 21 – Módulo de Cargas: Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura.....	38
Figura 22 – Módulo de Cargas: Empuxo de terra	38
Figura 23 – Seção da transversal no vão da OAE.....	39
Figura 24 – Momento Fletor M2 – ELU.....	40
Figura 25 – Esforço Cortante V3 – ELU.....	40
Figura 26 – Solicitações nas Vigas – ELU	41
Figura 27 – Tela de entrada aplicativo T-Rüsch	51
Figura 28 – Momento fletor MX, face +Z (tf.m/m)	58
Figura 29 – Momento fletor MX, face -Z (tf.m/m)	58
Figura 30 – Momento fletor MY, face+-Z (tf.m/m)	59
Figura 31 – Momento fletor MY, face--Z (tf.m/m)	59
Figura 32 – Modelo de barras e elementos de placa	73
Figura 33 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado.....	74
Figura 34 – Seção transversal do modelo computacional.....	75



Figura 35 – Modelo computacional em planta baixa da superestrutura	76
Figura 36 – Visualização das propriedades geométricas da OAE	76
Figura 37 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da superestrutura	78
Figura 38 – Módulo de Cargas: Peso próprio das vigas	79
Figura 39 – Módulo de Cargas: Peso próprio das transversinas	79
Figura 40 – Módulo de Cargas: Peso próprio da laje principal	80
Figura 41 – Módulo de Cargas: Peso próprio da pavimentação	80
Figura 42 – Módulo de Cargas: Peso próprio da barreira rígida	81
Figura 43 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração	81
Figura 44 – Módulo de Cargas: Vento	82
Figura 45 – Módulo de Cargas: Temperatura	82
Figura 46 – Módulo de Cargas: Retração e fluência	83
Figura 47 – Módulo de Pontes: Faixas	85
Figura 48 – Módulo de Pontes: Faixas	86
Figura 49 – Modelo computacional da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2	87
Figura 50 – Modelo computacional renderizado da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2	87
Figura 51 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da mesoestrutura	89



Figura 52 – Módulo de Cargas: Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura.....	90
Figura 53 – Módulo de Cargas: Empuxo de terra	90
Figura 54 – Seção da transversal no vão da OAE.....	91
Figura 55 – Momento Fletor M2 – ELU.....	92
Figura 56 – Esforço Cortante V3 – ELU.....	92
Figura 57 – Solicitações nas Vigas – ELU.....	93
Figura 58 – Tela de entrada aplicativo T-Rüsch	103
Figura 59 – Momento fletor MX, face +Z (tf.m/m)	110
Figura 60 – Momento fletor MX, face -Z (tf.m/m)	110
Figura 61 – Momento fletor MY, face+-Z (tf.m/m)	111
Figura 62 – Momento fletor MY, face--Z (tf.m/m)	111



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).....	39
Tabela 2 - Parâmetros do Solo.....	64
Tabela 3 - Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto (considerado o uso de granito como agregado graúdo).....	91
Tabela 4 - Parâmetros do Solo.....	116



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 Nova Ramada/RS, a **ELABORAÇÃO DE PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DE DUAS PONTES EM CONCRETO ARMADO, MOLDADO IN LOCO OU PRÉ MOLDADO OU ESTRUTURA MISTA SOBRE O RIO FAXINAL E PINHALZINHO NA ERS 539, NO ACESSO AO MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA/RS.**

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

- Nome da obra: Ponte sobre o Rio Faxinal e Ponte sobre o Rio Pinhalzinho
- Localização: Nova Ramada/RS
- Extensão: 10,60 m;
- Largura: 8,00 m;
- Número do Edital de Licitação: TP 04/2022;
- Data da Homologação: 22/12/2021;
- Número do Contrato: 103/2022;
- Data de Assinatura do Contrato: 20/07/2022;
- Data da Ordem de Início dos Serviços: 20/07/2022;



1.2 Volumes componentes do Projeto

Os projetos da **ELABORAÇÃO DE PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DE DUAS PONTES EM CONCRETO ARMADO, MOLDADO IN LOCO OU PRÉ MOLDADO OU ESTRUTURA MISTA SOBRE O RIO FAXINAL E PINHALZINHO NA ERS 539, NO ACESSO AO MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA/RS**, são apresentados nos volumes discriminados a seguir:

- VOLUME 2- PROJETO DE EXECUÇÃO DA OBRA;
- VOLUME 3 - MEMÓRIA JUSTIFICATIVA:
 - ESTUDO HIDROLÓGICO;
- VOLUME 3B - MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS
- VOLUME 4 - ORÇAMENTO E PLANO DE EXECUÇÃO DA OBRA

Robson Soares

Responsável Técnico – CREA-RS 187.192

Tiago Borges

Responsável Técnico – CREA-RS 154.518



2 MAPA DE SITUAÇÃO



2 MAPA DE SITUAÇÃO



3 MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O RIO FAXINAL



3 MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O RIO FAXINAL

3.1 Introdução

Dados gerais da estrutura:

- Comprimento total = 10,60m;
- Comprimento do vão = 10,00m;
- Largura total do tabuleiro = 8,00m
- Ponte para Carga Móvel TB-45 (Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – IPR 709)

Classe de Agressividade Ambiental II:

- Cobrimento
 - Laje: 25mm
 - Viga: 30mm
 - Pilares: 30mm
 - Fundações: 30mm

Materiais:

- Concreto estrutural:
 - Infraestruturas: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
 - Mesoestrutura: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
 - Superestrutura: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
- Aço
 - CA-50 (Estrutura de concreto armado)



3.2 Modelo computacional

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 de placa e restrição nos apoios, os quais representam respectivamente as paredes 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 sapatas.

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.

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.

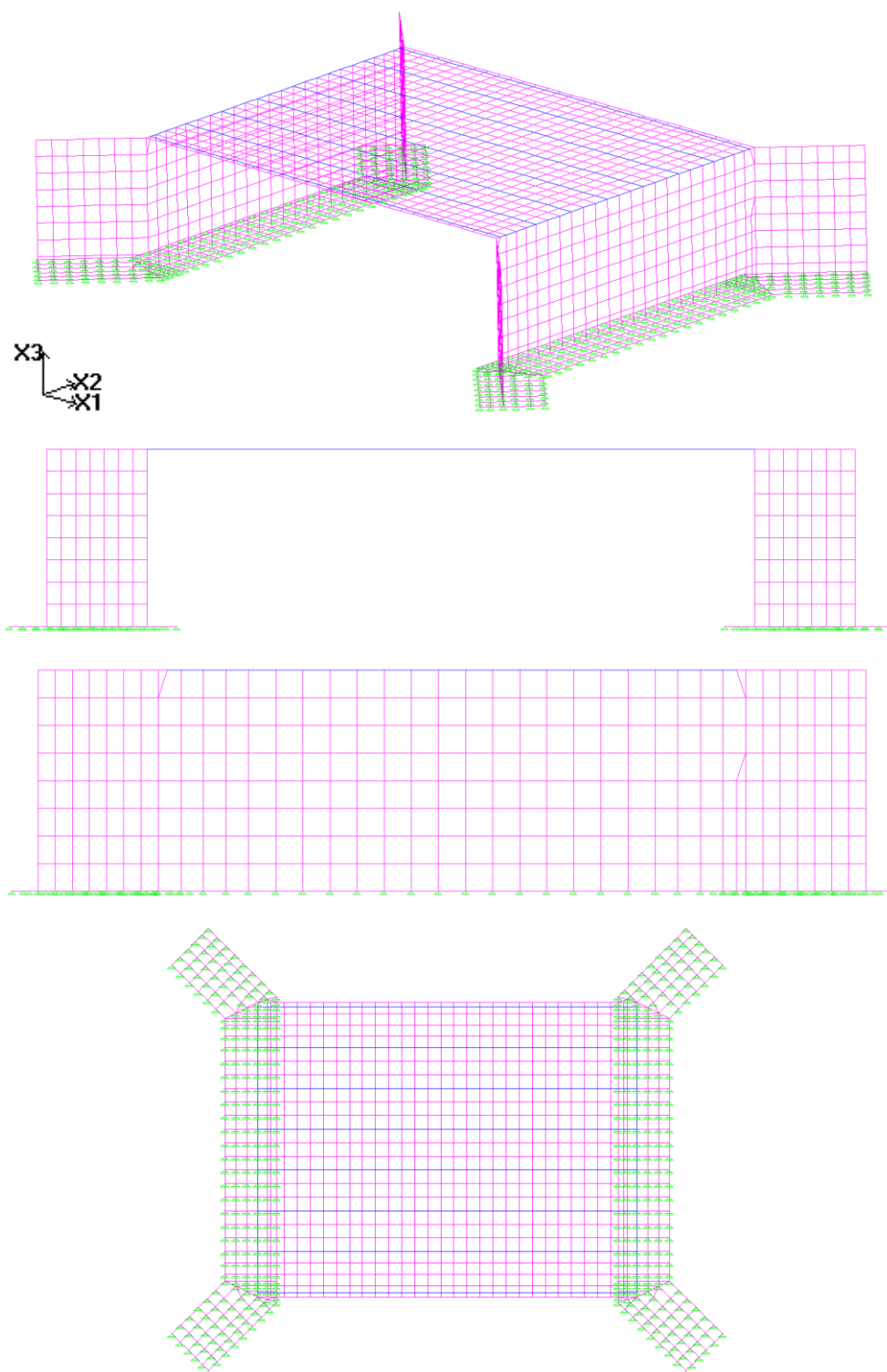


Figura 1 – Modelo de barras e elementos de placa

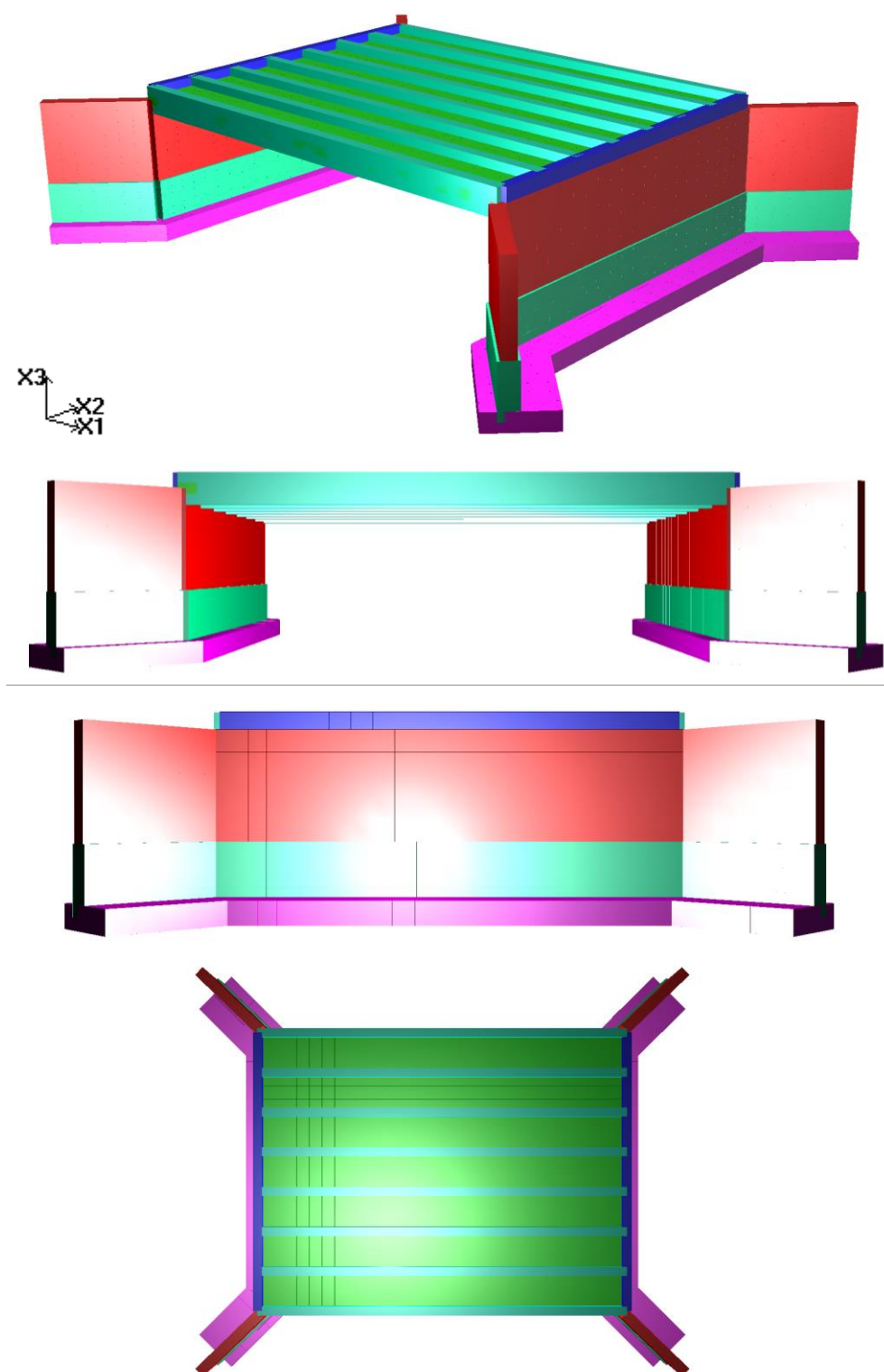


Figura 2 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado

3.2.1 Superestrutura

3.2.1.1 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.

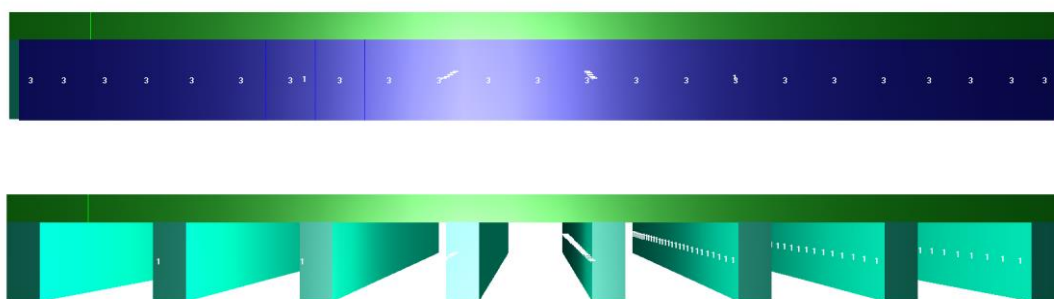


Figura 3 – Seção transversal do modelo computacional

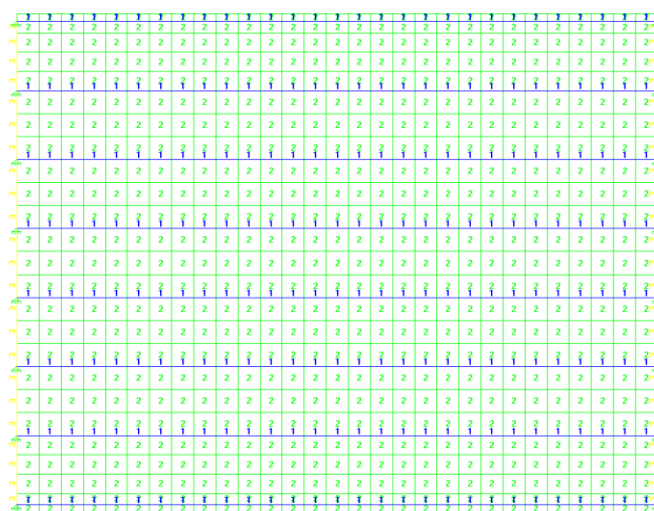


Figura 4 – Modelo computacional em planta baixa da superestrutura

A Ponte sobre o Rio Faxinal possui 10,60m de comprimento, que é a distância entre o início e fim da obra. Para o cálculo da obra o vão teórico adotado é de 10,00m.

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;
- Guarda-rodas representados por elemento de barra fictícia.

3.2.1.2 Propriedades do modelo

A seguir apresentamos algumas propriedades geométricas das seções:

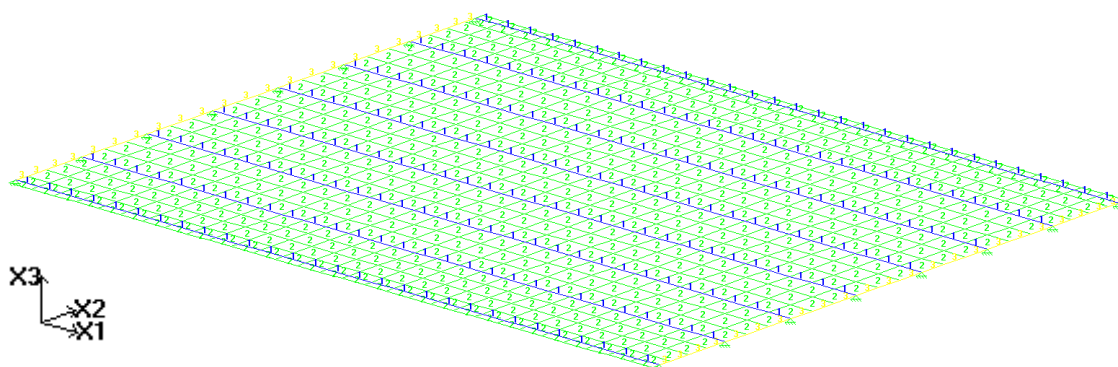
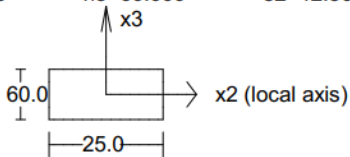
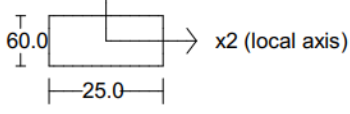


Figura 5 – Visualização das propriedades geométricas da OAE



SECTION PROPERTY TABLE (units - cm.)					
PROPERTY NO. 1					
A=0.1500E+04	I2=0.4500E+06	I3=0.7812E+05	J=0.2307E+06	SF2=0.850	
Material = 1 - C30	Perimeter=170.000			SF3=0.850	
h2=25.000	h3=60.000	e2=12.500	e3=30.000		
					
PROPERTY NO. 2					
Thickness =	21.000				
Material = 1 - C30				SF3=0.000	
PROPERTY NO. 3					
A=0.1500E+04	I2=0.4500E+06	I3=0.7812E+05	J=0.2307E+06	SF2=0.850	
Material = 1 - C30	Perimeter=170.000			SF3=0.850	
h2=25.000	h3=60.000	e2=12.500	e3=30.000		
					

3.2.1.3 Apoios do modelo

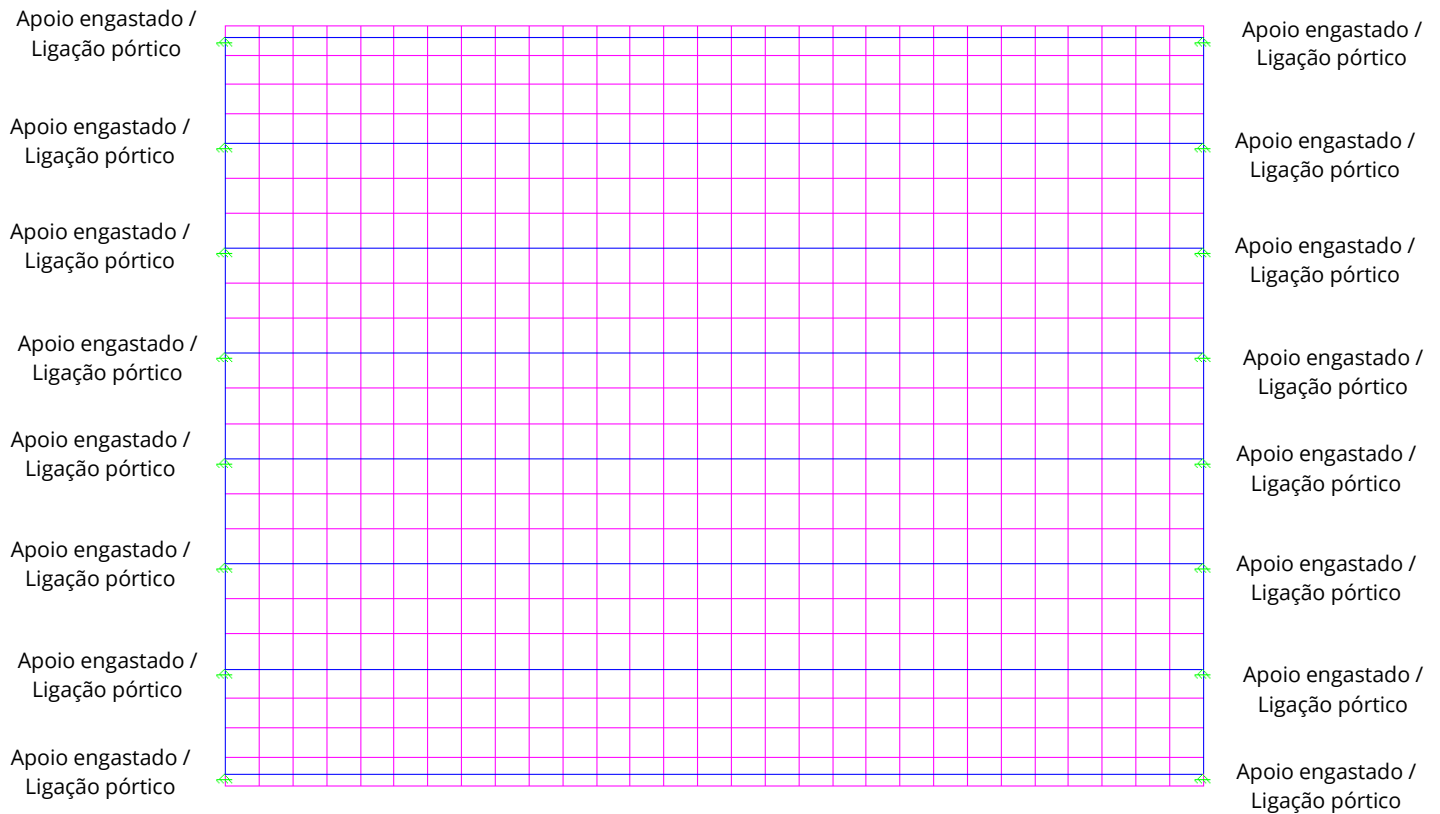


Figura 6 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da superestrutura

3.2.1.4 Materiais do modelo

- C30: Concreto Fck 30Mpa

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

3.2.1.5 Ações do modelo

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

3.2.1.5.1 Peso próprio das vigas

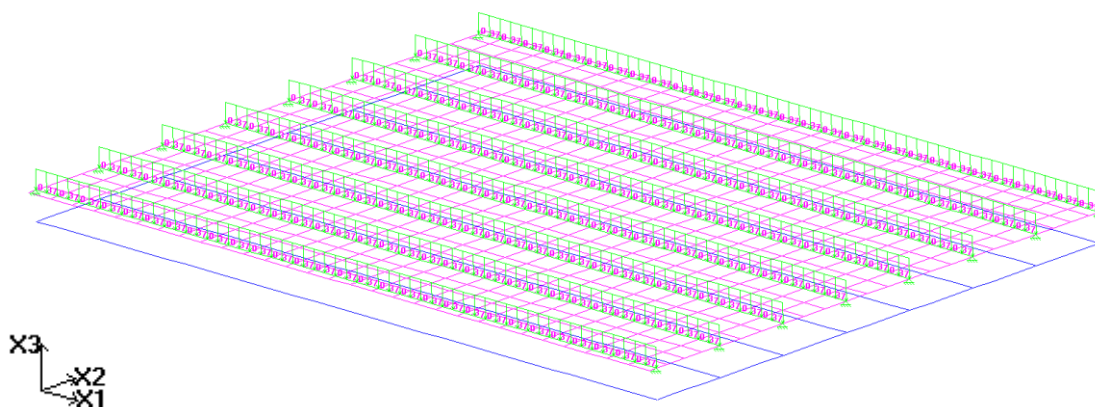


Figura 7 – Módulo de Cargas: Peso próprio das vigas

3.2.1.5.2 Peso próprio das transversinas

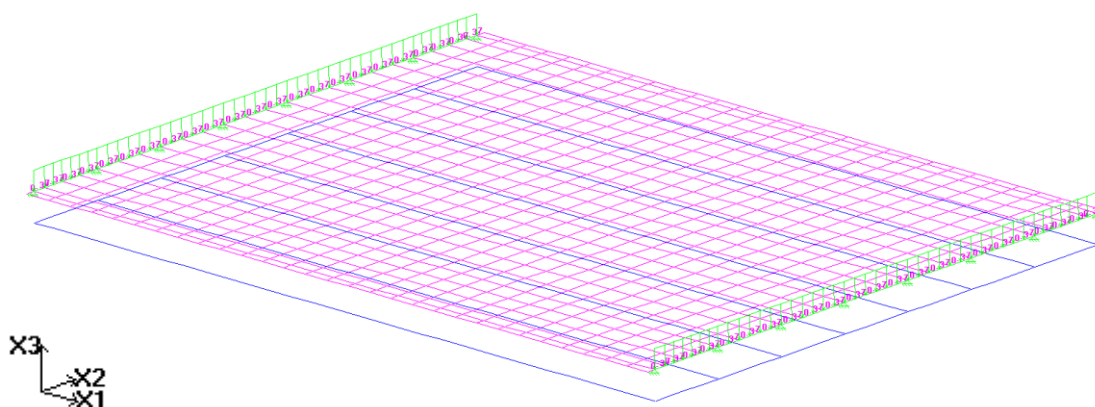


Figura 8 – Módulo de Cargas: Peso próprio das transversinas

3.2.1.5.3 Peso próprio da laje principal

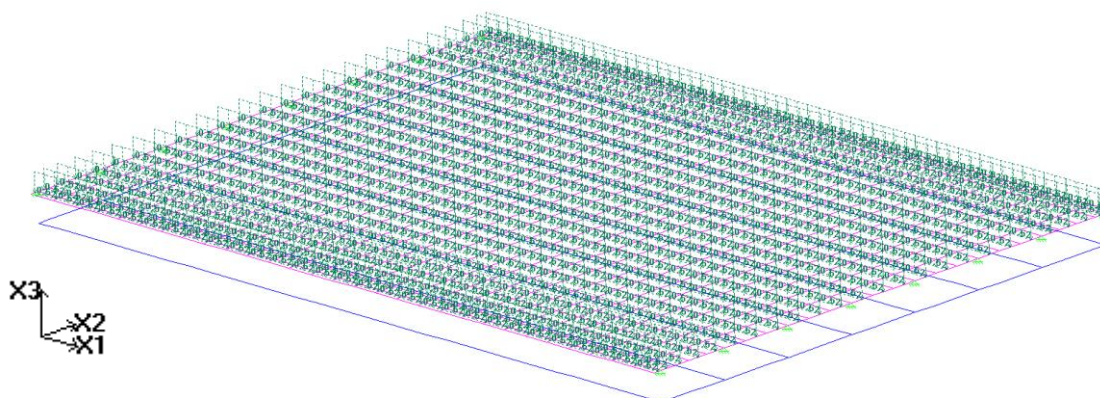


Figura 9 – Módulo de Cargas: Peso próprio da laje principal

3.2.1.5.4 Peso próprio da pavimentação

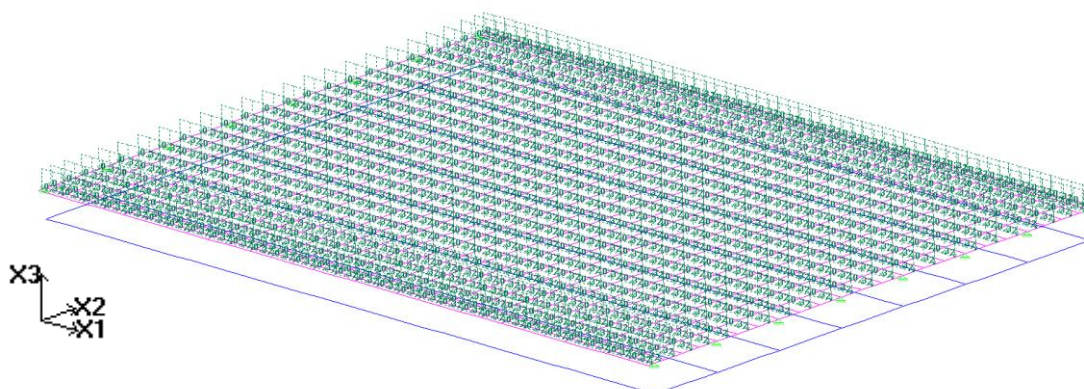


Figura 10 – Módulo de Cargas: Peso próprio da pavimentação

3.2.1.5.5 Peso próprio da barreira rígida “New Jersey”

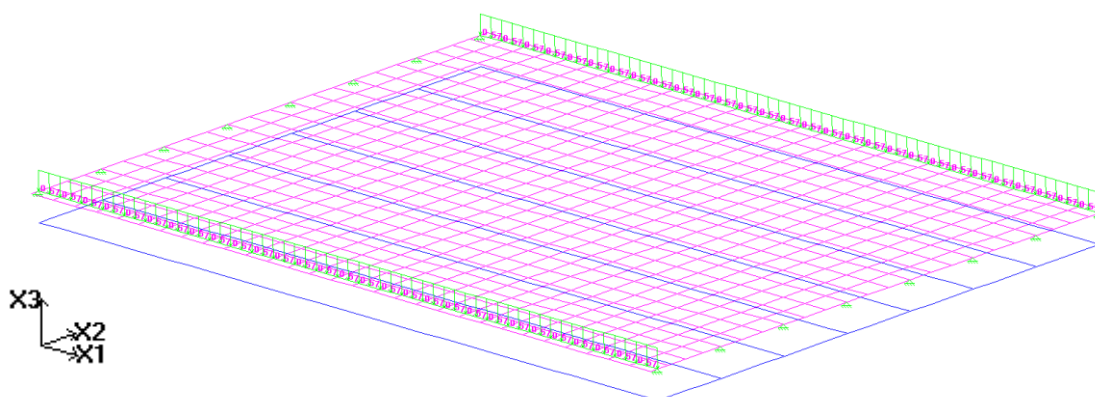


Figura 11 – Módulo de Cargas: Peso próprio da barreira rígida

3.2.1.5.6 Frenagem e aceleração

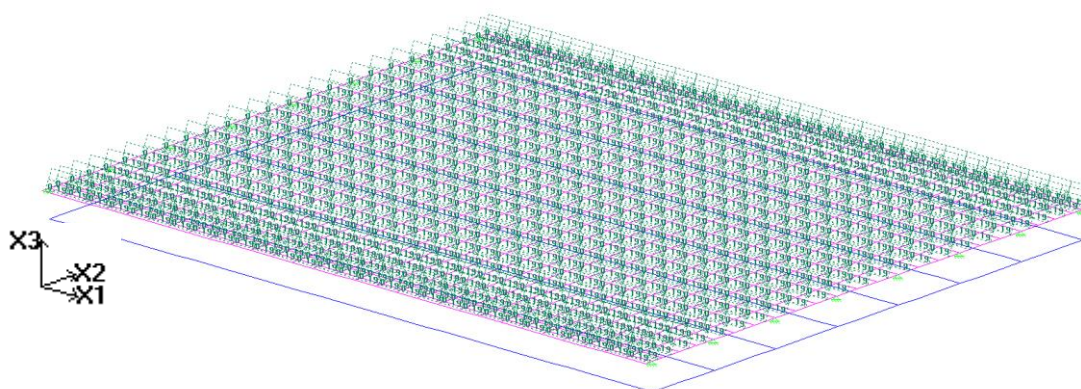


Figura 12 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração

3.2.1.5.7 Vento

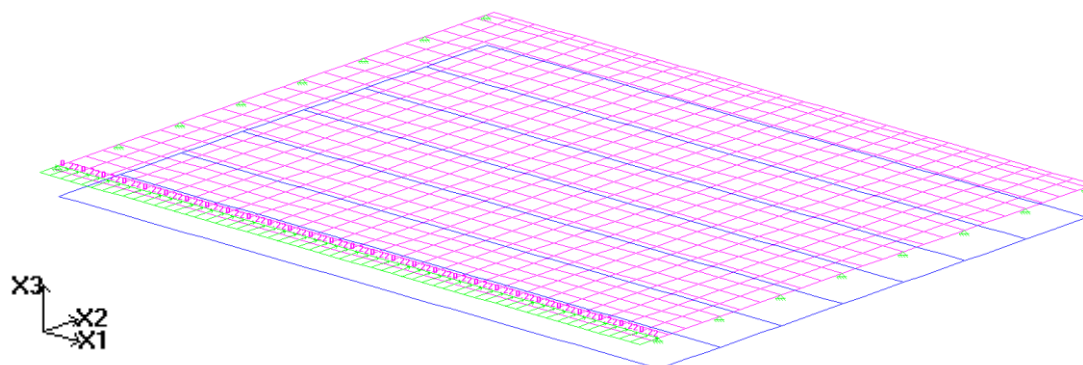


Figura 13 – Módulo de Cargas: Vento

3.2.1.5.8 Temperatura

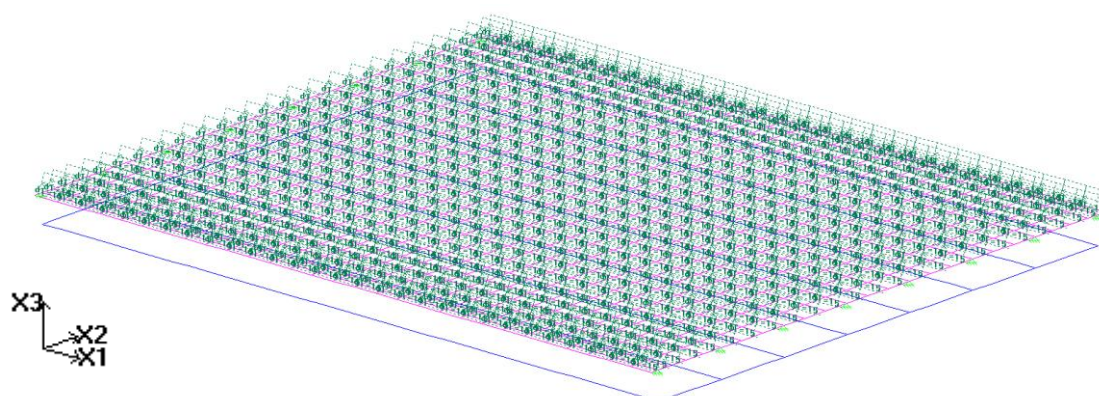


Figura 14 – Módulo de Cargas: Temperatura

3.2.1.5.9 Retração e fluência

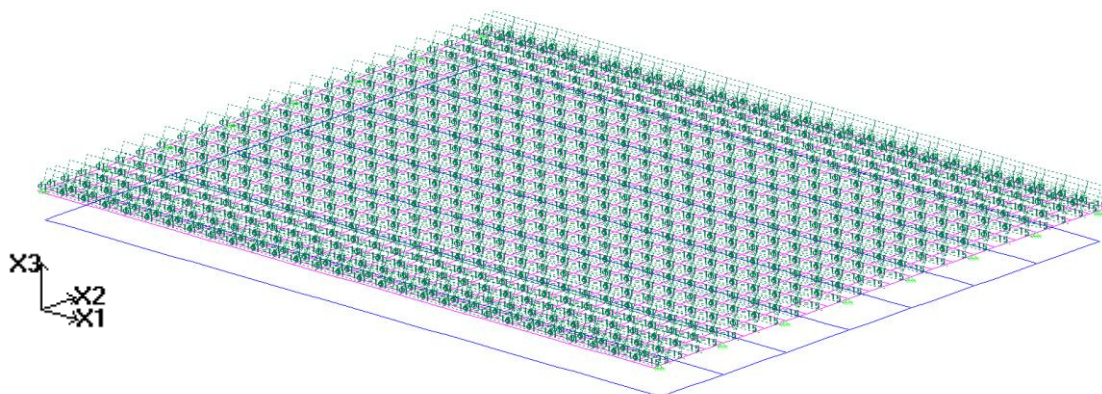


Figura 15 – Módulo de Cargas: Retração e fluência

3.2.1.5.10 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.

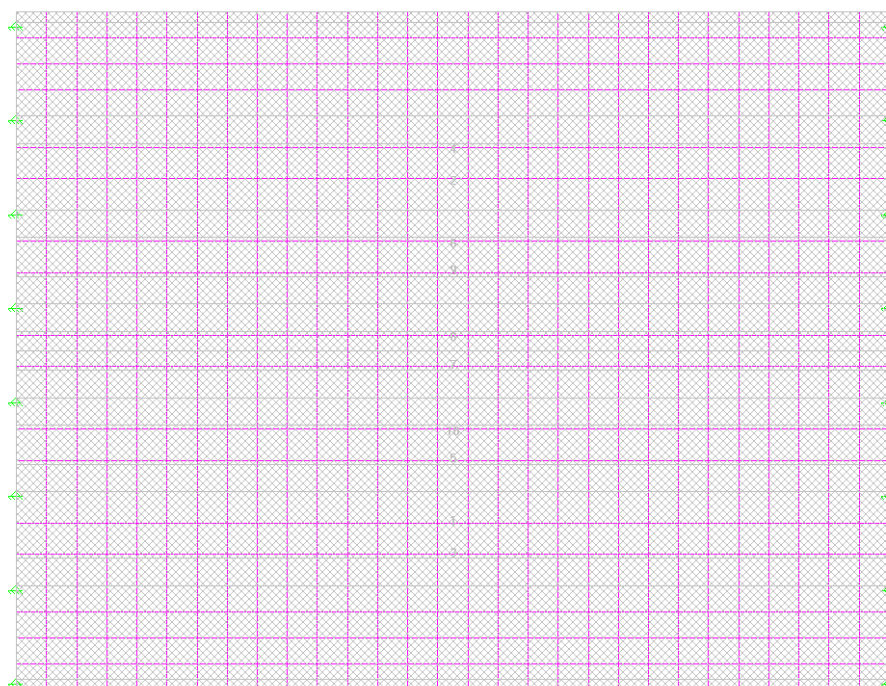


Figura 16 – Módulo de Pontes: Faixas



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	1	2	4.00	2.00	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 2								
1	4	3	4.00	-2.00	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 3								
1	10	11	3.00	1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 4								
1	12	13	3.00	-1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 5								
1	14	20	3.00	1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 6								
1	19	25	3.00	-1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 7								
1	15	21	3.00	1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 8								
1	18	24	3.00	-1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 9								
1	16	22	3.00	1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 10								
1	17	23	3.00	-1.50	41	0.25	10.30	20

Figura 17 – Módulo de Pontes: Faixas

Multidão – Faixas (LANE) 1 e 2;

Trem tipo TB-450 – Faixas (LANE) 3 a 10.

3.2.2 Mesoestrutura

3.2.2.1 Geometria do modelo

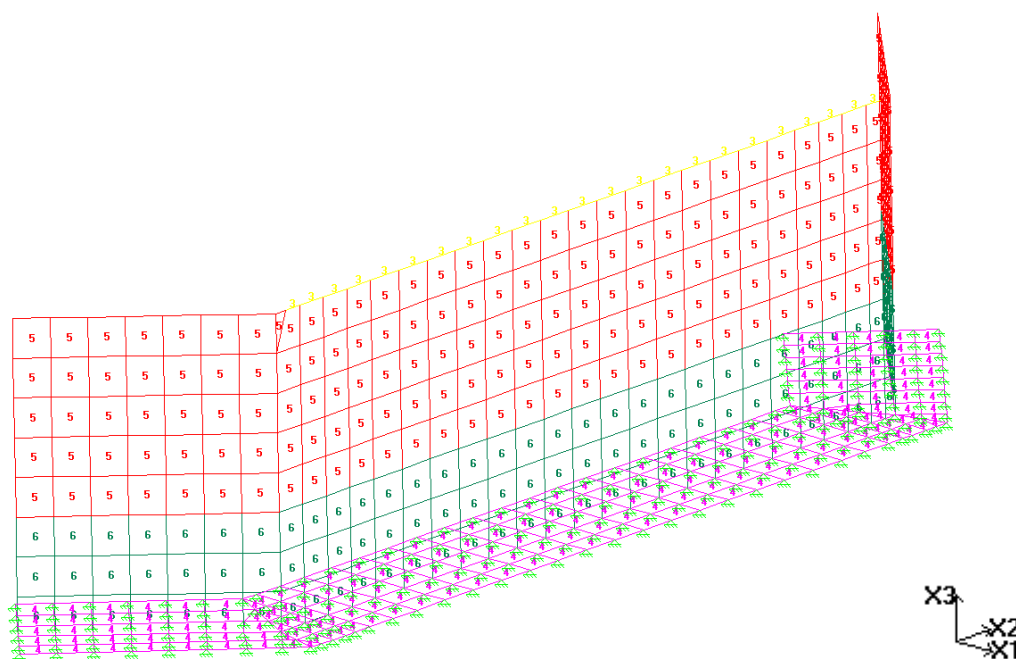


Figura 18 – Modelo computacional da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2

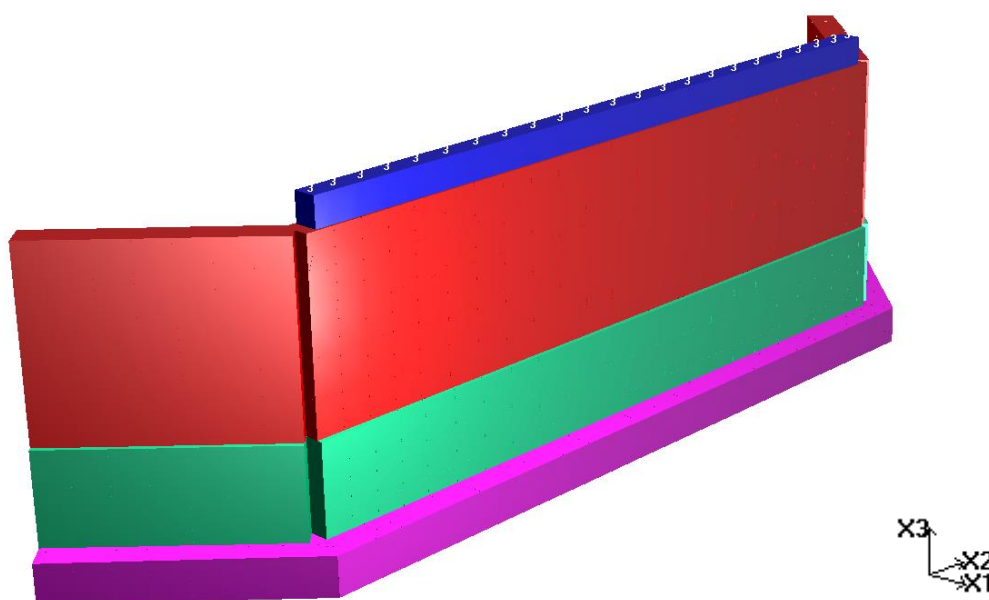
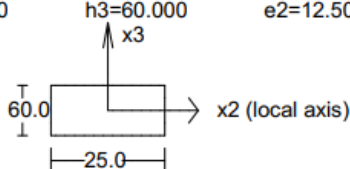
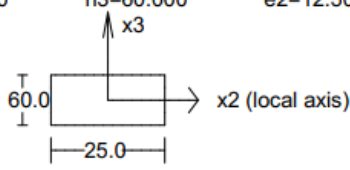


Figura 19 – Modelo computacional renderizado da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2



3.2.2.2 Propriedades do modelo

SECTION PROPERTY TABLE (units - cm.)				
PROPERTY NO. 1				
A=0.1500E+04 Material = 1 - C30 h2=25.000	I2=0.4500E+06 h3=60.000	I3=0.7812E+05 Perimeter=170.000 e2=12.500	J=0.2307E+06 e3=30.000	SF2=0.850 SF3=0.850
				
PROPERTY NO. 2				
Thickness = Material = 1 - C30	21.000			SF3=0.000
PROPERTY NO. 3				
A=0.1500E+04 Material = 1 - C30 h2=25.000	I2=0.4500E+06 h3=60.000	I3=0.7812E+05 Perimeter=170.000 e2=12.500	J=0.2307E+06 e3=30.000	SF2=0.850 SF3=0.850
				
PROPERTY NO. 4				
Thickness = Material = 1 - C30	40.000			SF3=0.000
PROPERTY NO. 5				
Thickness = Material = 1 - C30	30.000			SF3=0.000
PROPERTY NO. 6				
Thickness = Material = 1 - C30	40.000			SF3=0.000

3.2.2.3 Apoios do modelo

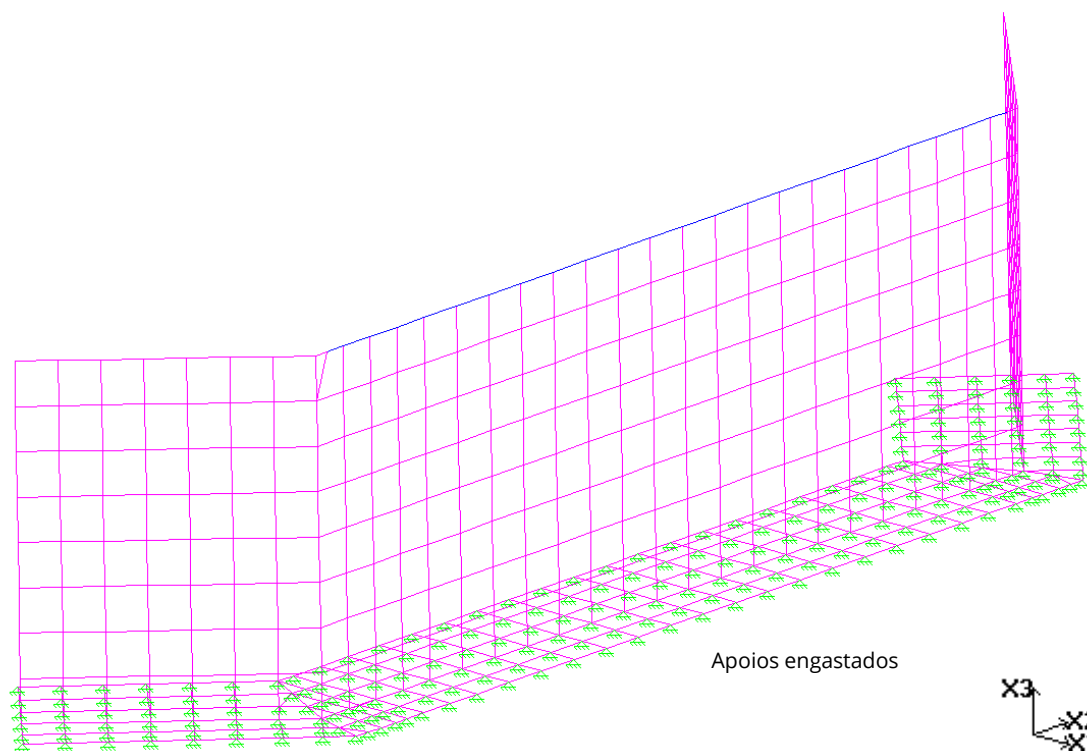


Figura 20 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da mesoestrutura

3.2.2.4 Materiais do modelo

- C30: Concreto;

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

3.2.2.5 Ações do modelo

3.2.2.5.1 Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura

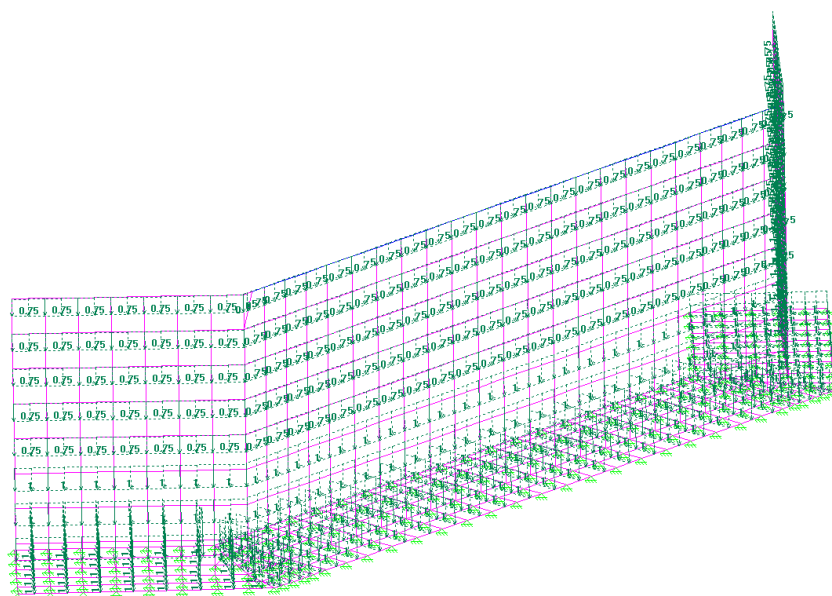


Figura 21 – Módulo de Cargas: Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura.

3.2.2.5.2 Empuxo de terra

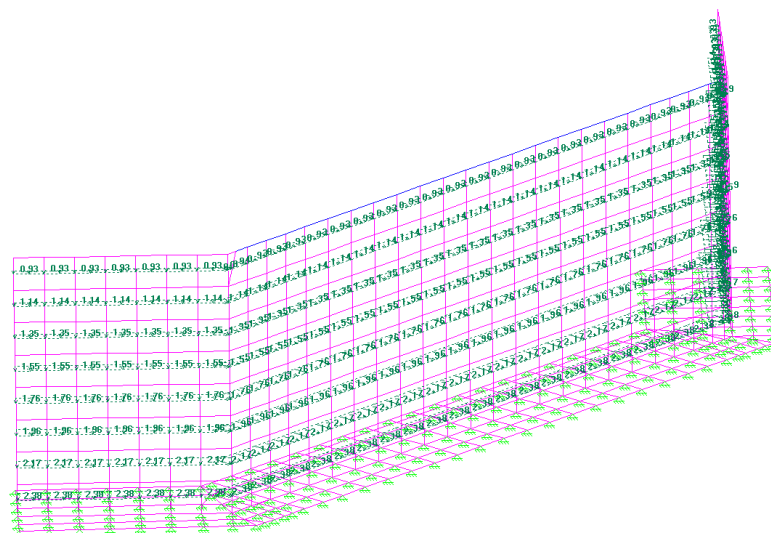


Figura 22 – Módulo de Cargas: Empuxo de terra



3.3.1.1 Resultados

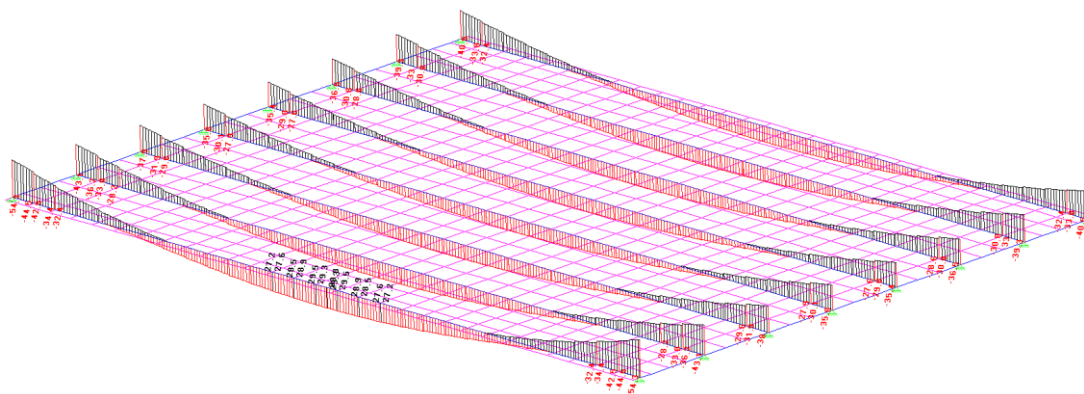


Figura 24 – Momento Fletor M2 – ELU

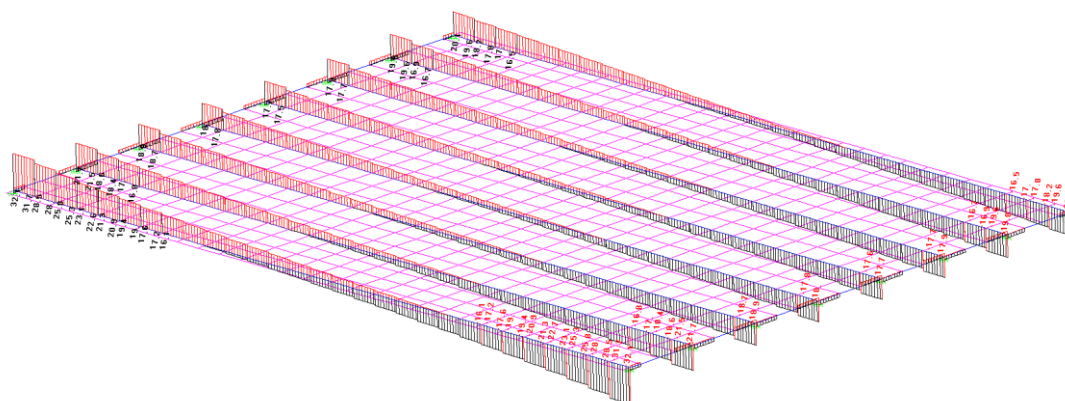


Figura 25 – Esforço Cortante V3 – ELU

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.

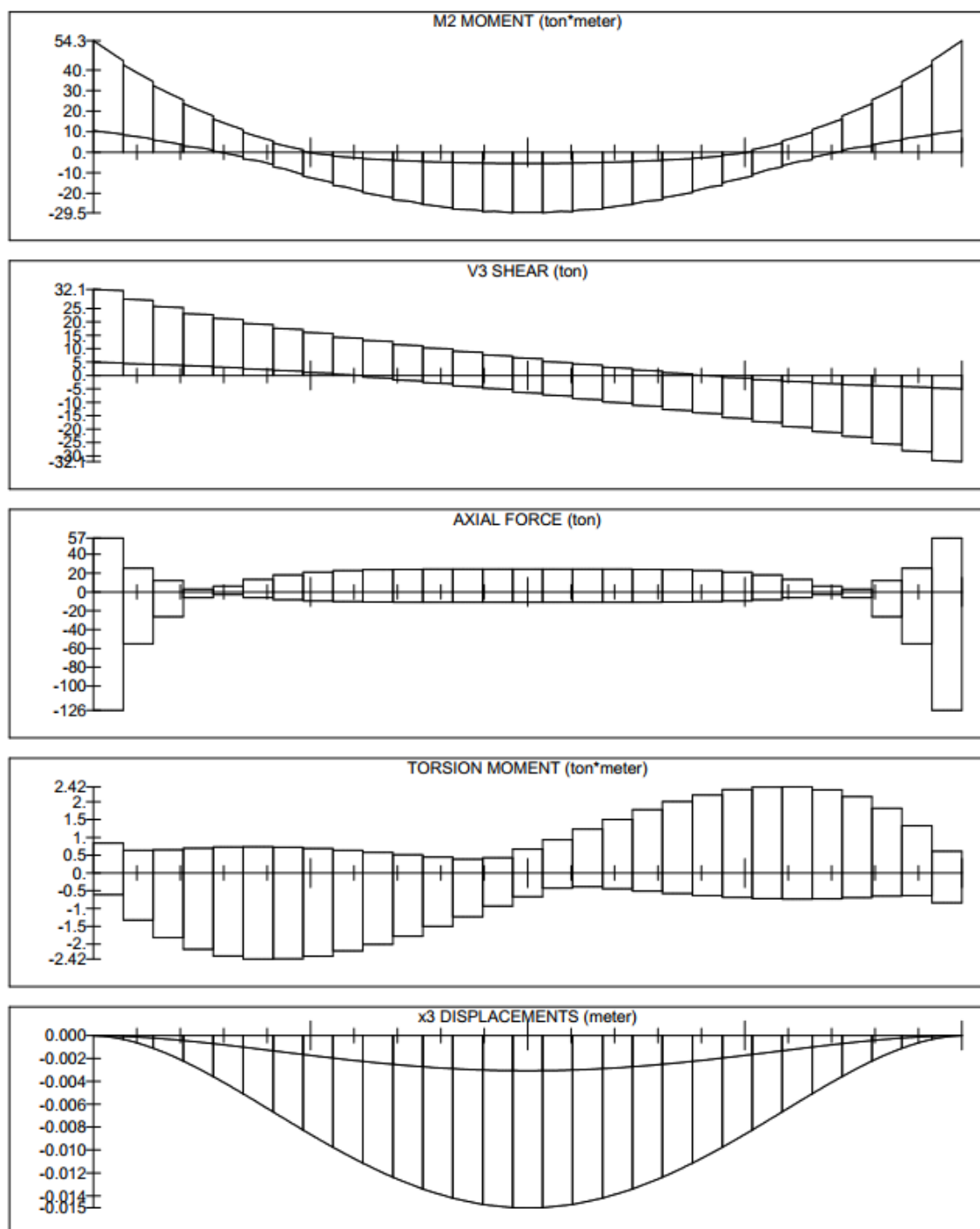
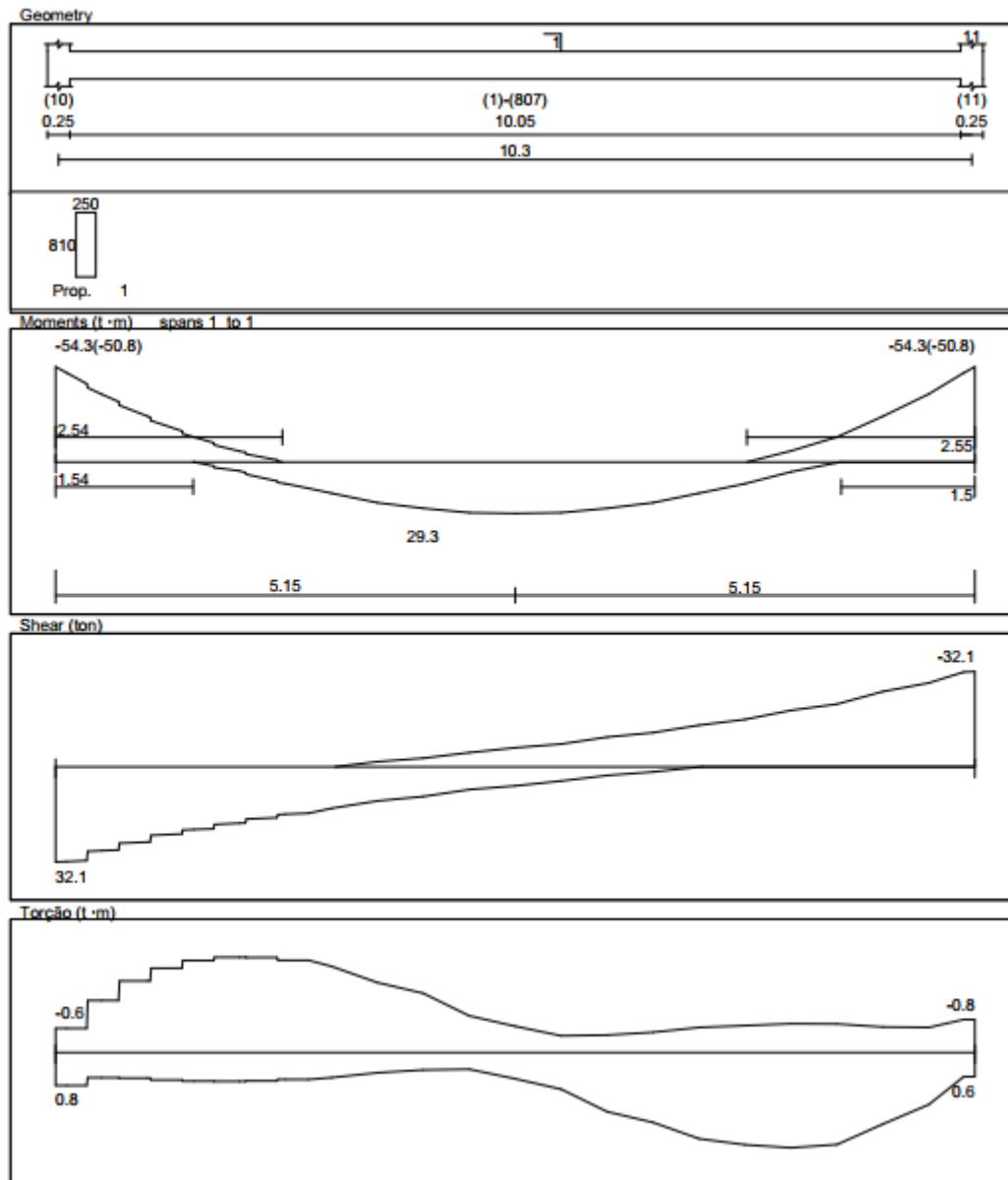
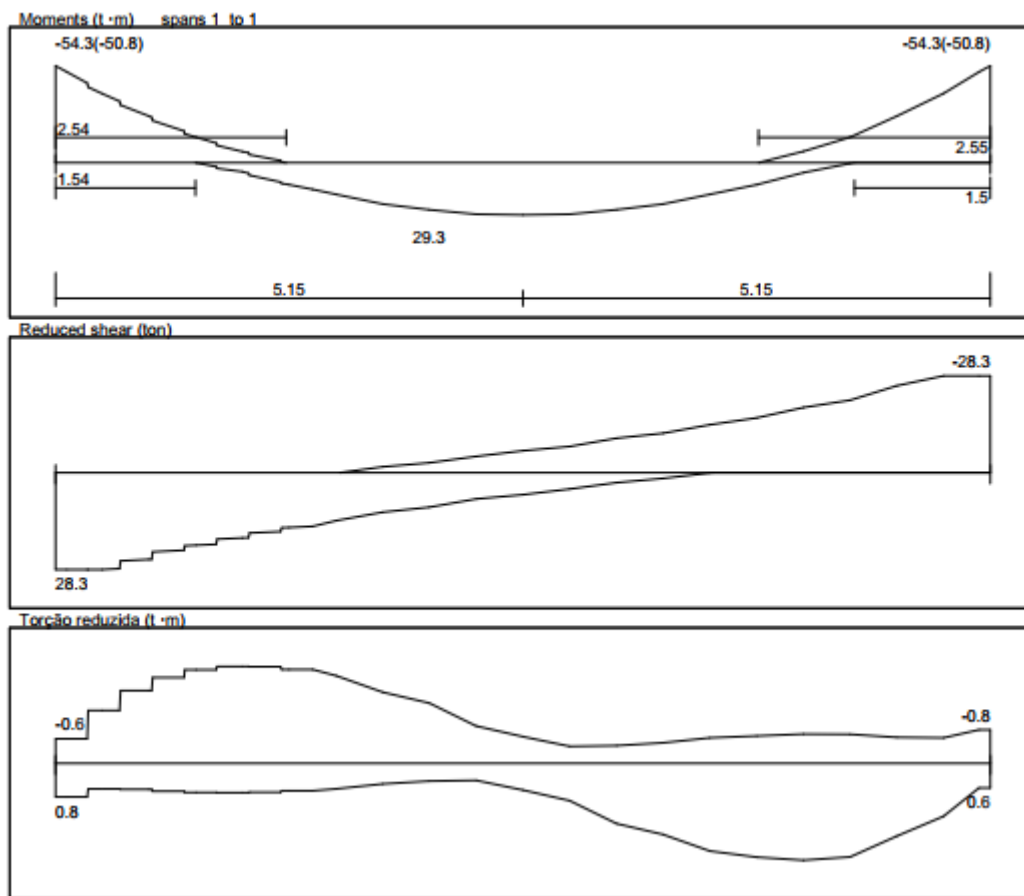


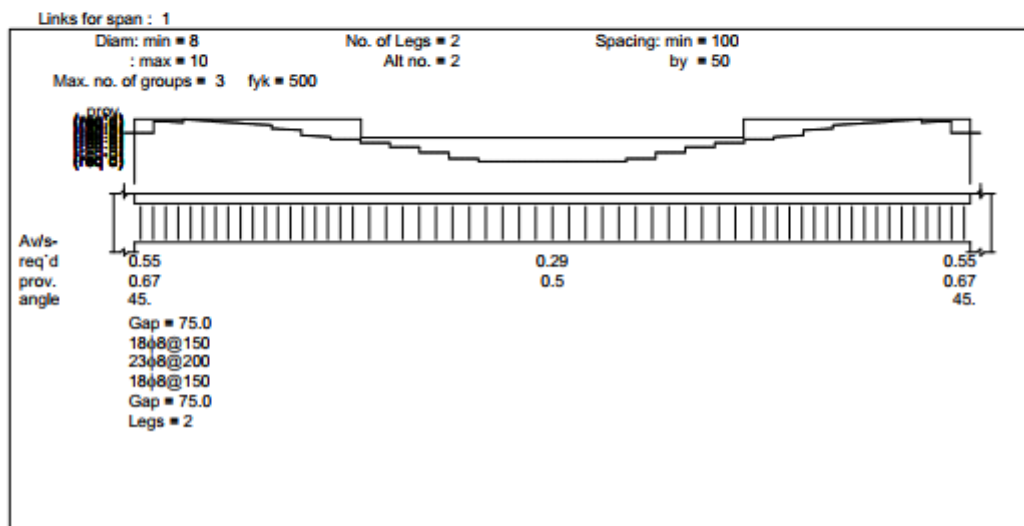
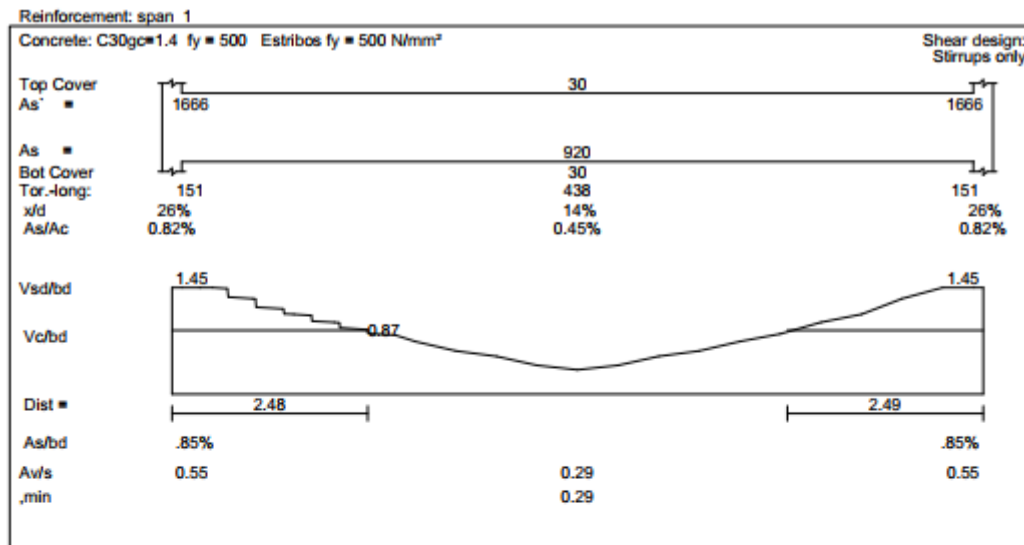
Figura 26 – Solicitações nas Vigas – ELU



3.3.1.2 Dimensionamento









Deslocamentos: Tramo 1

As' =	0
As =	921
$\delta(\text{elástico}) =$	15.04752
$\delta \cdot EI(EI)_{\text{novo}} =$	6.3318
Io =	0.01107
Ir =	0.00315
Mr =	11.87
Ma,g =	11.47
Ma,g+q =	13.94
Ma,sust =	11.47
Ieq,g =	0.01107
Ieq,g+q =	0.00805
Ieq,sust =	0.01107
e/1+5Dr =	1.98
di,g =	3.618
di,q =	2.430
dt,sust =	7.171
di,q =	L/4135
di,q+dt =	L/1072

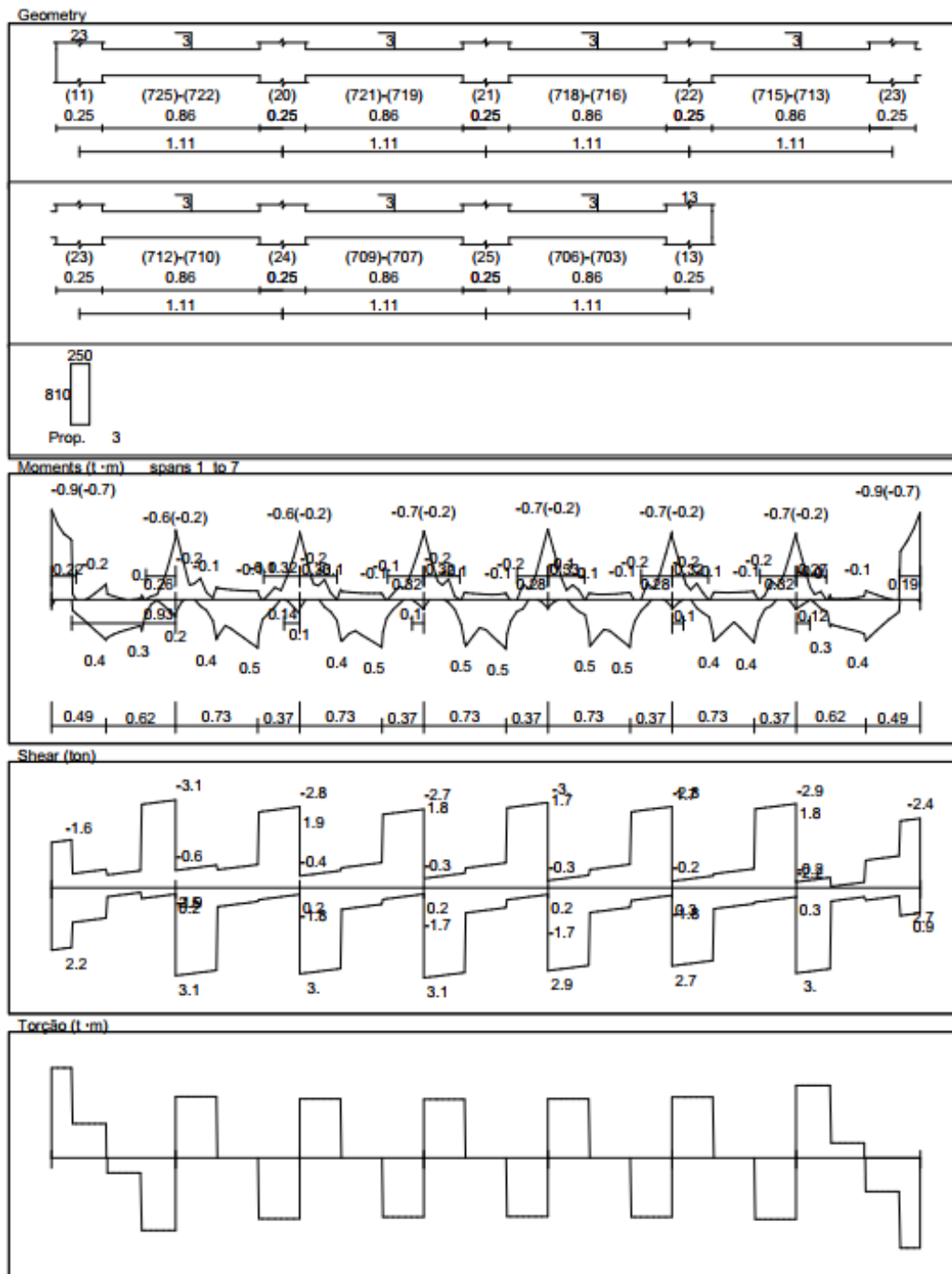
Deformação imediata: aplicar 100% de perm; 100% de acid
Deformação de longa duração:
- Longa duração : 100% de perm; 0 % de acid
- Duração da carga: 60 meses
Fat. de perm = 1.4 Fat. de acid = 1.6 Perm./Total = 0.8
fr = 0.29 Ec = 30672 Es = 210000

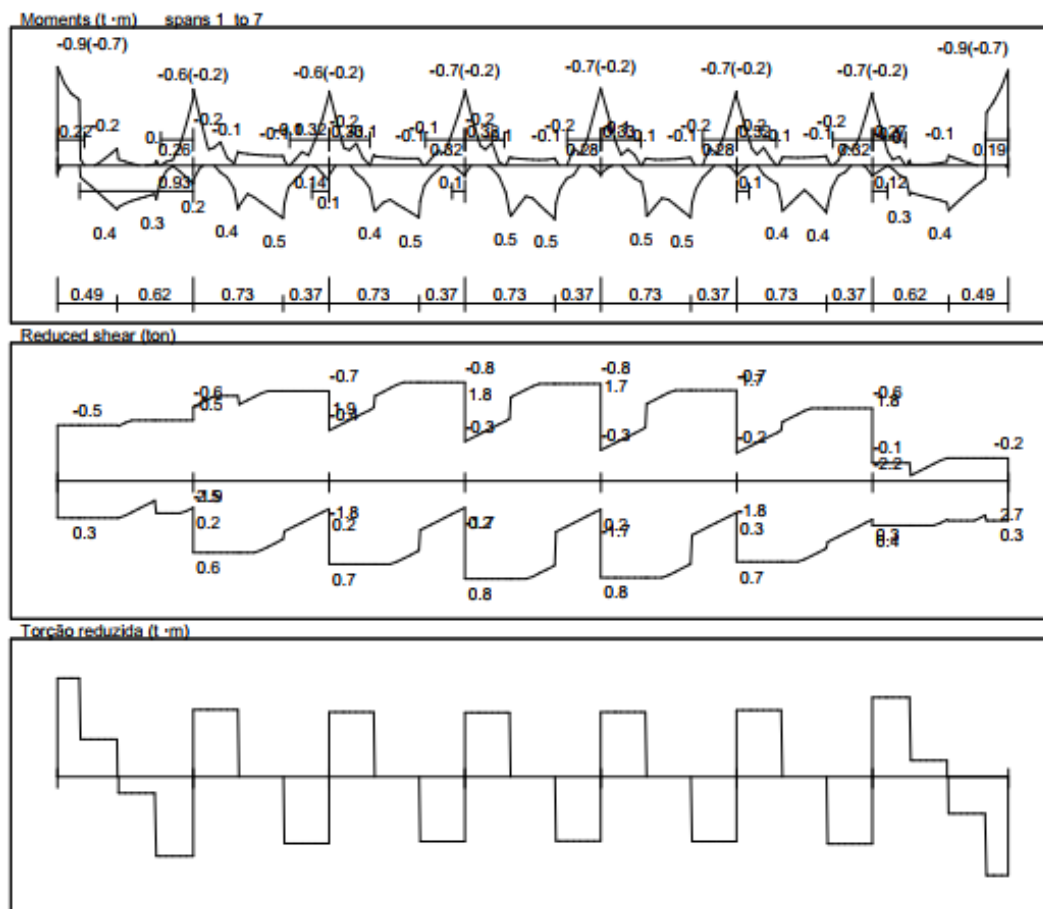
3.3.1.3 Armadura adotada

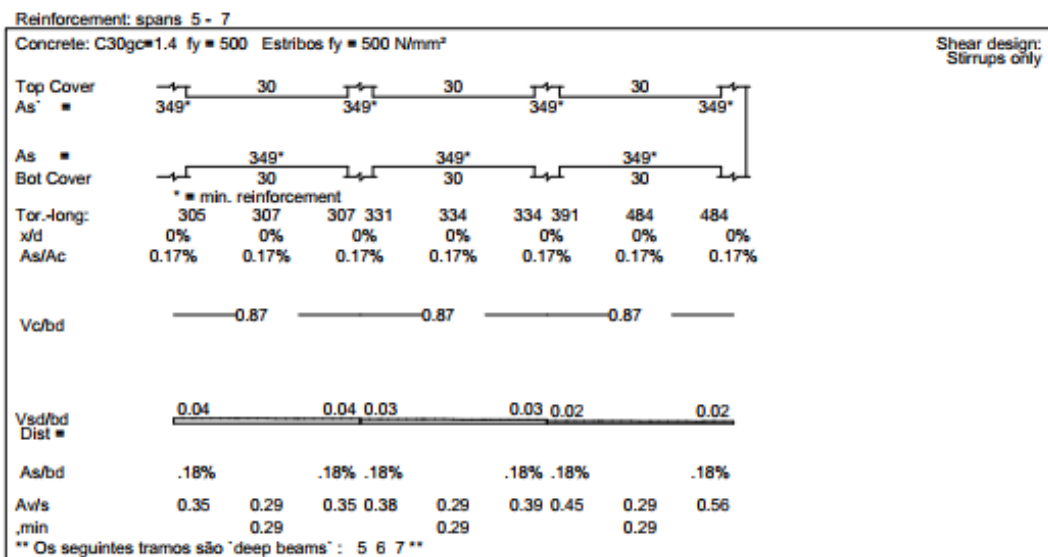
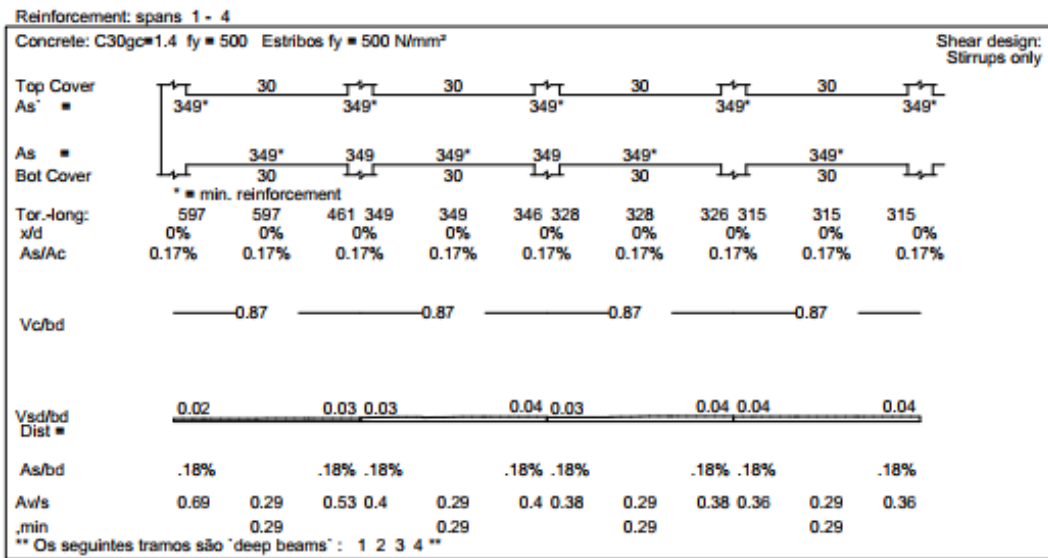
- Armadura longitudinal
 - $A_{s \text{ superior apoio e vão}} = 3 \varphi 12,50 \text{ mm}$
 - $A_{s \text{ inferior apoio e vão}} = 6 \varphi 20,0 \text{ mm} + 2 \varphi 16,0 \text{ mm}$
- Armadura transversal
 - $A_{s \text{ apoio e vão}} = 2 \text{ ramos } \varphi 8,0 \text{ mm c/ } 20,0 \text{ cm}$

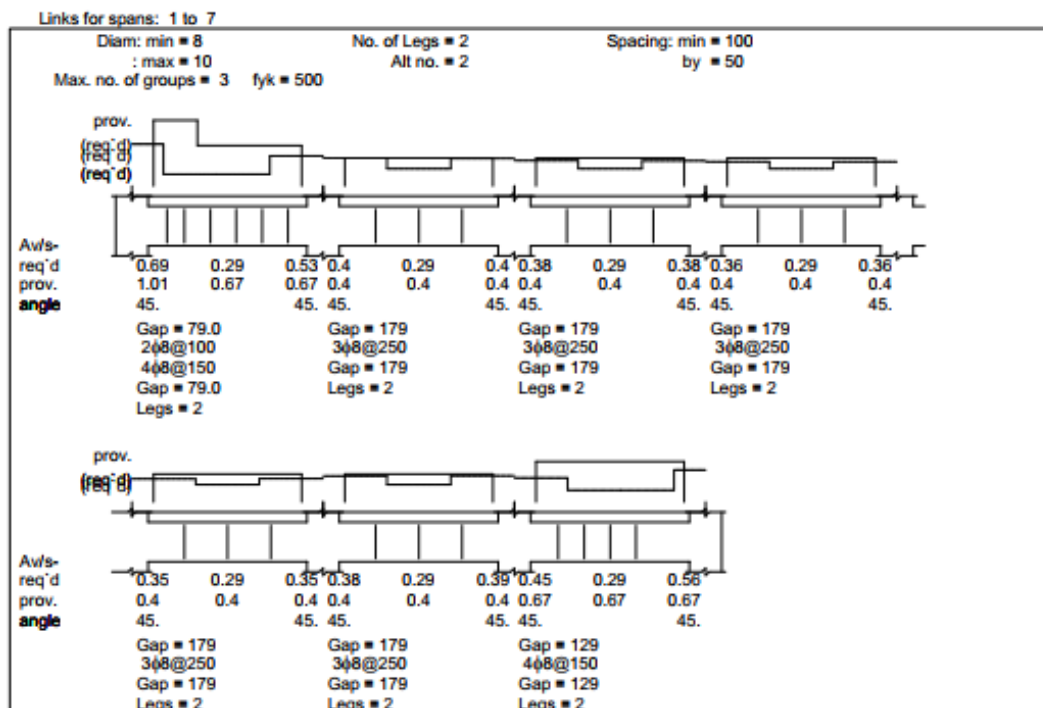


3.3.2 Transversinas









Deslocamentos: Tramo 1 4

As' =	349	349	349	349
As =	349	349	349	349
δ(elástico) =	0.00809	0.00914	0.00894	0.00927
lo =	0.01107	0.01107	0.01107	0.01107
lr =	0.00139	0.00139	0.00139	0.00139
Mr =	11.87	11.87	11.87	11.87
Ma,g =	0.15	0.18	0.18	0.19
Ma,g+q =	0.18	0.22	0.22	0.23
Ma,sust =	0.15	0.18	0.18	0.19
leq,g =	0.01107	0.01107	0.01107	0.01107
leq,g+q =	0.01107	0.01107	0.01107	0.01107
leq,sust =	0.01107	0.01107	0.01107	0.01107
e/1+50r =	1.82	1.82	1.82	1.82
di,g =	0.002	0.002	0.002	0.002
di,q =	0.000	0.000	0.000	0.000
dt,sust =	0.004	0.004	0.004	0.004
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; 0 % 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

Deslocamentos: Tramo 5 7

As' =	349	349	349
As =	349	349	349
$\delta(\text{elástico}) =$	0.00891	0.00876	0.0082
lo =	0.01107	0.01107	0.01107
lr =	0.00139	0.00139	0.00139
Mr =	11.87	11.87	11.87
Ma,g =	0.19	0.15	0.16
Ma,g+q =	0.23	0.18	0.19
Ma,sust =	0.19	0.15	0.16
leq,g =	0.01107	0.01107	0.01107
leq,g+q =	0.01107	0.01107	0.01107
leq,sust =	0.01107	0.01107	0.01107
e/1+50r =	1.82	1.82	1.82
di,g =	0.002	0.002	0.002
di,q =	0.000	0.000	0.000
dt,sust =	0.004	0.004	0.004
di,q =	L****	L****	L****
di,q+dt =	L****	L****	L****

- Armadura longitudinal
 - $A_{s\text{inferior}} = 3 \phi 12,5\text{mm}$
 - $A_{s\text{superior}} = 3 \phi 12,5\text{mm}$
- Armadura transversal
 - $A_{s\text{apoio e vão}} = 2 \text{ ramos } \phi 10,0\text{mm } c/ 10,0\text{cm}$

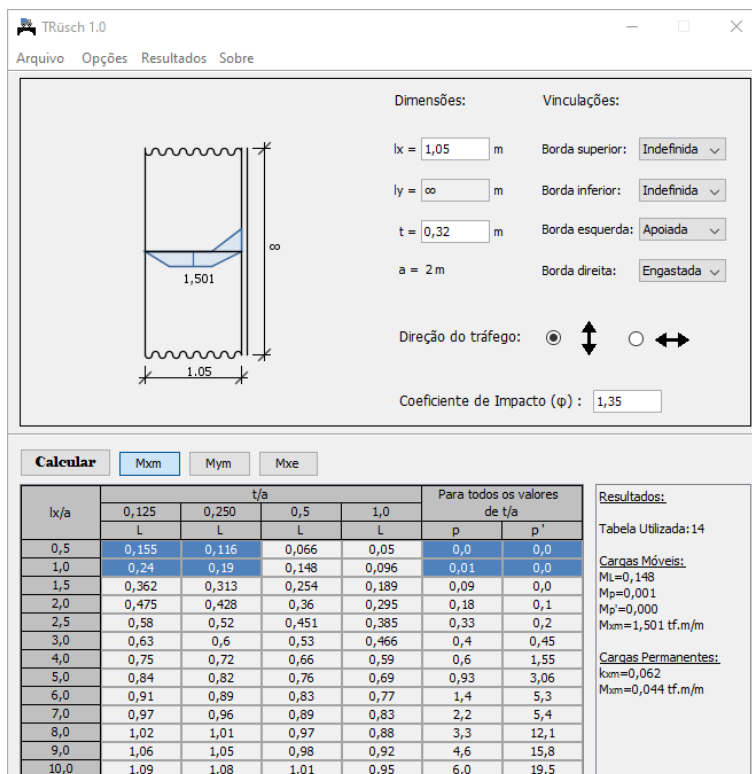
3.3.3 Laje principal

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

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:
 $l_x = 1,05$ m
 $l_y = \infty$ m
 $t = 0,32$ m
 $a = 2$ m

Vinculações:
 Borda superior: Indefinida
 Borda inferior: Indefinida
 Borda esquerda: Apoiada
 Borda direita: Engastada

Direção do tráfego:
☒   ☐  

Coefficiente de Impacto (ϕ): 1,35

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:
 $M_L = 0,148$
 $M_P = 0,001$
 $M_P = 0,000$
 $M_{xm} = 1,501$ tf.m/m
Cargas Permanentes:
 $k_{xm} = 0,062$
 $M_{xm} = 0,044$ tf.m/m

Figura 27 – 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.

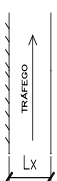
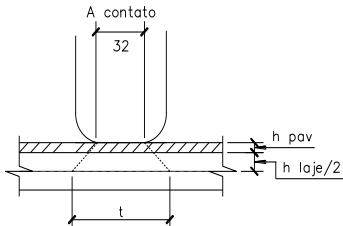
O programa possui uma saída gráfica para os diagramas de momentos fletores, onde são indicados os diagramas devidos aos carregamentos móvel e permanente.

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)
$h_{laje} = 0,210 \text{ m}$	$A_{contato} = 0,32 \text{ m}$	($A_{contato}$: segundo tabela 3 - Rusch)
	$cobr = 2,5 \text{ cm}$	(Cobrimento da armadura)
	$g_{conc} = 2,50 \text{ t/m}^3$	$\gamma_g = 1,35$
$h_{pav} + recap = 0,05 \text{ m}$	(carregamento) $g_{pav} = 2,40 \text{ t/m}^3$	$\gamma_p = 1,50$

1) Laje engastada - apoiada Tabela Rüsch 14

1.1) Cálculo para o M_{xm} e M_{ym}

	$L_x = 1,05 \text{ m}$	$npistas = 2$
	$Ly / L_x = \infty$ $L_x / a = 0,525$ $t = (h_{pav} + h_{laje}/2) * 2 + A_{contato}$ $t = 0,630$ $t / a = 0,315$	

Cálculo do coeficiente de impacto

$CIV = 1,350$ ("Fator de impacto" na memória de cálculo)
 $CNF = 1 - 0,05x(n-2) > 0,9$
 $CNF = 1,00$
 Coeficiente de impacto = 1,350

a) Carga Permanente

Rüsch : $M_{xm} \rightarrow K = 0,0625$	$M_{ym} \rightarrow K = 0,0104$
$g = h_{pav} * g_{pav} + h_{laje} * g_{laje}$	
$g = 0,645 \text{ t/m}^2$	
$M = K * g * L_x^2$	
$M_{xm} = 0,044 \text{ tm/m}$	
$M_{ym} = 0,007 \text{ tm/m}$	

b) Carga Móvel

Rüsch : $M_{xm} \rightarrow ML = 0,148$	$M_p = 0,001$	$M_{p'} = 0$
Rüsch : $M_{ym} \rightarrow ML = 0,103$	$M_p = 0$	$M_{p'} = 0,01$
$M = \Phi * P * ML + \Phi * p * M_p + \Phi * p' * M_{p'}$		
$M_{xm} = 1,499 \text{ tm/m}$		
$M_{ym} = 1,050 \text{ tm/m}$		



Dimensionamento

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

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

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

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

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

Mxm → d = 0,180 m bw = 1,00 m

$$M_{xmd} = 2,31 \text{ tm}$$

$$A_s' = 3,01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_f = 1,350$$

$$A_s = 4,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Ø 10,0mm C/ 15,00cm

Mym → d = 0,170 m bw = 1,00 m

$$M_{ymd} = 1,58 \text{ tm}$$

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

$$K_f = 1,380$$

$$A_s = 3,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Ø 10,0mm C/ 25,00cm

1.2) Cálculo para o Mxe

Lx = 1,05 m npistas = 2



$$L_y / L_x = \infty$$

$$L_x / a = 0,53$$

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

$$t = 0,630$$

$$t / a = 0,315$$

Cálculo do coeficiente de impacto

$$CIV = 1,350 \quad (\text{"Fator de impacto" na memória de cálculo})$$

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

$$CNF = 1,00$$

$$\text{Coeficiente de impacto} = 1,350$$

a) Carga Permanente

Rüsch : Mxe → K = -0,125

$$g = h_{pav} \cdot g_{pav} + h_{laje} \cdot g_{laje}$$

$$g = 0,645 \text{ t/m}^2$$

$$M = K \cdot g \cdot L_x^2$$

$$M_{xe} = -0,089 \text{ t.m/m}$$

b) Carga Móvel

Rüsch : Mxe → ML = 0,243

Mp = 0

Mp' = 0,105

$$M = \Phi \cdot P \cdot ML + \Phi \cdot p \cdot Mp + \Phi \cdot p' \cdot Mp'$$

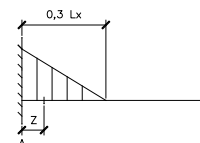
$$M_{xeA} = -2,531 \text{ tm/m}$$

c) Diagrama de Cobertura

Z = 0,535

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

$$M_{xez} = 1,77 \text{ tm/m}$$



**Dimensionamento**

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

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

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

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

$$A_s = A_s' * K_f$$

em "A" → $d = 0,280 \text{ m}$ $b_w = 1,00 \text{ m}$

$$M_{x_{edA}} = -3,92 \text{ tm}$$

$$A_s' = 3,26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_f = 1,343$$

$$A_s = 4,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\varnothing 10,0\text{mm} \quad C/ 15,00\text{cm}$$

em "Z" → $d = 0,180 \text{ m}$ $b_w = 1,00 \text{ m}$

$$M_{x_{edZ}} = 2,53 \text{ tm}$$

$$A_s' = 3,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_f = 1,464$$

$$A_s = 4,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\varnothing 10,0\text{mm} \quad C/ 15,00\text{cm}$$

Adotadas as seguintes armaduras:

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

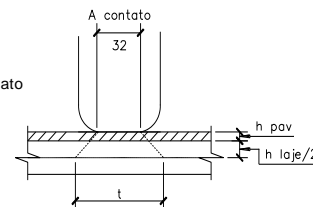
3.3.4 Laje de transição

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 M_{xm} , M_{ym} e M_{xr}

$L_x = 4,00 \text{ m}$	$L_y = 8,00 \text{ m}$	$npistas = 2$
$L_y / L_x = 2,00$		
$L_x / a = 2,00$		
$t = (h_{pav} + h_{aterro} + h_{laje \text{ de transição}}/2) * 2 + A_{contato}$		
$t = 1,37$		
$t / a = 0,685$		



Cálculo do coeficiente de impacto

$CIV = 1,350$ (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 = 1,350

a) Carga Permanente

Rüsch : $M_{xm} \rightarrow K = 0,125$	$M_{ym} \rightarrow K = 0,021$	$M_{xr} \rightarrow K = 0,125$
$g = h_{pav} * g_{pav} + h_{aterro} * g_{aterro} + h_{laje \text{ de transição}} * g_{conc}$		
$g = 1,375 \text{ t/m}^2$		
$M = K * g * L_x^2$		
$M_{xm} = 2,750 \text{ tm/m}$		
$M_{ym} = 0,458 \text{ tm/m}$		
$M_{xr} = 2,750 \text{ tm/m}$		

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 : $M_{xr} \rightarrow ML = 0,096$	$M_p = 0,063$	$M_{p'} = 0,042$
$M = \Phi * P * ML + \Phi * p * M_p + \Phi * p' * M_{p'}$		
$M_{xm} = 0,96 \text{ tm/m}$		
$M_{ym} = 1,22 \text{ tm/m}$		
$M_{xr} = 1,04 \text{ tm/m}$		

**Dimensionamento**

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

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

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

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

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

Mxm →	d = 0,219 m	b _w = 1,00 m	
	M _{xmd} = 5,16 tm		
	A _s ' = 5,59 cm ² /m		
	K _f = 1,000		
	A _s = 5,59 cm ² /m	Ø 12,5mm C/ 22,00cm	*longitudinal
Mym →	d = 0,206 m	b _w = 1,00 m	
	M _{ymd} = 2,45 tm		
	A _s ' = 2,78 cm ² /m		
	K _f = 1,011		
	A _s = 2,81 cm ² /m	Ø 12,5mm C/ 44,0cm	*transversal
Mxr →	d = 0,22 m	b _w = 1,00 m	
	M _{xmd} = 5,28 tm		
	A _s ' = 5,73 cm ² /m		
	K _f = 1,000		
	A _s = 5,73 cm ² /m	Ø 12,5mm C/ 22,0cm	*longitudinal

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

3.3.5 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	h _{médio} =	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	ε _{yd} =	2,07 ‰
Md=	52,20 kN.m	ρ _{min} =	0,17 %

Altura da linha neutra

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

$$x/d = 0,0379 \leq 0,628 \quad D2$$

$$x = 1,1734 \text{ cm}$$

Área de Aço

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

$$A_s = 3,932 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Armadura mínima

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

Armadura de pele

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

10 x 6,3mm

Armação Adotada

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

$$\text{Adotado: } \varnothing 8,0 \text{ c/15,0cm}$$

3.4 Mesoestrutura

3.4.1 Apoios E1 e E2

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.

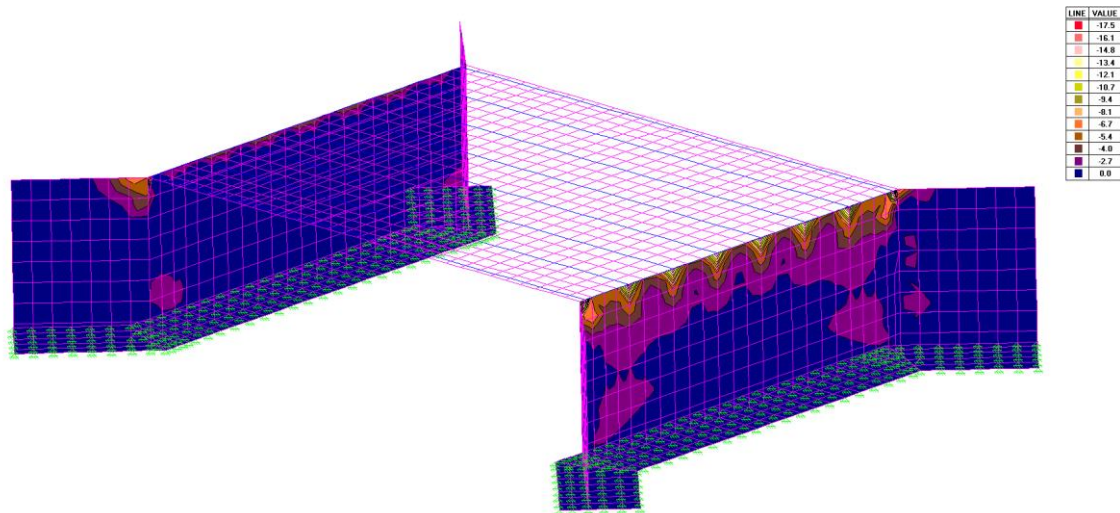


Figura 28 – Momento fletor MX, face +Z (tf.m/m)

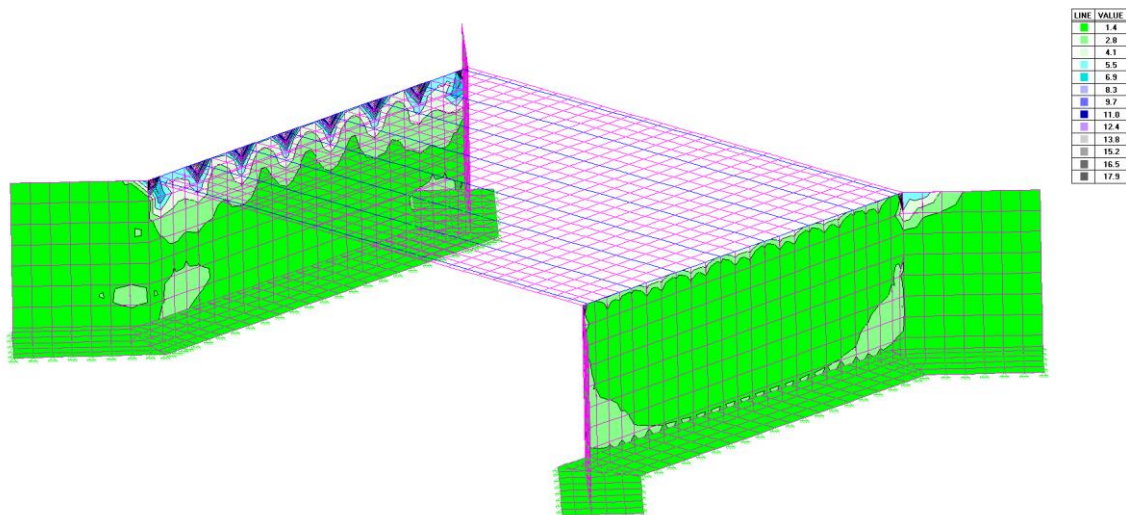


Figura 29 – Momento fletor MX, face -Z (tf.m/m)

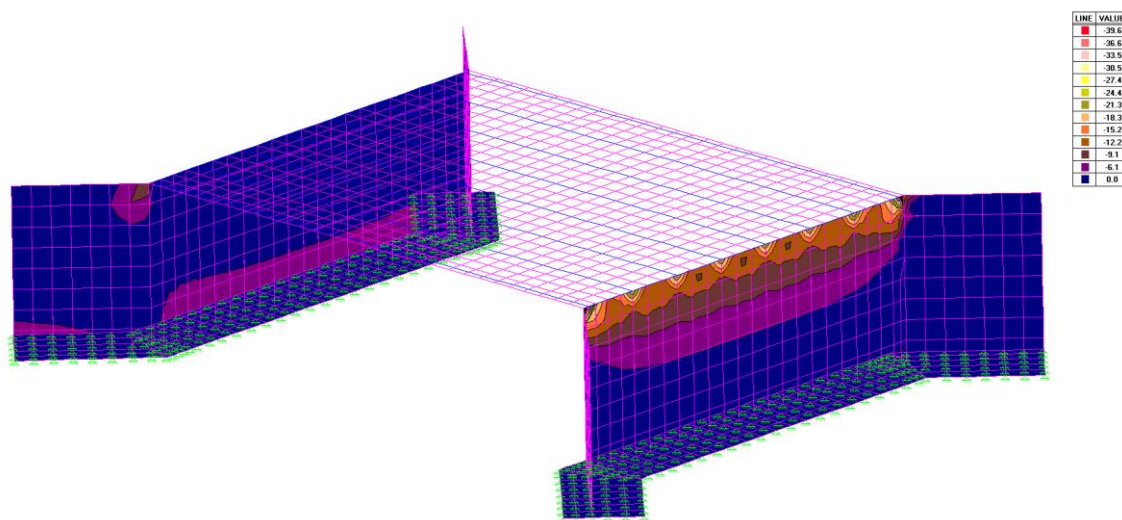


Figura 30 – Momento fletor MY, face+-Z (tf.m/m)

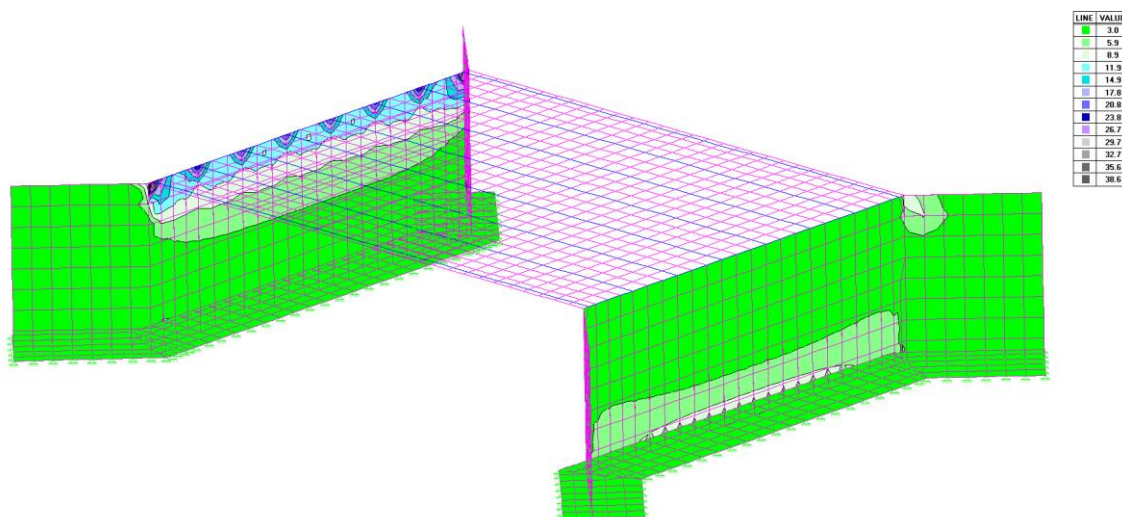


Figura 31 – Momento fletor MY, face--Z (tf.m/m)

3.5 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:

3.5.1 Tensão admissível do solo

Para verificar a tensão admissível do solo foram utilizados os boletins de sondagem do item **“Estudo Geotécnico”** apresentado no **“Volume 3 – Memória Justificativa das Estruturas”**.

A seguir tem-se o relatório de sondagem e os parâmetros para o solo adotado para cálculo. Para determinar a tensão admissível do solo utilizou-se o método de Vésic (1974).



A metodologia proposta por Vésic, cuja versão mais recente data de 1974, apresenta uma série de refinamentos que não foram considerados na formulação clássica de Terzaghi, sendo esta última apresentada nesta apostila pela importância histórica e simplicidade que contribuem para a sua grande aplicação mesmo nos dias atuais.

A metodologia proposta por Vésic em 1974 consiste basicamente de incorporar algumas modificações em outras metodologias desenvolvidas anteriormente, principalmente por Meyerhof (1963) e Hansen (1970). Em relação ao método de Terzaghi (1943), o cálculo da capacidade de carga pelo método de Vésic (1974) leva em consideração a introdução de outros fatores, além dos tradicionais fatores de capacidade de carga (N_c , N_γ e N_q) e de forma (S_c , S_γ e S_q), que expressam:

- Influência da profundidade de assentamento da fundação (d_c , d_γ e d_q);
- Influência da inclinação da carga aplicada em relação à normal ao plano do elemento de fundação (i_c , i_γ e i_q);
- Influência da inclinação do terreno adjacente ao elemento de fundação (g_c , g_γ e g_q);
- Influência da inclinação da base do elemento de fundação em relação a horizontal (b_c , b_γ e b_q) no cálculo da capacidade de carga do solo.

A capacidade de carga do solo, considerando a configuração mostrada na Figura ????, segundo a proposta de Vésic (1974) é dada pela seguinte expressão:

$$\sigma_r = c.N_c.S_c.d_c.i_c.g_c.b_c + q.N_q.S_q.d_q.g_q.i_q.b_q + 0,5.B.\gamma.N_\gamma.S_\gamma.d_\gamma.g_\gamma.i_\gamma.b_\gamma$$

Onde:

q : tensão efetiva na cota de assentamento;

B : menor dimensão da fundação;

γ : peso específico do solo;

N_c , N_γ , N_q : fatores de capacidade de carga;

S_c , S_γ , S_q : fatores de forma;

d_c , d_γ , d_q : fatores de profundidade;

i_c , i_γ , i_q : fatores de inclinação da carga em relação à base do elemento de fundação;

g_c , g_γ , g_q : fatores de inclinação do terreno adjacente à fundação;

b_c , b_γ , b_q : fatores de inclinação da fundação em relação à horizontal.

Para o caso de solo com $\phi = 0$ (solos puramente coesivos):

$$\sigma_r = 5,14S_u(1 + S'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$

Onde:

S_u : resistência não-drenada do solo;

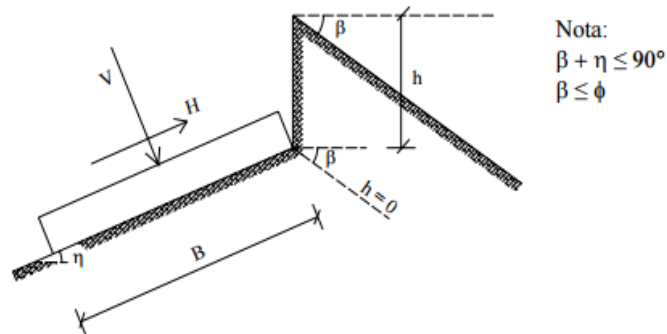


Figura 3.10 – Configuração geral para aplicação do método de Vésic (1974)

A seguir são apresentadas as expressões para o cálculo de todos os fatores existentes na equação para o cálculo da capacidade de carga pelo método de Vésic (1974):

- Fatores de capacidade de carga (N_γ , N_q , N_c):

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi} \tan^2 (45 + \phi / 2) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi$$

- Fatores de forma:

$$S'_c = 0,2 \cdot \frac{B}{L} \quad (p / \phi = 0),$$

$$S_c = 1,0 \quad (\text{para fundações corridas})$$

$$S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L} \quad S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi \quad S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L}$$

Onde:

B : menor dimensão da fundação;

L : maior dimensão da fundação;

- Fatores de profundidade:

$$d'_c = 0,4 \cdot k \quad (\text{para } \phi = 0)$$

$$d_c = 1 + 0,4k \quad d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k \quad d_\gamma = 1,0$$

Onde:

$$k = \frac{h}{B}, \text{ para } \frac{h}{B} \leq 1,0$$

$$k = \tan^{-1}\left(\frac{h}{B}\right), \text{ para } \frac{h}{B} > 1,0$$

h : profundidade de assentamento da fundação em relação à superfície;

- Fatores de inclinação da carga em relação à base do elemento de fundação

$$i'_c = 1 - \frac{m \cdot H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}, \text{ (para } \phi = 0);$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \phi}\right)^m \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad i_r = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \phi}\right)^{m+1}$$

Onde:

$$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}; \text{ para } H \text{ paralelo a } B;$$

$$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}; \text{ para } H \text{ paralelo a } L;$$

H : componente da força total aplicada ao elemento de fundação tangente à base;

V : componente da força total aplicada ao elemento de fundação normal à base;

A_f : área efetiva de contato da fundação com o solo;

c_a : adesão entre o solo e a base do elemento de fundação.

- Fatores de inclinação do terreno adjacente à fundação

$$g'_s = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}, \text{ (para } \phi = 0);$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_q = g_r = (1 - \tan \beta)^2$$

Onde:

β : inclinação da superfície do terreno adjacente ao elemento de fundação, conforme indicado na Figura 3.10;

- Fatores de inclinação da fundação em relação à horizontal

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}, \text{ (para } \phi = 0);$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = b_r = (1 - \tan \eta)^2$$

Onde:

η : inclinação da base da fundação em relação à horizontal, conforme indicado na Figura 3.10



Tabela 2 - Parâmetros do Solo

Solo	Peso específico γ em t/m^3	Ângulo de atrito interno ϕ	Coesão c em t/m^2	Profundidade H em m	Inclinação do talude-cotg i
Areia muito fina	1,8	22,5	1,0	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,75 1:1,9 1:2,2 1:2,5
Silte com areia muito fina	1,9	27,5	1,0	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,5 1:1,5 1:1,8 1:2,0
Silte	2,0	20,0	1,5	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,5 1:1,8 1:2,15 1:2,5
Argila mole	1,9	15,0	2,5	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,5 1:1,5 1:1,8 1:2,4
Argila rija	2,0	10,0	3,5	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,5 1:1,5 1:1,8 1:2,6
Areia fina	-	-	-	-	1:2,0
Areia grossa	-	-	-	-	1:1,7
Saibro e pedras	-	-	-	-	1:1,5

Quadro extraído de: Caputo, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações, volume 2/
Homero Pinto Caputo. - 6. ed., rev. e ampl., - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2014.

Quando não houver dados laboratoriais:

Argilas	SPT	Coesão (kPa)
Muito Mole	< 2	< 10
Mole	2 a 4	10 a 25
Média	4 a 8	25 a 50
Rija	8 a 15	50 a 100
Muito Rija	15 a 30	100 a 200
Dura	> 30	> 200
Areias	Densidade Relativa (D_r) SPT	ϕ (°)
Fofa	< 0.2	< 4 < 30
Pouco Compacta	0.2 a 0.4	4 a 10 30 a 35
Medianamente Compacta	0.4 a 0.6	10 a 30 35 a 40
Compacta	0.6 a 0.8	30 a 50 40 a 45
Muito Compacta	> 0.8	> 50 > 45



VÉSIC - 1974

$\gamma =$	19,0 kN/m³	(peso específico do solo)
$c =$	100,0 kPa	(coesão)
$\phi =$	45°	(ângulo de atrito interno)
$B =$	1,40 m	(lado menor da sapata)
$L =$	13,00 m	(lado maior da sapata)
$h =$	3,20 m	(profundidade até a base)
$H =$	174,3 kN	(força horizontal)
$V =$	1787,5 kN	(Força vertical)
$A_f =$	18,20	(área de contato)
$C_a =$	50,0 kPa	(coeficiente de adesão fundação-solo)
$\beta =$	5°	(ângulo de inclinação do terrapleno)
$\eta =$	0°	(ângulo de inclinação da base da fundação)
$q =$	60,8 kPa	(tensão efetiva na cota de assentamento)

$$\text{Fatores de Capacidade de Carga} \left\{ \begin{array}{l} N_c \\ N_\gamma \\ N_q \end{array} \right.$$

$$\text{Fatores de Forma} \left\{ \begin{array}{l} S_c \\ S_\gamma \\ S_q \end{array} \right.$$

$$\text{Fatores de Profundidade} \left\{ \begin{array}{l} d_c \\ d_\gamma \\ d_q \end{array} \right.$$

$$\text{Fatores de Inclinação da Carga} \left\{ \begin{array}{l} i_c \\ i_\gamma \\ i_q \end{array} \right.$$

$$\text{Fatores de Inclinação do Terreno} \left\{ \begin{array}{l} g_c \\ g_\gamma \\ g_q \end{array} \right.$$

$$\text{Fatores de Inclinação da Base} \left\{ \begin{array}{l} b_c \\ b_\gamma \\ b_q \end{array} \right.$$

Fatores de Capacidade de Carga

$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$	134,9
$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$	133,9
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi$	271,7

Fatores de Forma

$S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L}$	1,11	
$S'_c = 0,2 \cdot \frac{B}{L} \text{ (para } \phi = 0 \text{)}$	0,02	1,11
$S_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan \phi$		1,11
$S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L}$		0,96
$B \rightarrow \text{Menor Lado}$		
$L \rightarrow \text{Maior Lado}$		

Fatores de Profundidade

$d_c = 1 + 0,4 \cdot k$	1,46	$k = \frac{h}{B} \left[\text{para } \frac{h}{B} \leq 1 \right]$ $k = \tan^{-1} \left(\frac{h}{B} \right) \left[\text{para } \frac{h}{B} > 1 \right]$	2,29	1,16
$d'_c = 1 + 0,4 \text{ (para } \phi = 0)$	1,40			
$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot k$	1,20			
$d_\gamma = 1$	1,00		1,16	

Fatores de Inclinação da Carga

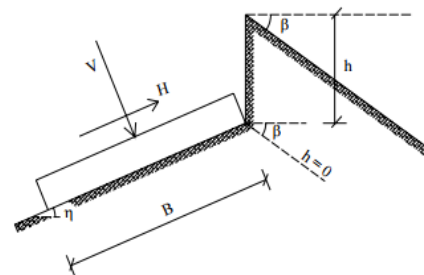
$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan(\phi)}$	0,880	$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \text{ [Paralelo a B]}$ $m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \text{ [Paralelo a B]}$	1,903	1,903
$i'_c = 1 - \frac{m \cdot H}{B \cdot L \cdot c \cdot N_c} \text{ [para } \phi = 0]$	1,000		1,097	
$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot C_a \cdot \cot \phi} \right)^m$	0,881	$H \Rightarrow$ Componente tangente à base $V \Rightarrow$ Componente normal à base $A_f \Rightarrow$ Área efetiva de Contato $c_a \Rightarrow$ Coef. de Adesão base – solo		
$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot C_a \cdot \cot \phi} \right)^{m+1}$	0,824			

Fatores de Inclinação do Solo Adjacente

$g'_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{294,5^\circ} \text{ [para } \phi = 0]$	0,983	0,81
$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{5,14 \cdot \tan(\phi)}$	0,813	
$g_q = g_\gamma = (1 - \tan(\beta))^2$	0,833	

Fatores de Inclinação da Base

$b'_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{294,5^\circ} \text{ [para } \phi = 0]$	1,000	1,00
$b_c = 1 - \frac{2 \cdot \eta}{5,14 \cdot \tan(\phi)}$	1,000	
		1,000



Nota:
 $\beta + \eta \leq 90^\circ$
 $\beta \leq \phi$

$$\sigma_r = c \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q \cdot g_q \cdot i_q \cdot b_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot d_\gamma \cdot g_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma$$

25882 kPa

$$\text{Fator de Segurança} = 3 \quad \therefore \sigma_{\text{adm, solo}} = 8627,33 \text{ kPa} = 86,27 \text{ kgf/cm}^2$$

A tensão admissível do solo é de 86,27kg/cm² e a tensão máxima na base da sapata é de 8,43kg/cm². Portanto, a verificação da sapata está de acordo com a tensão do solo.



3.5.2 Dimensionamento das sapatas

SAPATA E1 E E2 - 140X1300X40

Esforços no pilar		
N =	100.000,00	kgf
M _x =	1.000,00	kgf.m
M _y =	5.000,00	kgf.m

Pilar		
a ₀ =	1.300,00	cm
b ₀ =	30,00	cm
Ø _{ARM} =	16,00	mm

Concreto		
f _{ck} =	30,00	Mpa
γ _c =	1,40	

Sapata		
c =	5,00	cm
h =	40,00	cm
h ₀ =	40,00	cm
a =	1300,00	cm
b =	140,00	cm

Solo		
σ _{ADM}	172,00	kgf/cm ²

Aço		
f _y =	500,00	Mpa
γ _s =	1,15	

Altura útil:

$$d = 59,00 \text{ cm}$$

Força de tração nas armaduras:

$$F_x = 0,00 \text{ kgf}$$
$$F_y = 23.305,08 \text{ kgf}$$

Armadura principal de tração:

$$A_{sx} = 0,0000 \text{ cm}^2$$
$$A_{sx \text{ MIN}} = 11,5875 \text{ cm}^2$$
$$A_{sy} = 7,5042 \text{ cm}^2$$
$$A_{sy \text{ MIN}} = 126,7500 \text{ cm}^2$$
$$\gamma_F = 1,4$$

Módulo de resistência elástico da base:

$$W_x = 4246666,67 \text{ cm}^3$$
$$W_y = 39433333,33 \text{ cm}^3$$

Resistência de aderência de cálculo:

$$f_{bd} = 3,259 \text{ Mpa}$$
$$\eta_1 = 2,25$$
$$\eta_2 = 1,00$$
$$\eta_3 = 1,00$$

Tensões na base da sapata:

$$\sigma_{\text{MAX}} = 0,6406 \text{ kgf/cm}^2$$
$$\sigma_{\text{MIN}} = 0,5682 \text{ kgf/cm}^2$$
$$\alpha = 1,1$$

Ancoragem da armadura do pilar:

$$L_B \text{ BÁSICO} = 53,37 \text{ cm}$$

Critério de esforço cortante:

$$d \geq 0,0 \text{ cm}$$
$$d \geq 36,7 \text{ cm}$$

Critério de M. Caquot para punção:

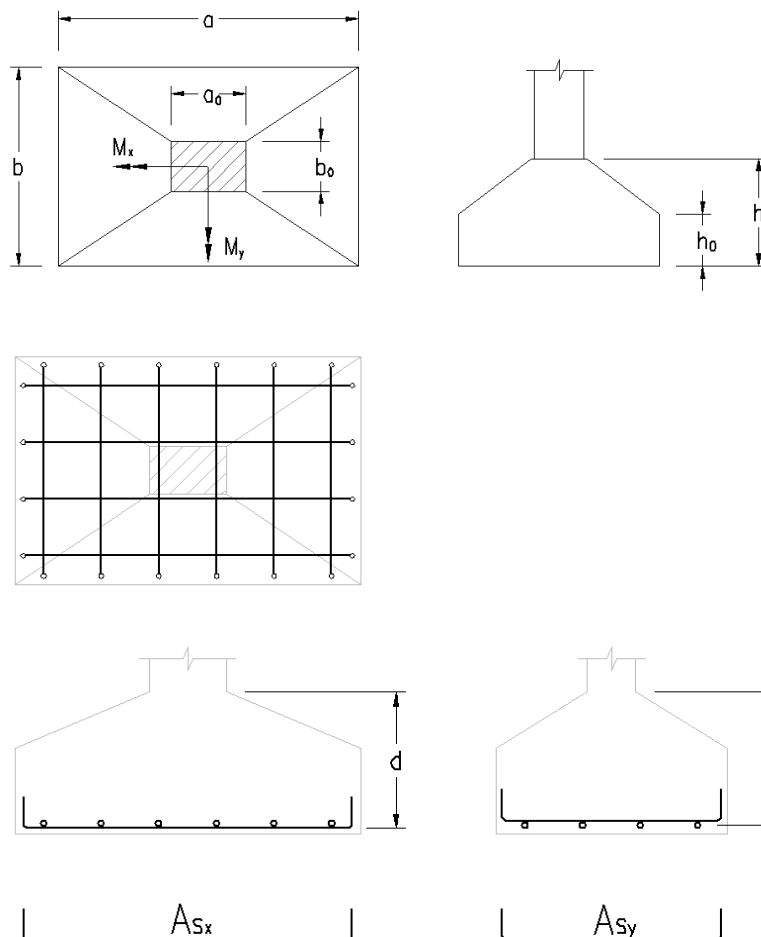
$$d \geq 39,9 \text{ cm}$$

Classificação da sapata:

$$h \geq 0,0 \text{ cm}$$
$$h \geq 36,7 \text{ cm}$$

SAPATA RÍGIDA

ARMADURAS	
Asx	Asy
27 Ø 6,3	251 Ø 6,3
17 Ø 8	156 Ø 8
11 Ø 10	100 Ø 10
7 Ø 12,5	64 Ø 12,5
5 Ø 16	39 Ø 16
3 Ø 20	25 Ø 20





3.5.3 Recalque inicial

RECALQUE INICIAL

Tabela 1 - Valores de “α” para os solos

SOLO	α
Areia	3
Silte	5
Argila	7

Tabela 2 – Valores de “k” para os solos

SOLO	K [MPa]
areia com pedregulhos	1,1
areia	0,9
areia siltosa	0,7
areia argilosa	0,55
silte arenoso	0,45
silte	0,35
argila arenosa	0,3
silte argiloso	0,25
argila siltosa	0,2

Tabela 3 – Valores do coeficiente de Poisson

SOLO	μ
areia pouco compacta	0,2
areia compacta	0,4
silte	0,3-0,5
argila saturada	0,4 - 0,5
argila não saturada	0,1-0,3

Tabela 4 – Valores do fator de influência

Forma	Sapata flexível - Iw			Sapata rígida	
	Centro	Borda	Média	Iw	Im
Circular	1,00	0,64	0,85	0,79	6,0
Quadrada	1,12	0,56	0,95	0,82	3,7
Retangular: L/B = 1,5	1,36	0,68	1,15	1,06	4,12
L/B = 2	1,53	0,77	1,30	1,20	4,38
L/B = 5	2,10	1,05	1,83	1,70	4,82
L/B = 10	2,54	1,27	2,25	2,10	4,93
L/B = 100	4,01	2,00	3,69	3,40	5,06

$$\begin{aligned}\alpha &= 3,00 \\ k &= 0,30 \\ N_{spt} &= 15 \\ \nu &= 0,40 \\ I_w &= 2,25\end{aligned}$$

Módulo de deformabilidade do solo:

$$E_s = \alpha \cdot K \cdot N$$
$$E_s = 13,50$$

Módulo de deformabilidade do solo:

$$\rho_i = \frac{1 - \nu^2}{E_s} \cdot I_w \cdot \sigma_s \cdot B$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= 6,80 \text{ kgf/cm}^2 \\ B &= 1,40 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\rho_i = 133,28 \text{ mm}$$



4 MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O RIO PINHALZINHO



4 MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O RIO PINHALZINHO

4.1 Introdução

Dados gerais da estrutura:

- Comprimento total = 10,60m;
- Comprimento do vão = 10,00m;
- Largura total do tabuleiro = 8,00m
- Ponte para Carga Móvel TB-45 (Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – IPR 709)

Classe de Agressividade Ambiental II:

- Cobrimento
 - Laje: 25mm
 - Viga: 30mm
 - Pilares: 30mm
 - Fundações: 30mm

Materiais:

- Concreto estrutural:
 - Infraestruturas: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
 - Mesoestrutura: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
 - Superestrutura: $F_{ck} \geq 30\text{MPa}$ (A/C=0,60)
- Aço
 - CA-50 (Estrutura de concreto armado)



4.2 Modelo computacional

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 de placa e restrição nos apoios, os quais representam respectivamente as paredes 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 sapatas.

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.

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.

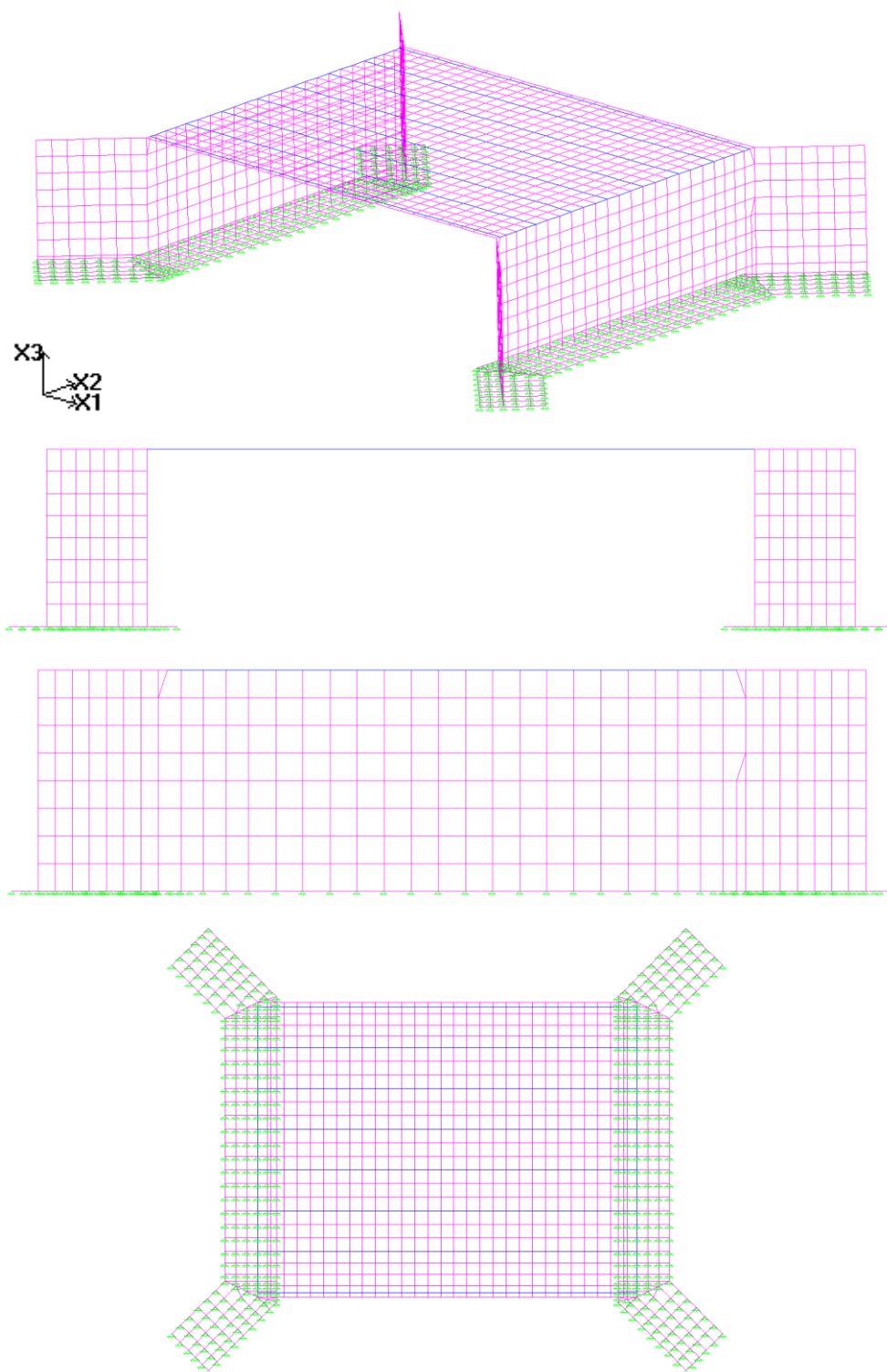


Figura 32 – Modelo de barras e elementos de placa

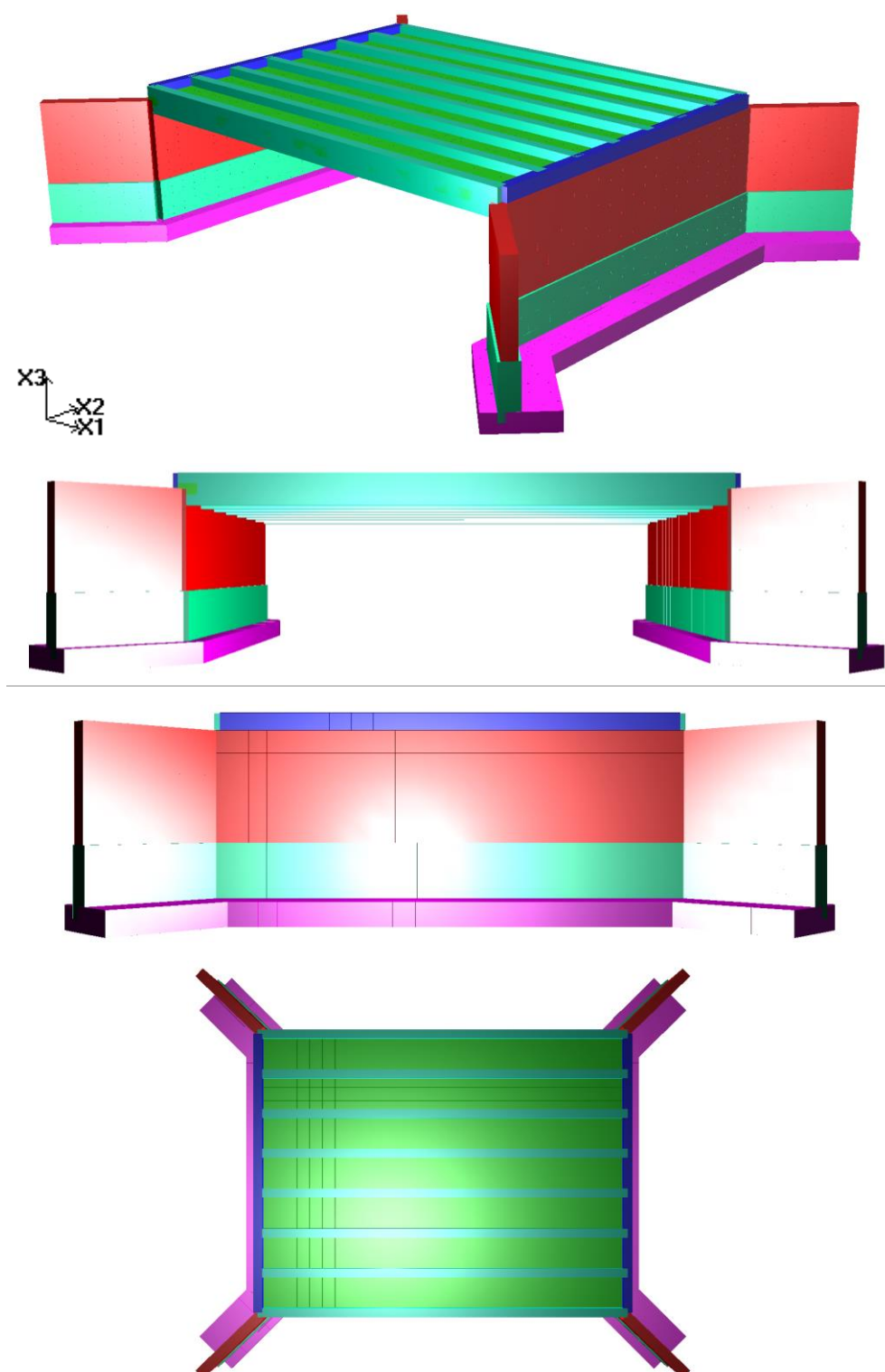


Figura 33 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado



4.2.1.1 Geometria do modelo

[illegible]

Figura 35 – Modelo computacional em planta baixa da superestrutura

A Ponte sobre o Rio PINHALZINHO possui 10,60m de comprimento, que é a distância entre o início e fim da obra. Para o cálculo da obra o vão teórico adotado é de 10,00m.

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;
- Guarda-rodas representados por elemento de barra fictícia.

4.2.1.2 Propriedades do modelo

A seguir apresentamos algumas propriedades geométricas das seções:

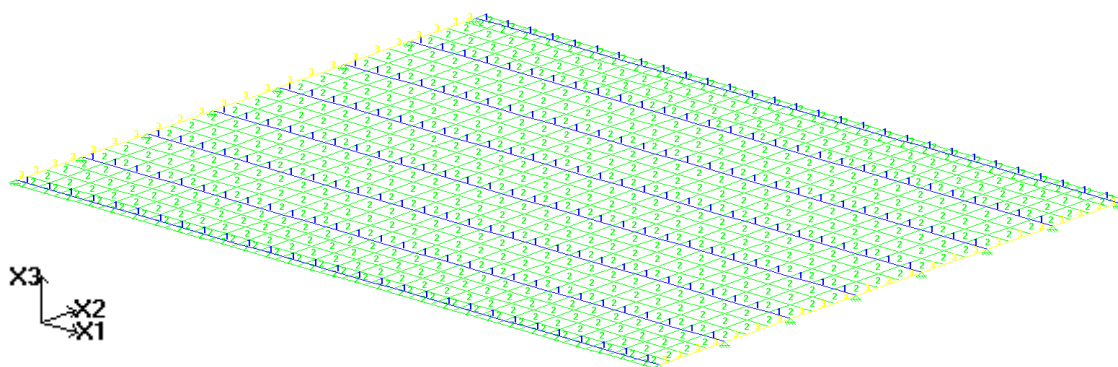
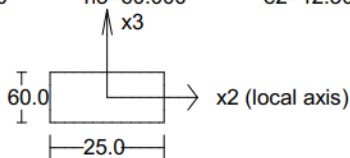
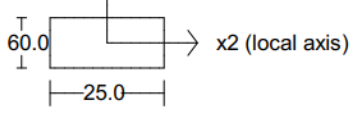


Figura 36 – Visualização das propriedades geométricas da OAE



SECTION PROPERTY TABLE (units - cm.)				
PROPERTY NO. 1				
A=0.1500E+04 Material = 1 - C30 h2=25.000	I2=0.4500E+06 h3=60.000	I3=0.7812E+05 Perimeter=170.000 e2=12.500	J=0.2307E+06 e3=30.000	SF2=0.850 SF3=0.850
				
PROPERTY NO. 2				
Thickness = Material = 1 - C30	21.000			SF3=0.000
PROPERTY NO. 3				
A=0.1500E+04 Material = 1 - C30 h2=25.000	I2=0.4500E+06 h3=60.000	I3=0.7812E+05 Perimeter=170.000 e2=12.500	J=0.2307E+06 e3=30.000	SF2=0.850 SF3=0.850
				

4.2.1.3 Apoios do modelo

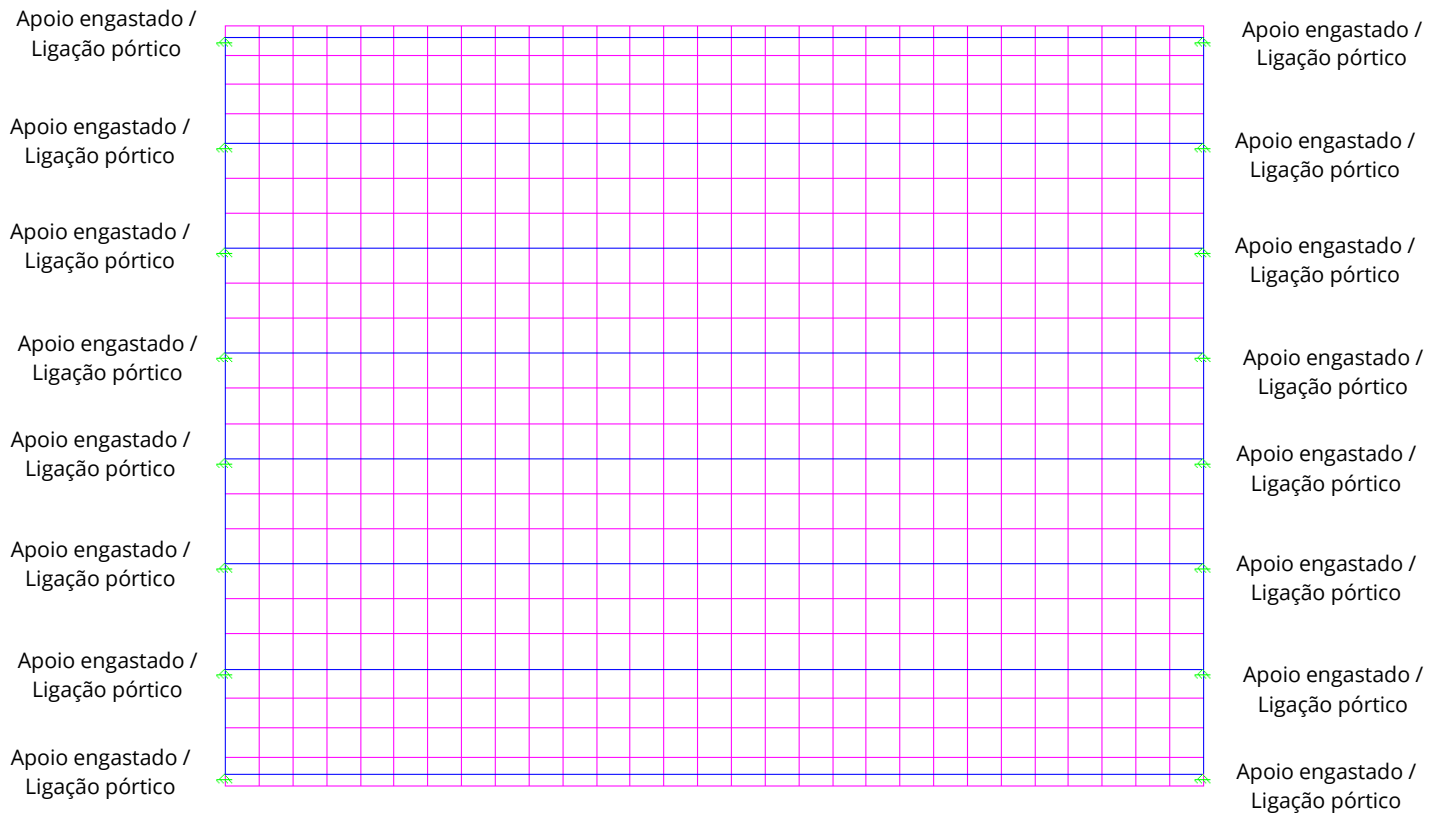


Figura 37 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da superestrutura

4.2.1.4 Materiais do modelo

- C30: Concreto Fck 30Mpa

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

4.2.1.5 Ações do modelo

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

4.2.1.5.1 Peso próprio das vigas

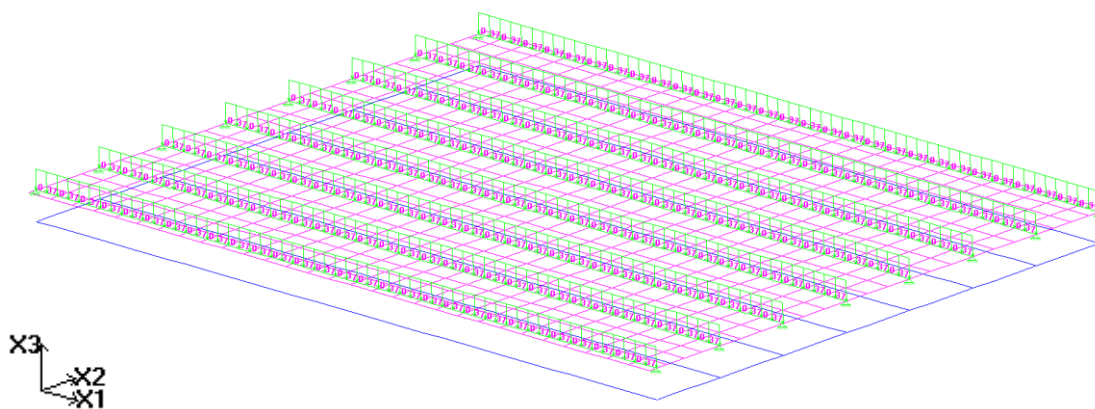


Figura 38 – Módulo de Cargas: Peso próprio das vigas

4.2.1.5.2 Peso próprio das transversinas

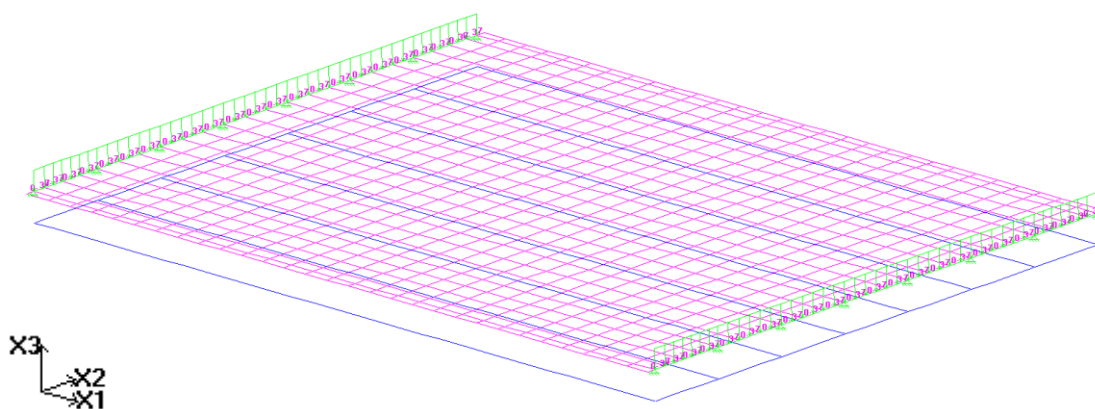


Figura 39 – Módulo de Cargas: Peso próprio das transversinas

4.2.1.5.3 Peso próprio da laje principal

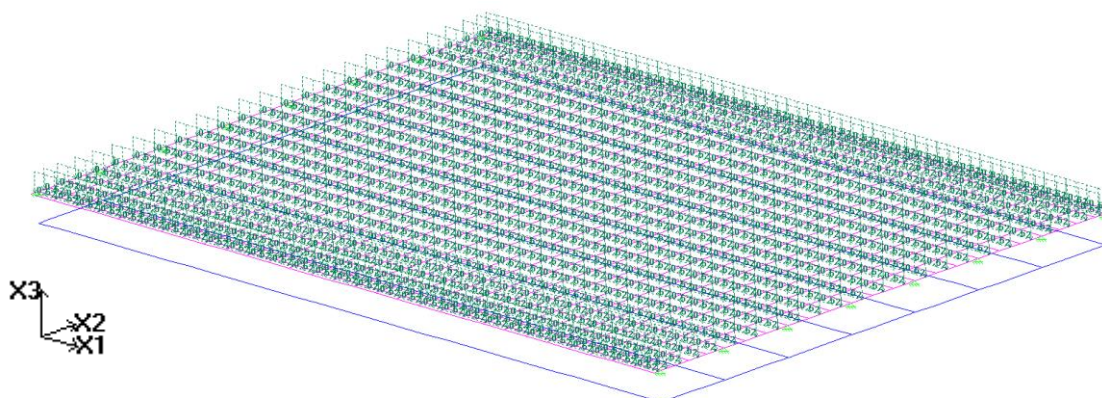


Figura 40 – Módulo de Cargas: Peso próprio da laje principal

4.2.1.5.4 Peso próprio da pavimentação

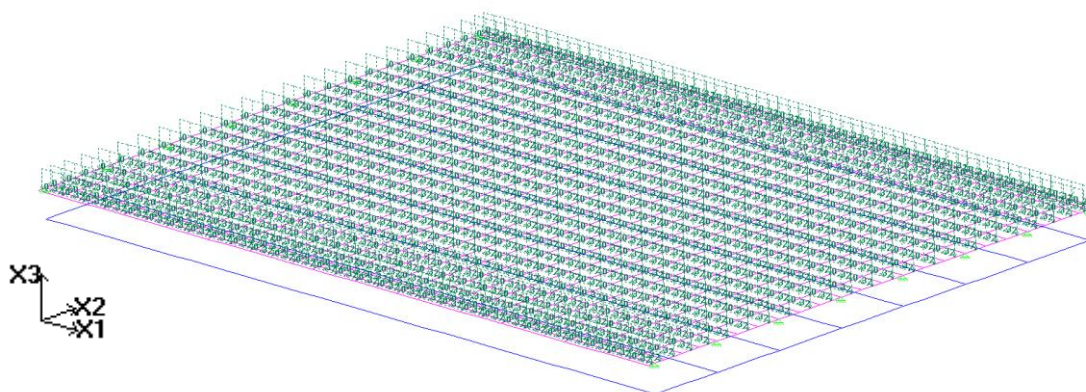


Figura 41 – Módulo de Cargas: Peso próprio da pavimentação

4.2.1.5.5 Peso próprio da barreira rígida “New Jersey”

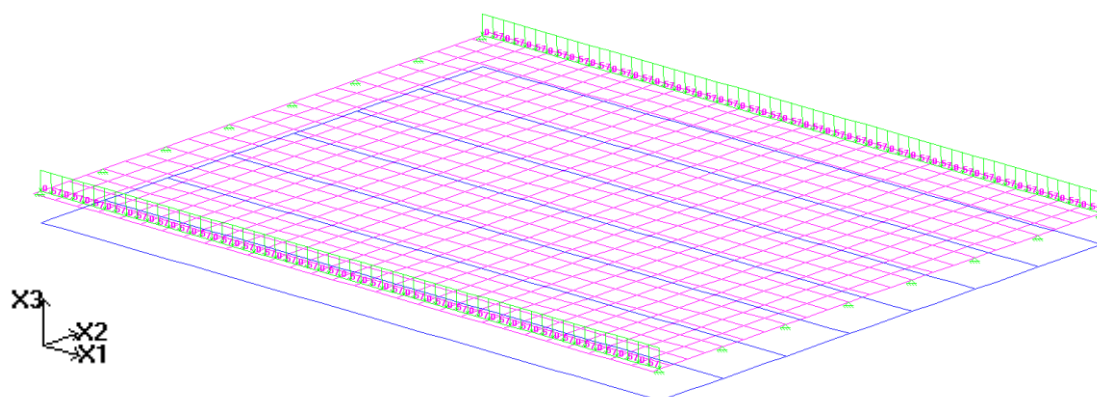


Figura 42 – Módulo de Cargas: Peso próprio da barreira rígida

4.2.1.5.6 Frenagem e aceleração

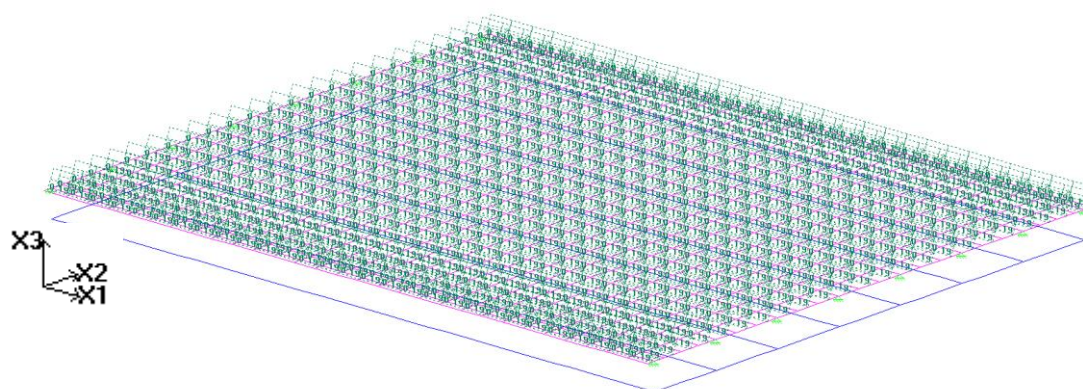


Figura 43 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração

4.2.1.5.7 Vento

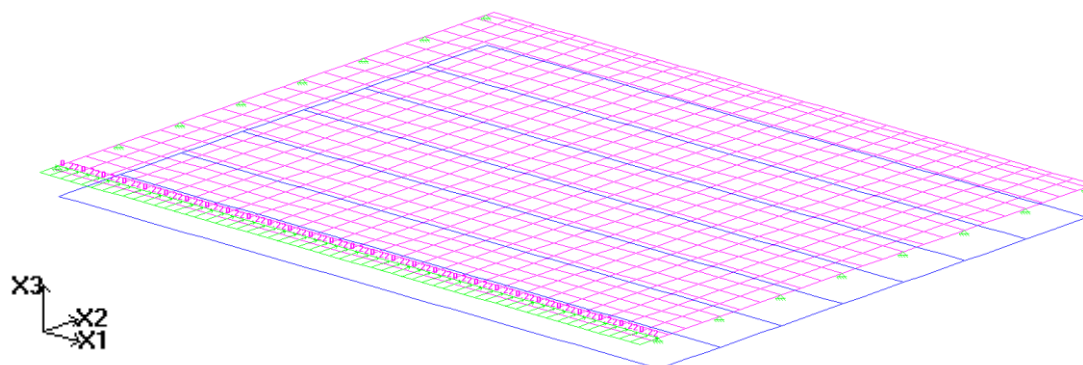


Figura 44 – Módulo de Cargas: Vento

4.2.1.5.8 Temperatura

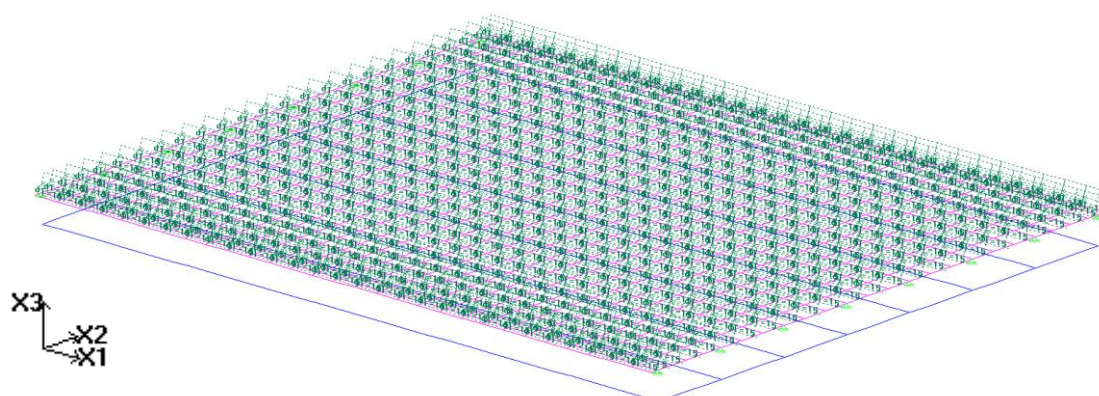


Figura 45 – Módulo de Cargas: Temperatura

4.2.1.5.9 Retração e fluência

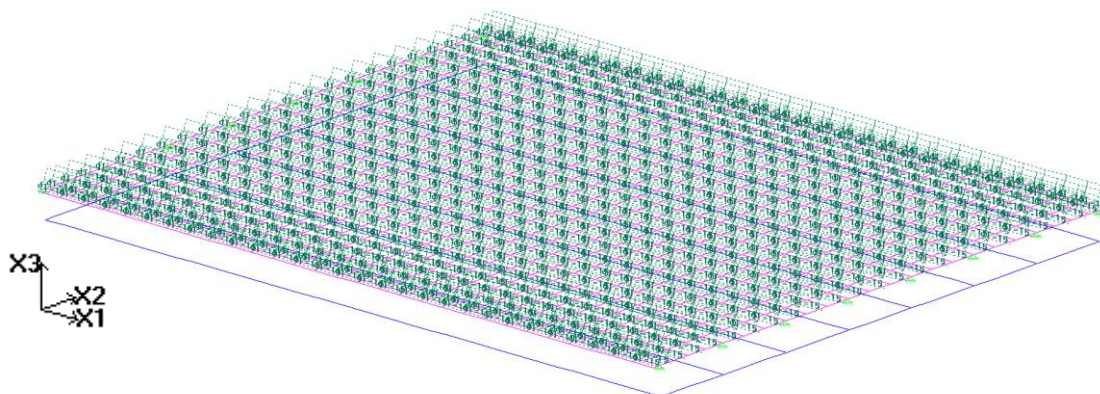


Figura 46 – Módulo de Cargas: Retração e fluência

4.2.1.5.10 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.

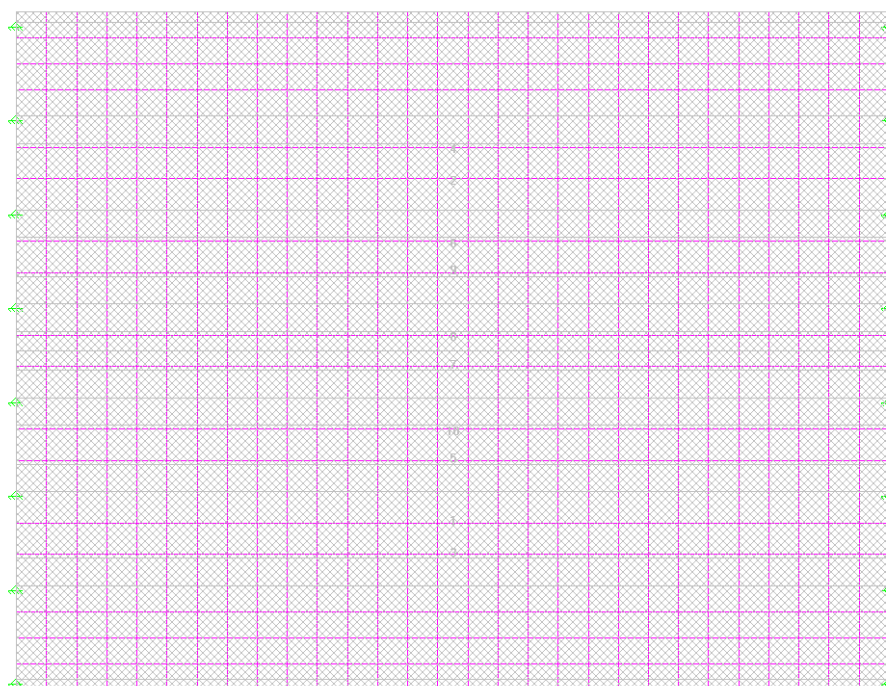


Figura 47 – Módulo de Pontes: Faixas



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	1	2	4.00	2.00	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 2								
1	4	3	4.00	-2.00	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 3								
1	10	11	3.00	1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 4								
1	12	13	3.00	-1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 5								
1	14	20	3.00	1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 6								
1	19	25	3.00	-1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 7								
1	15	21	3.00	1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 8								
1	18	24	3.00	-1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 9								
1	16	22	3.00	1.50	41	0.25	10.30	20
LANE NO. 10								
1	17	23	3.00	-1.50	41	0.25	10.30	20

Figura 48 – Módulo de Pontes: Faixas

Multidão – Faixas (LANE) 1 e 2;

Trem tipo TB-450 – Faixas (LANE) 3 a 10.

4.2.2 Mesoestrutura

4.2.2.1 Geometria do modelo

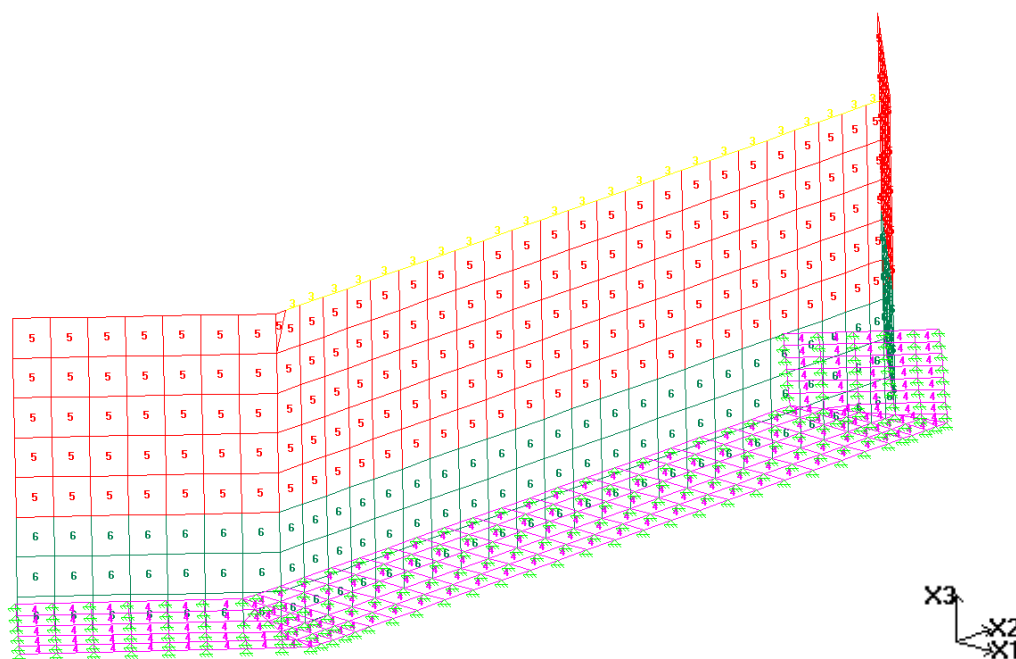


Figura 49 – Modelo computacional da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2

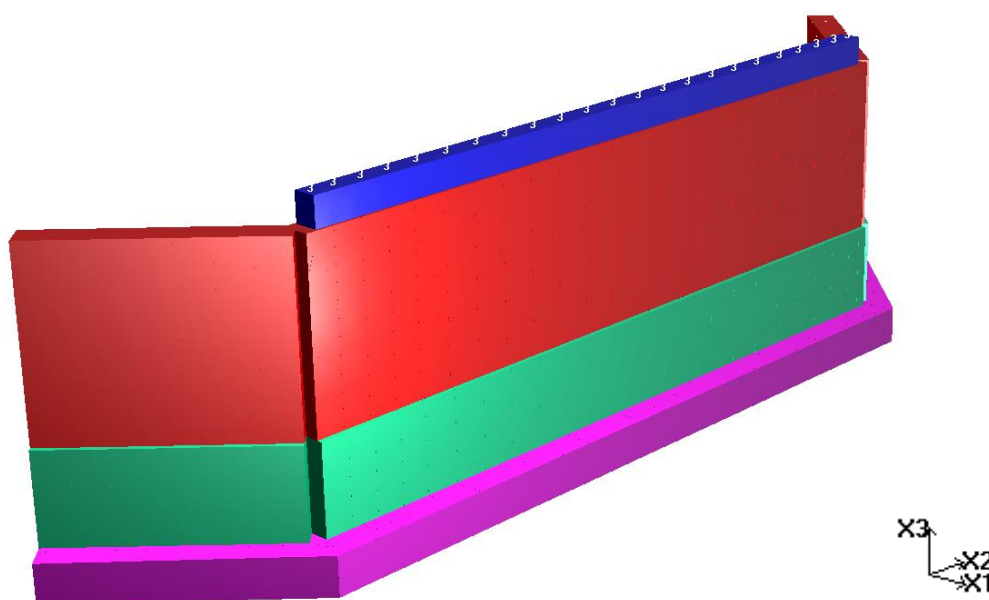
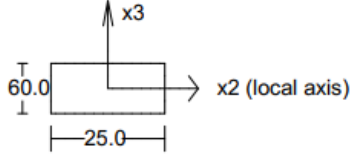
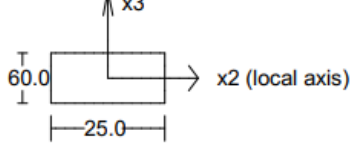


Figura 50 – Modelo computacional renderizado da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2



4.2.2.2 Propriedades do modelo

SECTION PROPERTY TABLE (units - cm.)					
PROPERTY NO. 1					
A=0.1500E+04 Material = 1 - C30 h2=25.000	I2=0.4500E+06 h3=60.000	I3=0.7812E+05 Perimeter=170.000 e2=12.500	J=0.2307E+06 e3=30.000	SF2=0.850 SF3=0.850	
					
PROPERTY NO. 2					
Thickness = 21.000 Material = 1 - C30		SF3=0.000			
PROPERTY NO. 3					
A=0.1500E+04 Material = 1 - C30 h2=25.000	I2=0.4500E+06 h3=60.000	I3=0.7812E+05 Perimeter=170.000 e2=12.500	J=0.2307E+06 e3=30.000	SF2=0.850 SF3=0.850	
					
PROPERTY NO. 4					
Thickness = 40.000 Material = 1 - C30		SF3=0.000			
PROPERTY NO. 5					
Thickness = 30.000 Material = 1 - C30		SF3=0.000			
PROPERTY NO. 6					
Thickness = 40.000 Material = 1 - C30		SF3=0.000			

4.2.2.3 Apoios do modelo

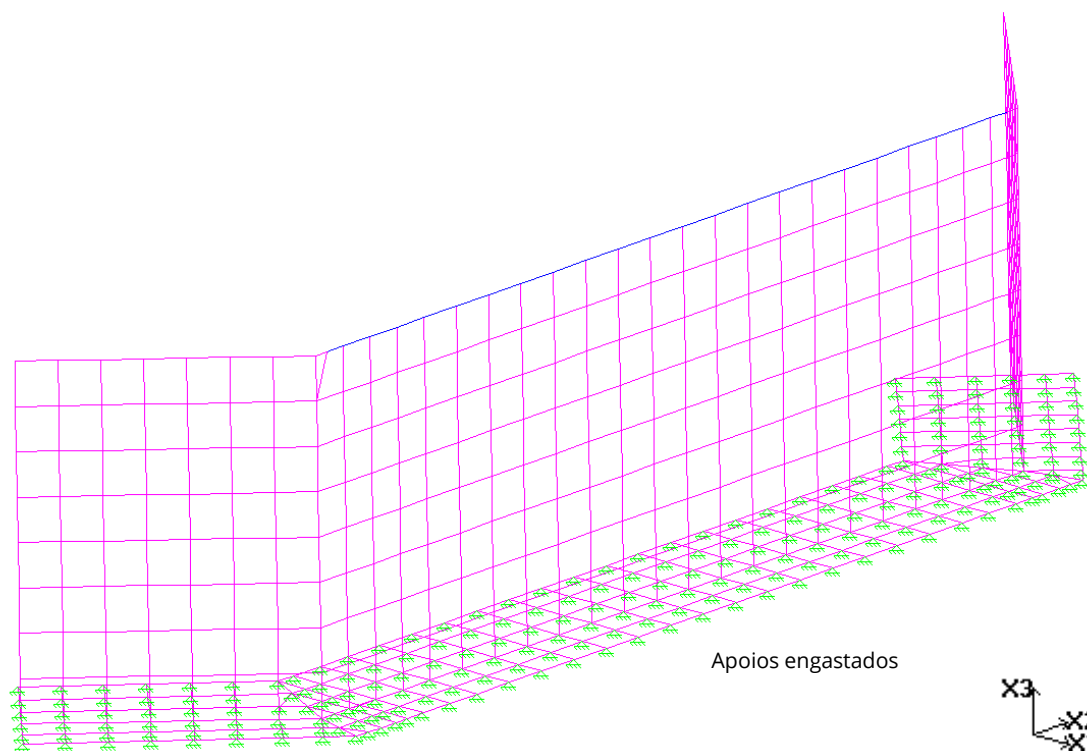


Figura 51 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da mesoestrutura

4.2.2.4 Materiais do modelo

- C30: Concreto;

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

4.2.2.5 Ações do modelo

4.2.2.5.1 Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura

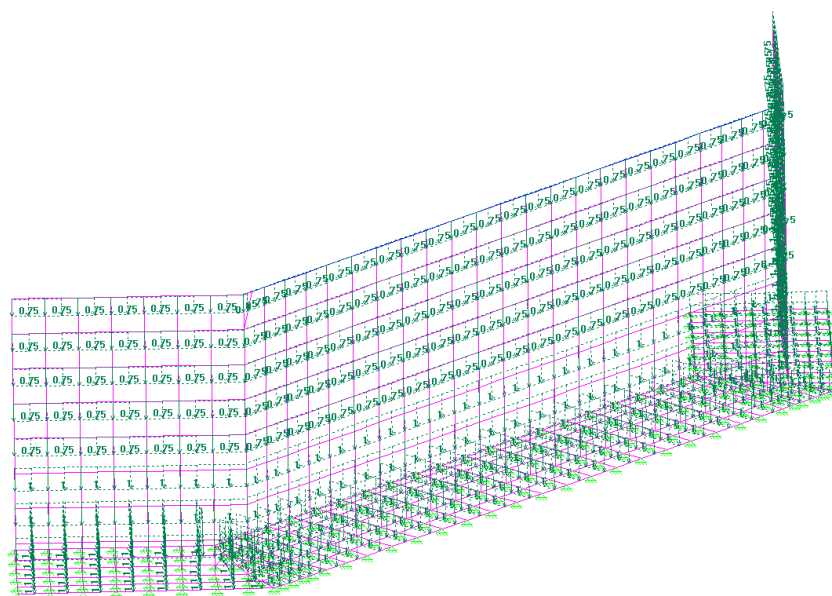


Figura 52 – Módulo de Cargas: Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura.

4.2.2.5.2 Empuxo de terra

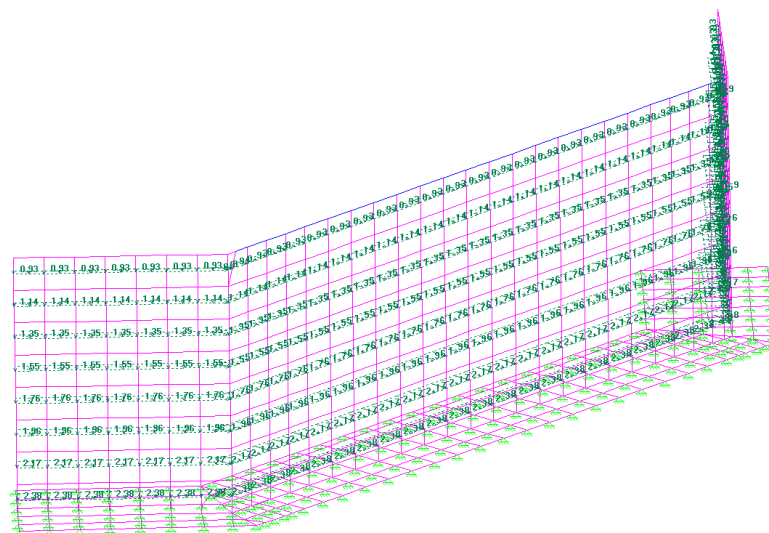


Figura 53 – Módulo de Cargas: Empuxo de terra

4.3 Superestrutura

4.3.1 Vigas

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

Tabela 3 - 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

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.

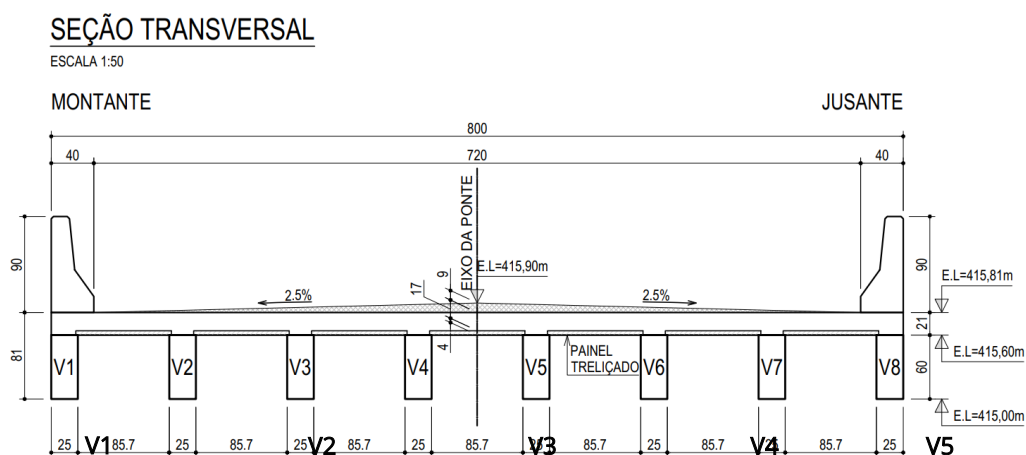


Figura 54 – Seção da transversal no vão da OAE

4.3.1.1 Resultados

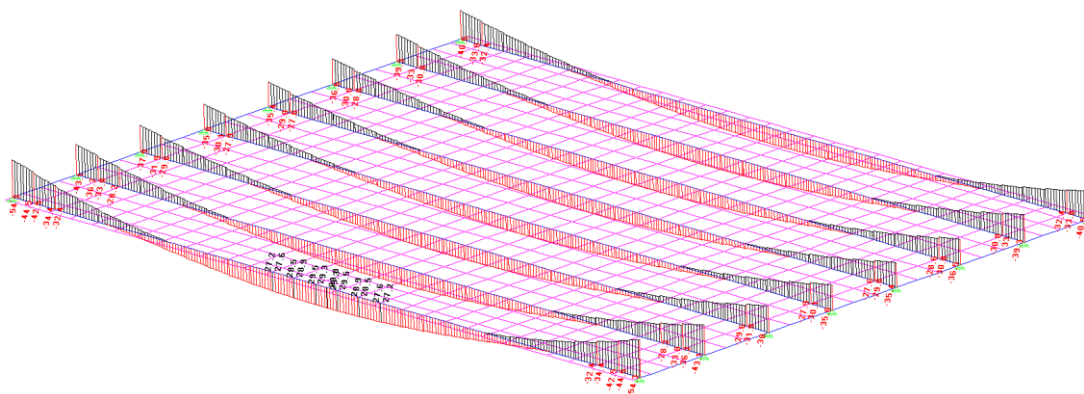


Figura 55 – Momento Fletor M2 – ELU

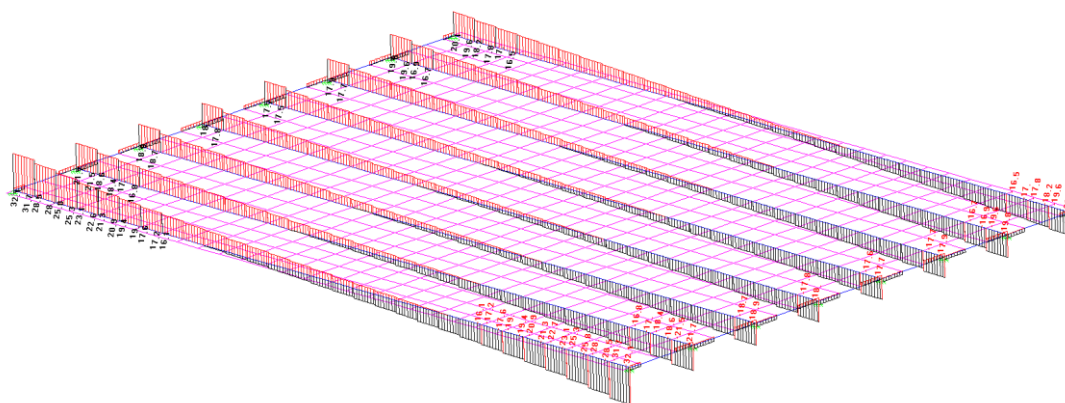


Figura 56 – Esforço Cortante V3 – ELU

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.

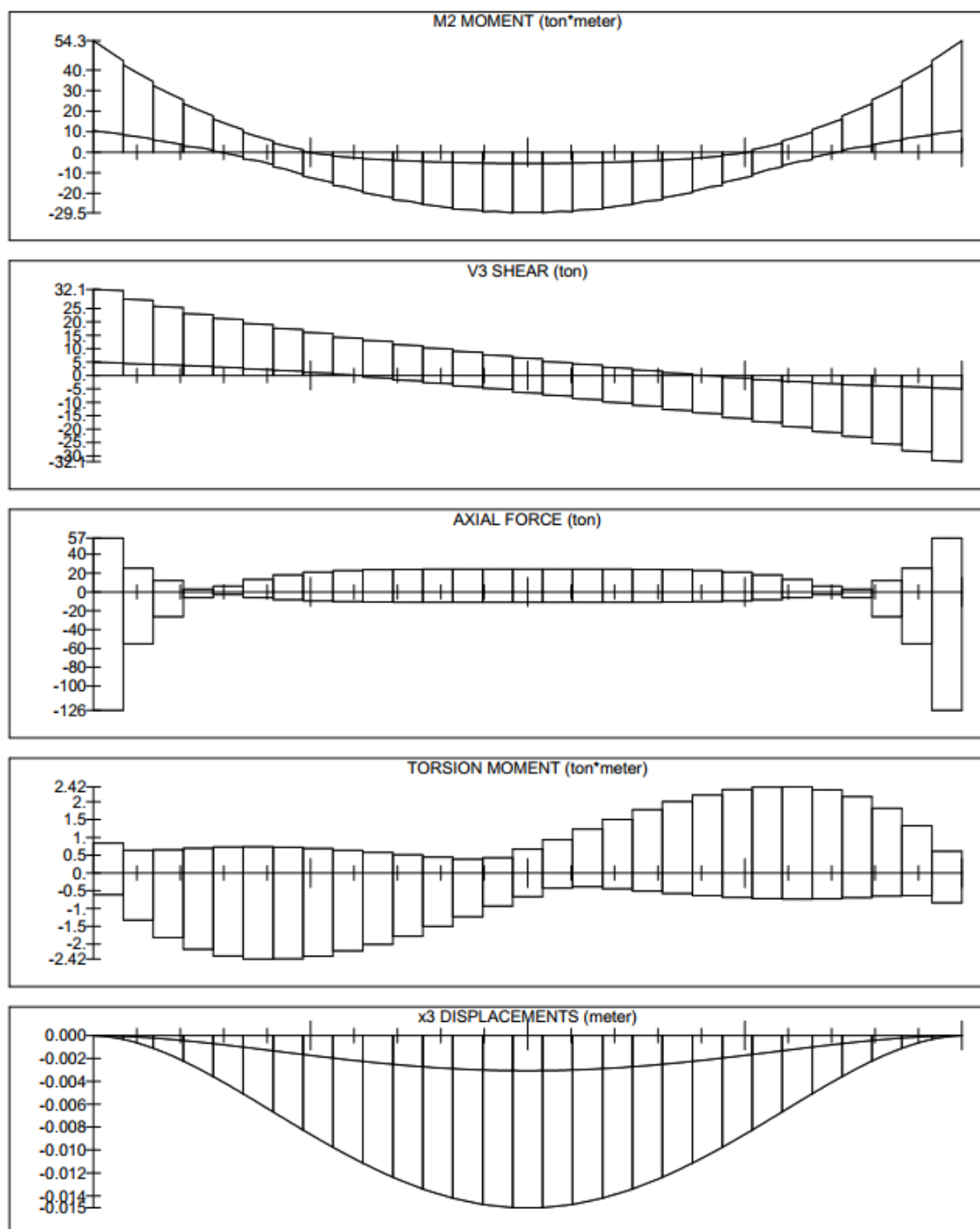
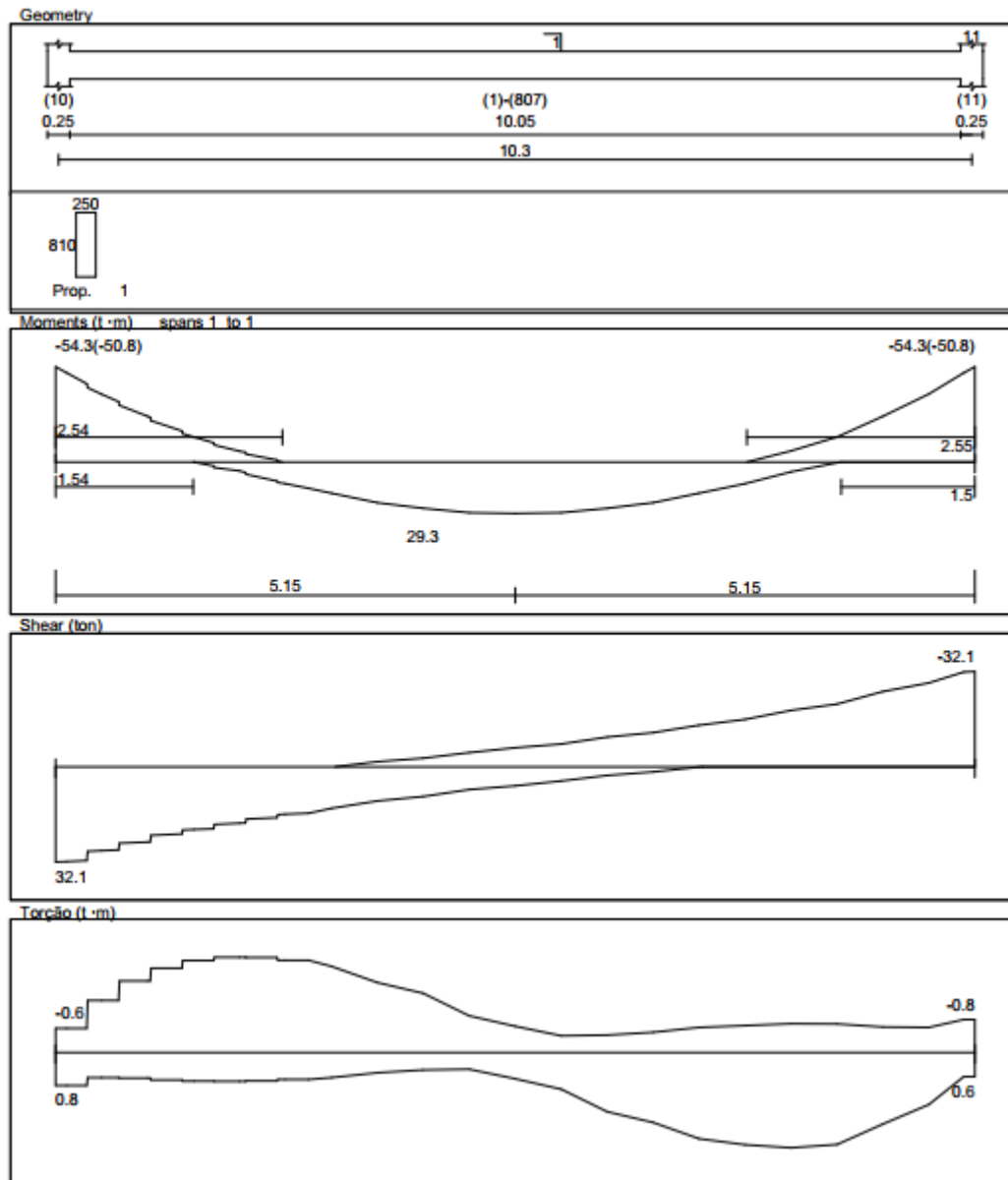
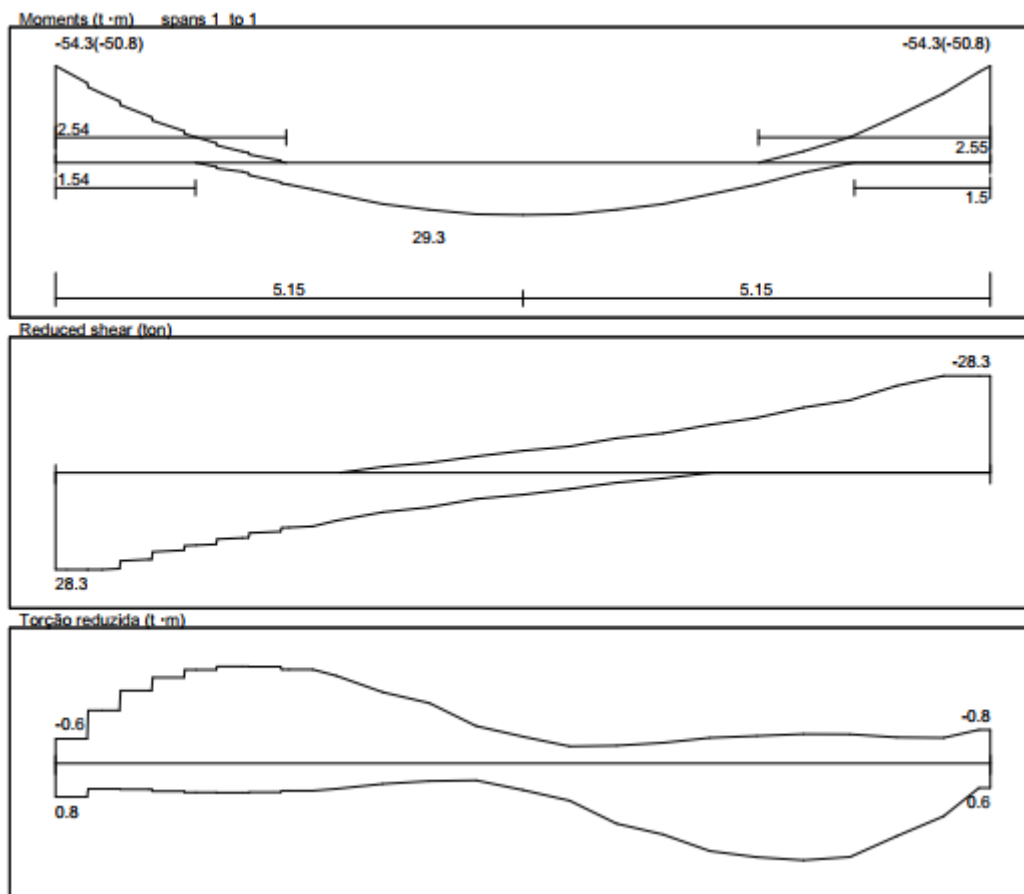


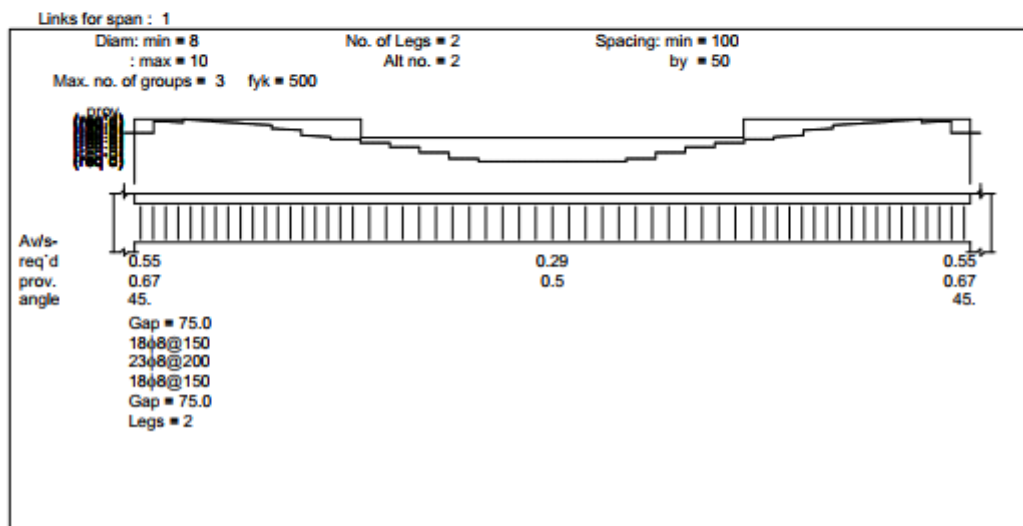
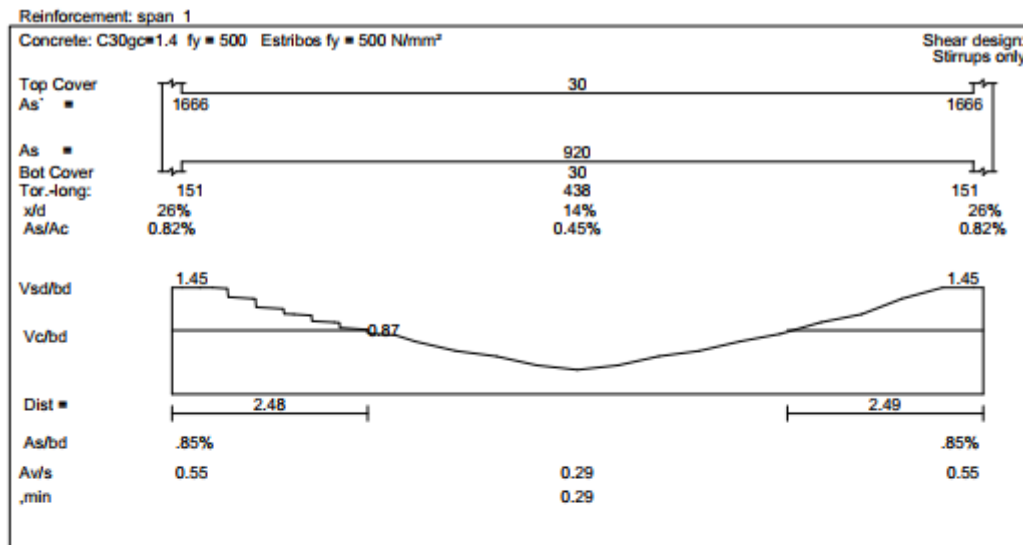
Figura 57 – Solicitações nas Vigas – ELU



4.3.1.2 Dimensionamento







Deslocamentos: Tramo 1

As' =	0
As =	921
$\delta(\text{elástico}) =$	15.04752
$\delta \cdot EI(EI)_{\text{novo}} =$	6.3318
Io =	0.01107
Ir =	0.00315
Mr =	11.87
Ma,g =	11.47
Ma,g+q =	13.94
Ma,sust =	11.47
leq,g =	0.01107
leq,g+q =	0.00805
leq,sust =	0.01107
e/1+5Dr =	1.98
di,g =	3.618
di,q =	2.430
dt,sust =	7.171
di,q =	L/4135
di,q+dt =	L/1072

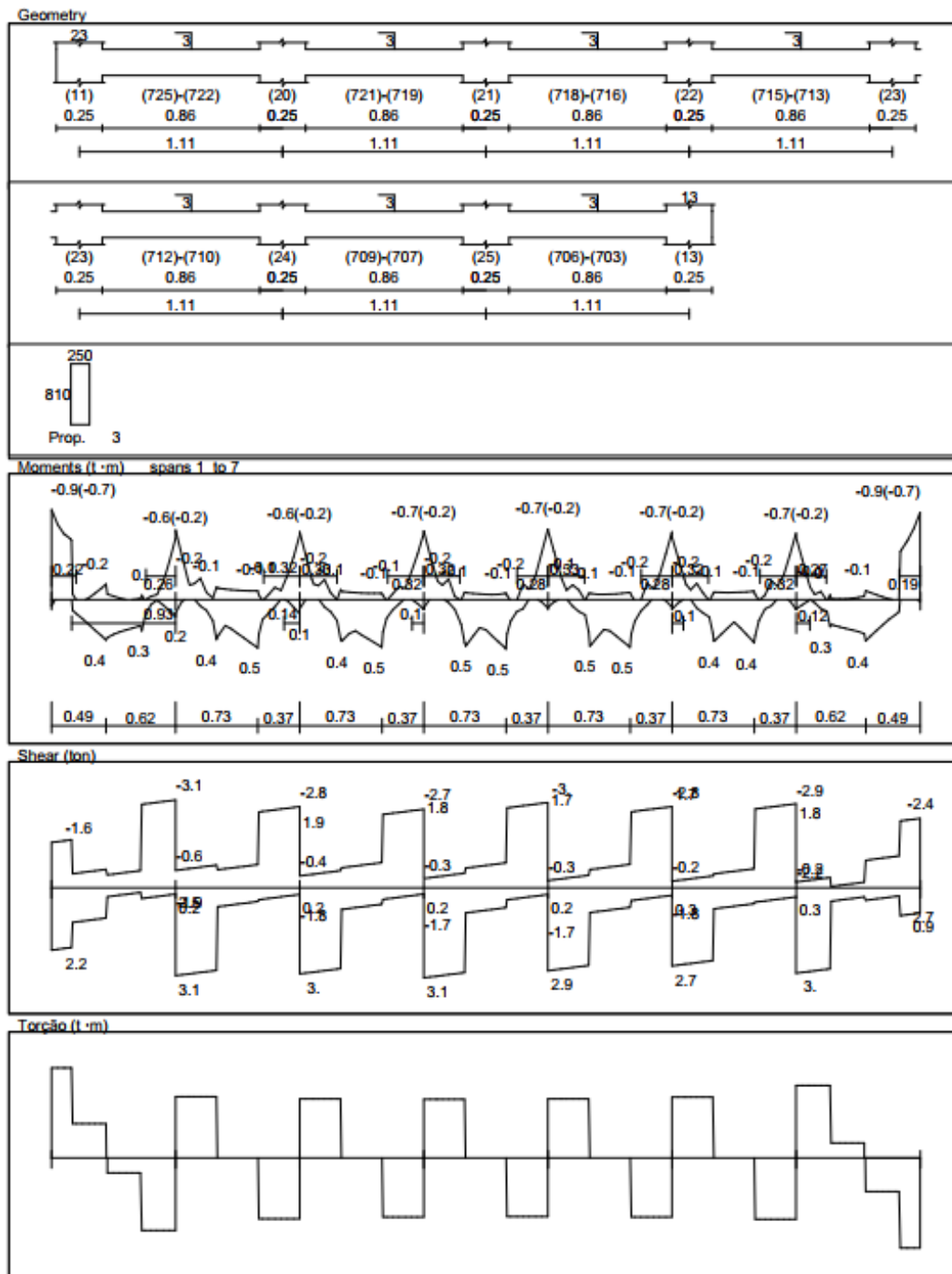
Deformação imediata: aplicar 100% de perm; 100% de acid
 Deformação de longa duração:
 - Longa duração : 100% de perm; 0 % de acid
 - Duração da carga: 60 meses
 Fat. de perm = 1.4 Fat. de acid = 1.6 Perm./Total = 0.8
 fr = 0.29 Ec = 30672 Es = 210000

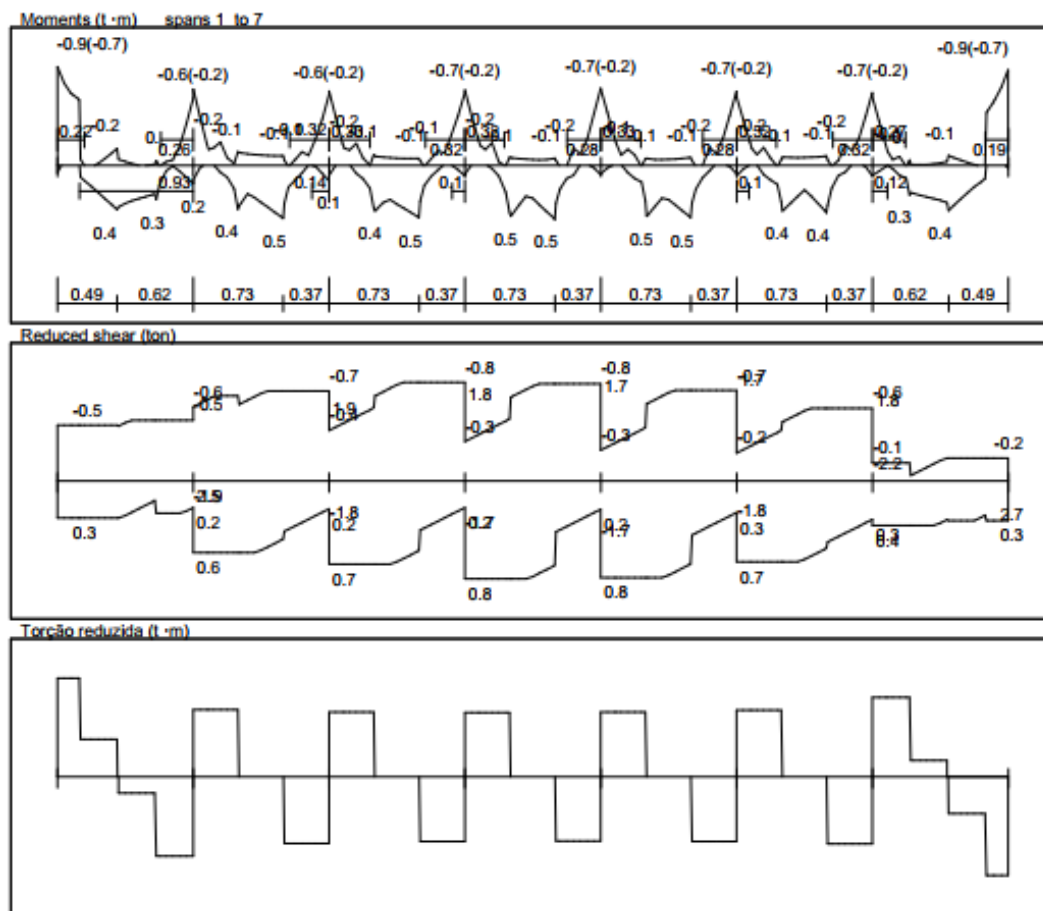
4.3.1.3 Armadura adotada

- Armadura longitudinal
 - $A_{s \text{ superior apoio e vão}} = 3 \varphi 12,50 \text{ mm}$
 - $A_{s \text{ inferior apoio e vão}} = 6 \varphi 20,0 \text{ mm} + 2 \varphi 16,0 \text{ mm}$
- Armadura transversal
 - $A_{s \text{ apoio e vão}} = 2 \text{ ramos } \varphi 8,0 \text{ mm c/ } 20,0 \text{ cm}$



4.3.2 Transversinas







Reinforcement: spans 1 - 4

Concrete: C30gc=1.4 fy = 500 Estribos fy = 500 N/mm²

Shear design: Stirrups only

Top Cover

As

As

Bot Cover

* = min. reinforcement

Tor.-long:

x/d

As/Ac

Vc/bd

Vs/bd

Dist

As/bd

Av/s

,min

** Os seguintes tramos são "deep beams": 1 2 3 4 **

	30		30		30		30		30		30	
	349*		349*		349*		349*		349*		349*	
	349*		349		349*		349		349*		349*	
	30		30		30		30		30		30	
	597		597		461		349		346		328	
	0%		0%		0%		0%		0%		0%	
	0.17%		0.17%		0.17%		0.17%		0.17%		0.17%	
	0.87		0.87		0.87		0.87		0.87		0.87	
	0.02		0.03		0.03		0.04		0.03		0.04	
	.18%		.18%		.18%		.18%		.18%		.18%	
	0.69		0.29		0.53		0.4		0.29		0.38	
			0.29				0.29				0.29	

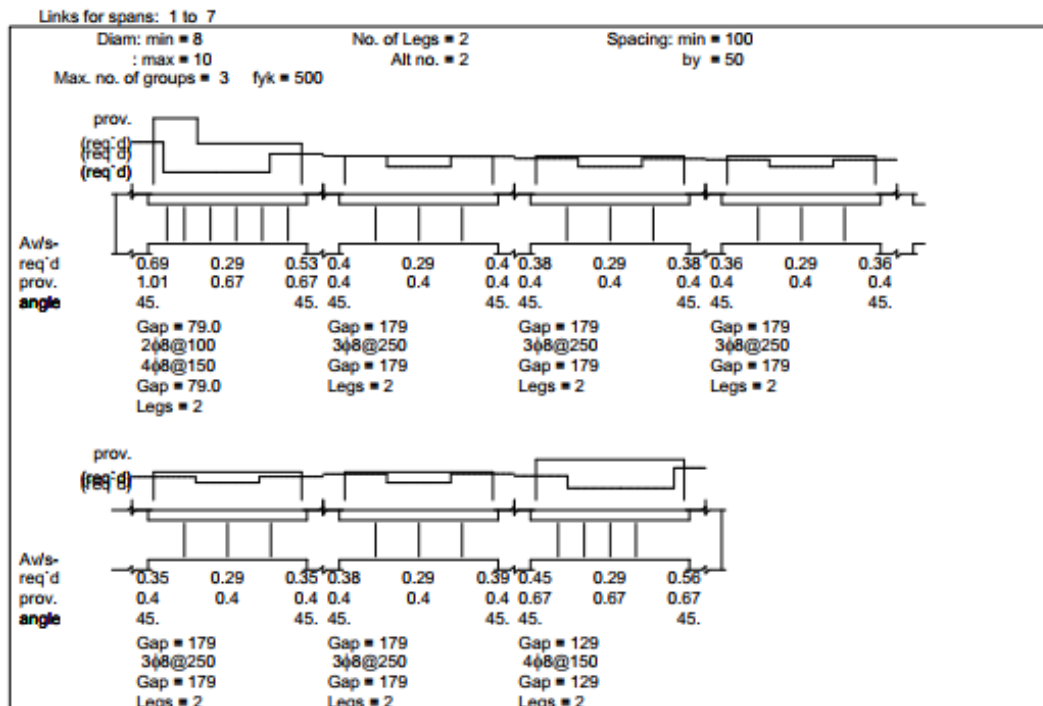
Reinforcement: spans 5 - 7

Concrete: C30gc=1.4 fy = 500 Estribos fy = 500 N/mm²

Shear design: Stirrups only

Top Cover	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
As*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*
As	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*
Bot Cover	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
* = min. reinforcement										
Tor.-long:	305	307	307	331	334	334	391	484	484	484
x/d	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
As/Ac	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%
Vc/bd	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Vs/bd	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Dist										
As/bd	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%
Av/s	0.35	0.29	0.35	0.38	0.29	0.39	0.45	0.29	0.56	0.56
,min		0.29		0.29			0.29		0.29	

** Os seguintes tramos são "deep beams": 5 6 7 **



Deslocamentos: Tramo 1 4

As' =	349	349	349	349
As =	349	349	349	349
δ(elástico) =	0.00809	0.00914	0.00894	0.00927
lo =	0.01107	0.01107	0.01107	0.01107
lr =	0.00139	0.00139	0.00139	0.00139
Mr =	11.87	11.87	11.87	11.87
Ma,g =	0.15	0.18	0.18	0.19
Ma,g+q =	0.18	0.22	0.22	0.23
Ma,sust =	0.15	0.18	0.18	0.19
leq,g =	0.01107	0.01107	0.01107	0.01107
leq,g+q =	0.01107	0.01107	0.01107	0.01107
leq,sust =	0.01107	0.01107	0.01107	0.01107
e/1+50r =	1.82	1.82	1.82	1.82
di,g =	0.002	0.002	0.002	0.002
di,q =	0.000	0.000	0.000	0.000
di,sust =	0.004	0.004	0.004	0.004
di,q =	L****	L****	L****	L****
di,q+di =	L****	L****	L****	L****

Deformação imediata: aplicar 100% de perm; 100% de acid

Deformação de longa duração:

- Longa duração : 100% de perm; 0 % 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

Deslocamentos: Tramo 5 7

As =	349	349	349
As =	349	349	349
$\delta(\text{elástico}) =$	0.00891	0.00876	0.0082
lo =	0.01107	0.01107	0.01107
lr =	0.00139	0.00139	0.00139
Mr =	11.87	11.87	11.87
Ma,g =	0.19	0.15	0.16
Ma,g+q =	0.23	0.18	0.19
Ma,sust =	0.19	0.15	0.16
leq,g =	0.01107	0.01107	0.01107
leq,g+q =	0.01107	0.01107	0.01107
leq,sust =	0.01107	0.01107	0.01107
e/1+50r =	1.82	1.82	1.82
di,g =	0.002	0.002	0.002
di,q =	0.000	0.000	0.000
dt,sust =	0.004	0.004	0.004
di,q =	L****	L****	L****
di,q+dt =	L****	L****	L****

- Armadura longitudinal
 - $A_{s\text{inferior}} = 3 \phi 12,5\text{mm}$
 - $A_{s\text{superior}} = 3 \phi 12,5\text{mm}$
- Armadura transversal
 - $A_{s\text{apoio e vão}} = 2 \text{ ramos } \phi 10,0\text{mm } c/ 10,0\text{cm}$

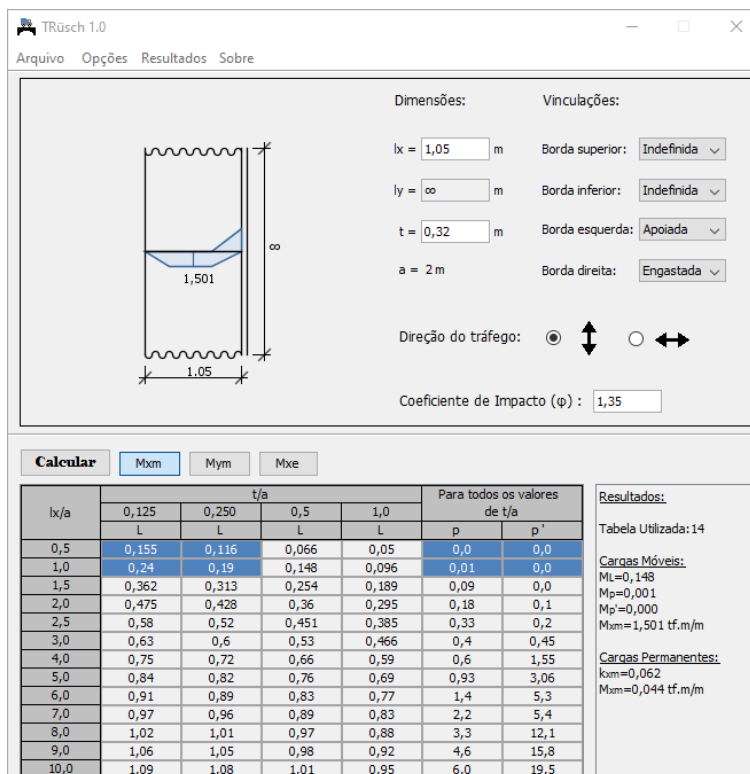
4.3.3 Laje principal

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

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:

$l_x = 1,05$ m

$l_y = \infty$ m

$t = 0,32$ m

$a = 2$ m

Vinculações:

Borda superior: Indefinida

Borda inferior: Indefinida

Borda esquerda: Apoiada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒ \updownarrow ☐ \leftrightarrow

Coefficiente de Impacto (ϕ): 1,35

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:

$M_L = 0,148$

$M_P = 0,001$

$M_P = 0,000$

$M_{xm} = 1,501$ tf.m/m

Cargas Permanentes:

$k_{xm} = 0,062$

$M_{xm} = 0,044$ tf.m/m

Figura 58 – 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)
$h_{laje} = 0,210 \text{ m}$	$A_{contato} = 0,32 \text{ m}$	($A_{contato}$: segundo tabela 3 - Rusch)
	$cobr = 2,5 \text{ cm}$	(Cobrimento da armadura)
	$g_{conc} = 2,50 \text{ t/m}^3$	$\gamma_g = 1,35$
$h_{pav} + recap = 0,05 \text{ m}$	(carregamento) $g_{pav} = 2,40 \text{ t/m}^3$	$\gamma_p = 1,50$

1) Laje engastada - apoiada Tabela Rüsch 14

1.1) Cálculo para o M_{xm} e M_{ym}

$L_x = 1,05 \text{ m}$	$npistas = 2$
$L_y / L_x = \infty$	$A_{contato}$
$L_x / a = 0,525$	32
$t = (h_{pav} + h_{laje}/2) * 2 + A_{contato}$	h_{pav}
$t = 0,630$	$h_{laje}/2$
$t / a = 0,315$	t

Cálculo do coeficiente de impacto

$CIV = 1,350$ ("Fator de impacto" na memória de cálculo)

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

$CNF = 1,00$

Coefficiente de impacto = 1,350

a) Carga Permanente

Rüsch : $M_{xm} \rightarrow K = 0,0625$ $M_{ym} \rightarrow K = 0,0104$

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

$$g = 0,645 \text{ t/m}^2$$

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

$$M_{xm} = 0,044 \text{ tm/m}$$

$$M_{ym} = 0,007 \text{ tm/m}$$

b) Carga Móvel

Rüsch : $M_{xm} \rightarrow ML = 0,148$

$M_p = 0,001$

$M_{p'} = 0$

Rüsch : $M_{ym} \rightarrow ML = 0,103$

$M_p = 0$

$M_{p'} = 0,01$

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

$$M_{xm} = 1,499 \text{ tm/m}$$

$$M_{ym} = 1,050 \text{ tm/m}$$



Dimensionamento

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

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

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

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

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

Mxm → d = 0,180 m bw = 1,00 m

$$M_{xmd} = 2,31 \text{ tm}$$

$$A_s' = 3,01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_f = 1,350$$

$$A_s = 4,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Ø 10,0mm C/ 15,00cm

Mym → d = 0,170 m bw = 1,00 m

$$M_{ymd} = 1,58 \text{ tm}$$

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

$$K_f = 1,380$$

$$A_s = 3,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Ø 10,0mm C/ 25,00cm

1.2) Cálculo para o Mxe

Lx = 1,05 m npistas = 2



$$L_y / L_x = \infty$$

$$L_x / a = 0,53$$

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

$$t = 0,630$$

$$t / a = 0,315$$

Cálculo do coeficiente de impacto

$$CIV = 1,350 \quad (\text{"Fator de impacto" na memória de cálculo})$$

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

$$CNF = 1,00$$

$$\text{Coeficiente de impacto} = 1,350$$

a) Carga Permanente

Rüsch : Mxe → K = -0,125

$$g = h_{pav} \cdot g_{pav} + h_{laje} \cdot g_{laje}$$

$$g = 0,645 \text{ t/m}^2$$

$$M = K \cdot g \cdot L_x^2$$

$$M_{xe} = -0,089 \text{ t.m/m}$$

b) Carga Móvel

Rüsch : Mxe → ML = 0,243

$$M_p = 0$$

$$M_{p'} = 0,105$$

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

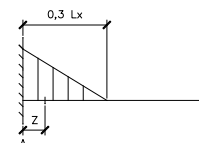
$$M_{xeA} = -2,531 \text{ tm/m}$$

c) Diagrama de Cobertura

$$Z = 0,535$$

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

$$M_{xez} = 1,77 \text{ tm/m}$$



**Dimensionamento**

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

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

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

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

$$A_s = A_s' * K_f$$

em "A" → $d = 0,280 \text{ m}$ $b_w = 1,00 \text{ m}$

$$M_{x\text{ed}_A} = -3,92 \text{ tm}$$

$$A_s' = 3,26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_f = 1,343$$

$$A_s = 4,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\varnothing 10,0\text{mm} \quad C/ 15,00\text{cm}$$

em "Z" → $d = 0,180 \text{ m}$ $b_w = 1,00 \text{ m}$

$$M_{x\text{ed}_Z} = 2,53 \text{ tm}$$

$$A_s' = 3,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_f = 1,464$$

$$A_s = 4,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\varnothing 10,0\text{mm} \quad C/ 15,00\text{cm}$$

Adotadas as seguintes armaduras:

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

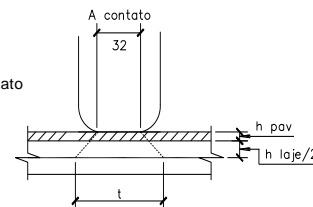
4.3.4 Laje de transição

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	$co_{br} = 2,5 \text{ cm}$	(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 M_{xm} , M_{ym} e M_{xr}

$L_x = 4,00 \text{ m}$	$L_y = 8,00 \text{ m}$	$npistas = 2$
$L_y / L_x = 2,00$		
$L_x / a = 2,00$		
$t = (h_{pav} + h_{aterro} + h_{laje \text{ de transição}}/2) * 2 + A_{contato}$		
$t = 1,37$		
$t / a = 0,685$		



Cálculo do coeficiente de impacto

$CIV = 1,350$ (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 = 1,350

a) Carga Permanente

Rüsch : $M_{xm} \rightarrow K = 0,125$	$M_{ym} \rightarrow K = 0,021$	$M_{xr} \rightarrow K = 0,125$
$g = h_{pav} * g_{pav} + h_{aterro} * g_{aterro} + h_{laje \text{ de transição}} * g_{conc}$		
$g = 1,375 \text{ t/m}^2$		
$M = K * g * L_x^2$		
$M_{xm} = 2,750 \text{ tm/m}$		
$M_{ym} = 0,458 \text{ tm/m}$		
$M_{xr} = 2,750 \text{ tm/m}$		

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 : $M_{xr} \rightarrow ML = 0,096$	$M_p = 0,063$	$M_{p'} = 0,042$

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

$M_{xm} = 0,96 \text{ tm/m}$

$M_{ym} = 1,22 \text{ tm/m}$

$M_{xr} = 1,04 \text{ tm/m}$

**Dimensionamento**

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

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

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

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

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

Mxm →	d = 0,219 m	b _w = 1,00 m	
	M _{xmd} = 5,16 tm		
	A _s ' = 5,59 cm ² /m		
	K _f = 1,000		
	A _s = 5,59 cm ² /m	Ø 12,5mm C/ 22,00cm	*longitudinal
Mym →	d = 0,206 m	b _w = 1,00 m	
	M _{ymd} = 2,45 tm		
	A _s ' = 2,78 cm ² /m		
	K _f = 1,011		
	A _s = 2,81 cm ² /m	Ø 12,5mm C/ 44,0cm	*transversal
Mxr →	d = 0,22 m	b _w = 1,00 m	
	M _{xmd} = 5,28 tm		
	A _s ' = 5,73 cm ² /m		
	K _f = 1,000		
	A _s = 5,73 cm ² /m	Ø 12,5mm C/ 22,0cm	*longitudinal

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

4.3.5 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
fcd=	21,4 MPa
fyk=	500,0 MPa
fyd=	434,8 MPa
Mk=	kN.m
Md=	52,20 kN.m
h _{médio} =	35,0 cm
c=	4,0 cm
d=	31,0 cm
bw=	100,0 cm
ε _{yd} =	2,07 ‰
ρ _{min} =	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
x =	1,1734 cm
Área de Aço	
$As = \frac{Md}{fyd * (d - 0,4 * x)}$	
As =	3,932 cm²/m
Armadura mínima	
As,min = 6,055 cm²/m	
Armadura de pele	
As,pele = 2,300 cm²/m	
10 x 6,3mm	
Armação Adotada	
As,adot = 6,055 cm²/m	
Adotado: Ø 8,0 c/15,0cm	

4.4 Mesoestrutura

4.4.1 Apoios E1 e E2

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.

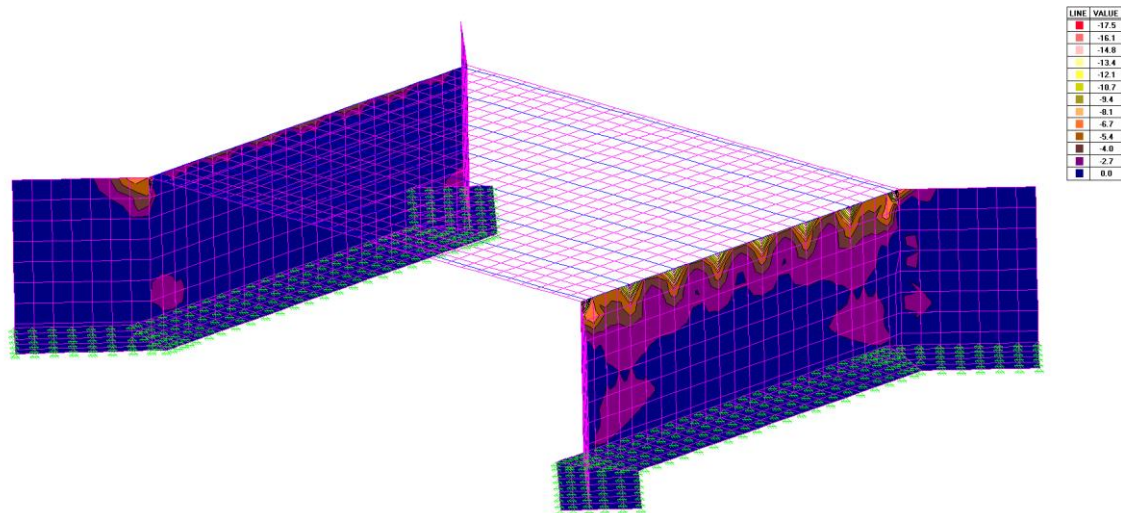


Figura 59 – Momento fletor MX, face +Z (tf.m/m)

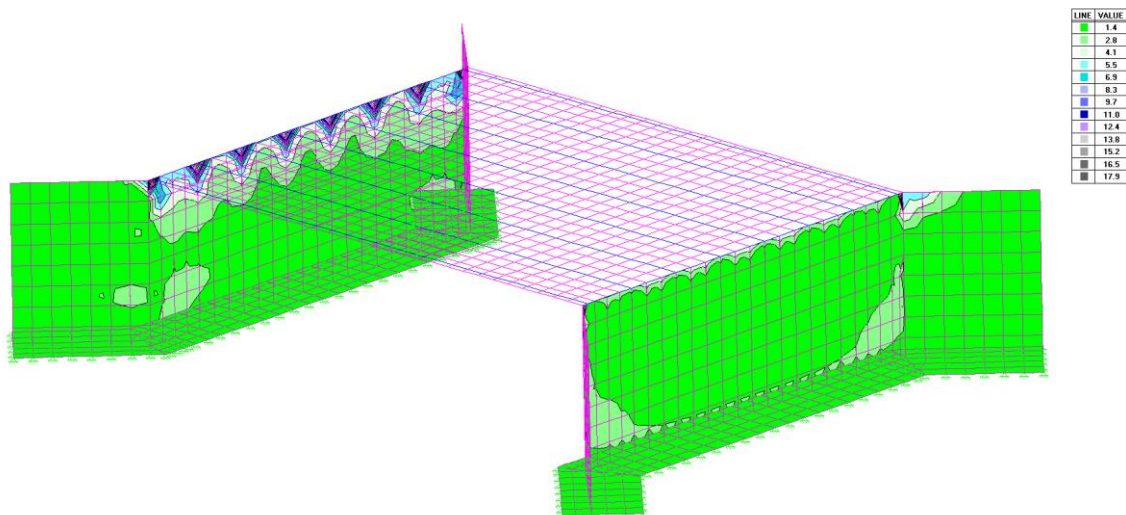


Figura 60 – Momento fletor MX, face -Z (tf.m/m)

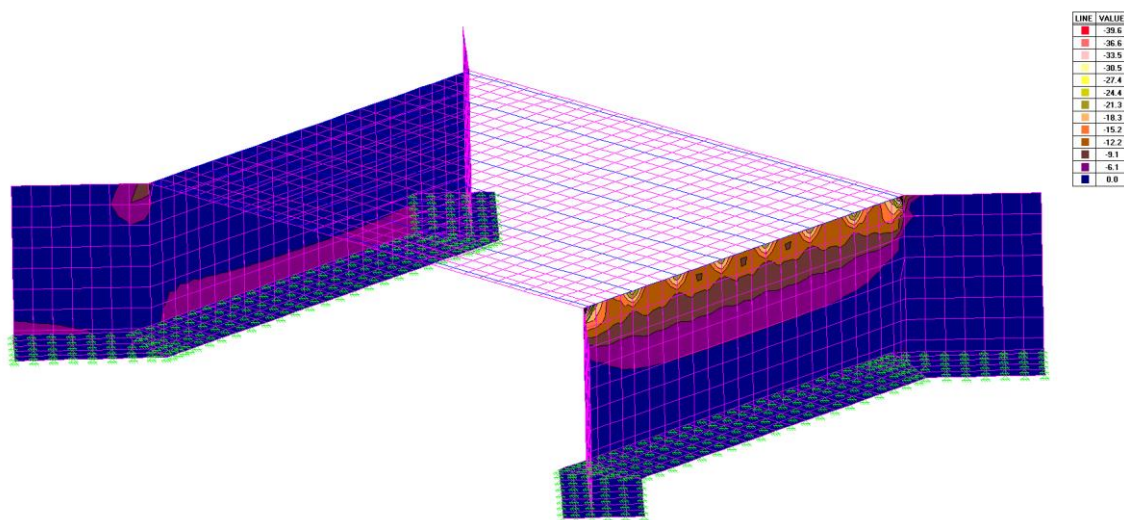


Figura 61 – Momento fletor MY, face+-Z (tf.m/m)

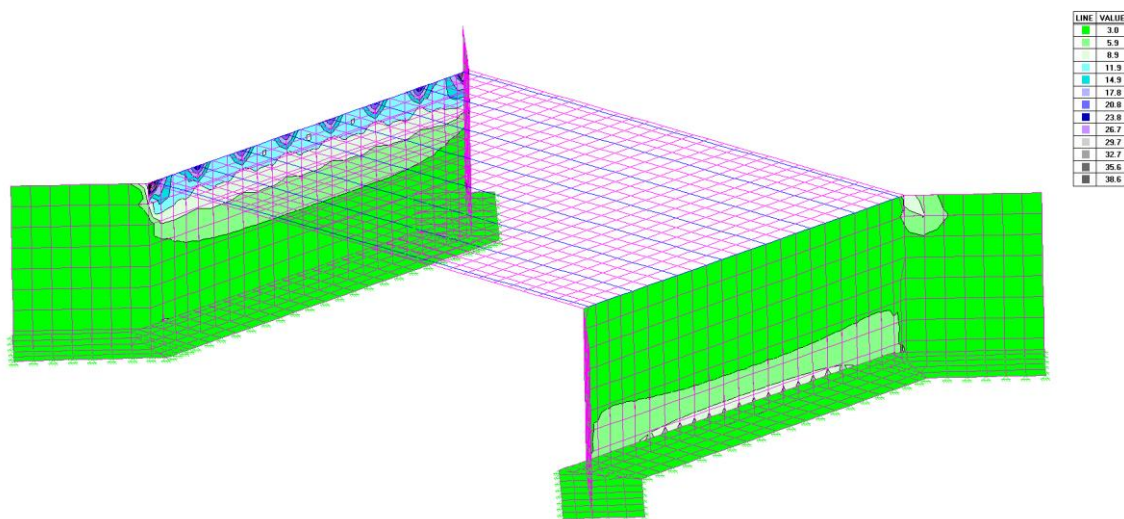


Figura 62 – Momento fletor MY, face--Z (tf.m/m)

4.5 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:

4.5.1 Tensão admissível do solo

Para verificar a tensão admissível do solo foram utilizados os boletins de sondagem do item **“Estudo Geotécnico”** apresentado no **“Volume 3 – Memória Justificativa das Estruturas”**.

A seguir tem-se o relatório de sondagem e os parâmetros para o solo adotado para cálculo. Para determinar a tensão admissível do solo utilizou-se o método de Vésic (1974).



A metodologia proposta por Vésic, cuja versão mais recente data de 1974, apresenta uma série de refinamentos que não foram considerados na formulação clássica de Terzaghi, sendo esta última apresentada nesta apostila pela importância histórica e simplicidade que contribuem para a sua grande aplicação mesmo nos dias atuais.

A metodologia proposta por Vésic em 1974 consiste basicamente de incorporar algumas modificações em outras metodologias desenvolvidas anteriormente, principalmente por Meyerhof (1963) e Hansen (1970). Em relação ao método de Terzaghi (1943), o cálculo da capacidade de carga pelo método de Vésic (1974) leva em consideração a introdução de outros fatores, além dos tradicionais fatores de capacidade de carga (N_c , N_γ e N_q) e de forma (S_c , S_γ e S_q), que expressam:

- Influência da profundidade de assentamento da fundação (d_c , d_γ e d_q);
- Influência da inclinação da carga aplicada em relação à normal ao plano do elemento de fundação (i_c , i_γ e i_q);
- Influência da inclinação do terreno adjacente ao elemento de fundação (g_c , g_γ e g_q);
- Influência da inclinação da base do elemento de fundação em relação a horizontal (b_c , b_γ e b_q) no cálculo da capacidade de carga do solo.

A capacidade de carga do solo, considerando a configuração mostrada na Figura ????, segundo a proposta de Vésic (1974) é dada pela seguinte expressão:

$$\sigma_r = c.N_c.S_c.d_c.i_c.g_c.b_c + q.N_q.S_q.d_q.g_q.i_q.b_q + 0,5.B.\gamma.N_\gamma.S_\gamma.d_\gamma.g_\gamma.i_\gamma.b_\gamma$$

Onde:

q : tensão efetiva na cota de assentamento;

B : menor dimensão da fundação;

γ : peso específico do solo;

N_c , N_γ , N_q : fatores de capacidade de carga;

S_c , S_γ , S_q : fatores de forma;

d_c , d_γ , d_q : fatores de profundidade;

i_c , i_γ , i_q : fatores de inclinação da carga em relação à base do elemento de fundação;

g_c , g_γ , g_q : fatores de inclinação do terreno adjacente à fundação;

b_c , b_γ , b_q : fatores de inclinação da fundação em relação à horizontal.

Para o caso de solo com $\phi = 0$ (solos puramente coesivos):

$$\sigma_r = 5,14S_u(1 + S'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$



The diagram shows a rectangular plate of width B and thickness h resting on an inclined plane. A crack is present at the bottom-left corner of the plate. The crack is represented by a dashed line extending from the corner at an angle β to the horizontal. The crack length is denoted by L . The plate is subjected to a vertical load V and a horizontal load H applied at the top-left corner. The angle between the plate's bottom surface and the horizontal is η . The crack is shown in two states: a closed state with thickness h and an open state where the crack depth is $h = 0$.

$$\beta \leq \phi$$
$$d_\gamma = 1, 0$$

Onde:

$$k = \frac{h}{B}, \text{ para } \frac{h}{B} \leq 1,0$$

$$k = \tan^{-1}\left(\frac{h}{B}\right), \text{ para } \frac{h}{B} > 1,0$$

h : profundidade de assentamento da fundação em relação à superfície;

- Fatores de inclinação da carga em relação à base do elemento de fundação

$$i'_c = 1 - \frac{m.H}{A_f.c_a.N_c}, \text{ (para } \phi = 0);$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f.c_a.\cot \phi}\right)^m \quad i_c = i_q - \frac{1-i_q}{N_q - 1} \quad i_r = \left(1 - \frac{H}{V + A_f.c_a.\cot \phi}\right)^{m+1}$$

Onde:

$$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}; \text{ para } H \text{ paralelo a } B;$$

$$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}; \text{ para } H \text{ paralelo a } L;$$

H : componente da força total aplicada ao elemento de fundação tangente à base;

V : componente da força total aplicada ao elemento de fundação normal à base;

A_f : área efetiva de contato da fundação com o solo;

c_a : adesão entre o solo e a base do elemento de fundação.

- Fatores de inclinação do terreno adjacente à fundação

$$g'_s = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}, \text{ (para } \phi = 0);$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_q = g_r = (1 - \tan \beta)^2$$

Onde:

β : inclinação da superfície do terreno adjacente ao elemento de fundação, conforme indicado na Figura 3.10;

- Fatores de inclinação da fundação em relação à horizontal

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}, \text{ (para } \phi = 0);$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = b_r = (1 - \tan \eta)^2$$

Onde:

η : inclinação da base da fundação em relação à horizontal, conforme indicado na Figura 3.10



Tabela 4 - Parâmetros do Solo

Solo	Peso específico γ em t/m^3	Ângulo de atrito interno ϕ	Coesão c em t/m^2	Profundidade H em m	Inclinação do talude-cotg i
Areia muito fina	1,8	22,5	1,0	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,75 1:1,9 1:2,2 1:2,5
Silte com areia muito fina	1,9	27,5	1,0	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,5 1:1,5 1:1,8 1:2,0
Silte	2,0	20,0	1,5	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,5 1:1,8 1:2,15 1:2,5
Argila mole	1,9	15,0	2,5	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,5 1:1,5 1:1,8 1:2,4
Argila rija	2,0	10,0	3,5	0 - 3,0 3,0 - 6,0 6,0 - 9,0 9,0 - 12,0 12,0 - 15,0	1:1,5 1:1,5 1:1,5 1:1,8 1:2,6
Areia fina	-	-	-	-	1:2,0
Areia grossa	-	-	-	-	1:1,7
Saibro e pedras	-	-	-	-	1:1,5

Quadro extraído de: Caputo, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações, volume 2/
Homero Pinto Caputo. - 6. ed., rev. e ampl., - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2014.

Quando não houver dados laboratoriais:

Argilas	SPT	Coesão (kPa)
Muito Mole	< 2	< 10
Mole	2 a 4	10 a 25
Média	4 a 8	25 a 50
Rija	8 a 15	50 a 100
Muito Rija	15 a 30	100 a 200
Dura	> 30	> 200
Areias	Densidade Relativa (D_r) SPT	ϕ (°)
Fofa	< 0.2	< 4 < 30
Pouco Compacta	0.2 a 0.4	4 a 10 30 a 35
Medianamente Compacta	0.4 a 0.6	10 a 30 35 a 40
Compacta	0.6 a 0.8	30 a 50 40 a 45
Muito Compacta	> 0.8	> 50 > 45



VÉSIC - 1974

$\gamma =$	19,0 kN/m³	(peso específico do solo)
$c =$	100,0 kPa	(coesão)
$\phi =$	45°	(ângulo de atrito interno)
$B =$	1,40 m	(lado menor da sapata)
$L =$	13,00 m	(lado maior da sapata)
$h =$	3,20 m	(profundidade até a base)
$H =$	174,3 kN	(força horizontal)
$V =$	1787,5 kN	(Força vertical)
$A_f =$	18,20	(área de contato)
$C_a =$	50,0 kPa	(coeficiente de adesão fundação-solo)
$\beta =$	5°	(ângulo de inclinação do terrapleno)
$\eta =$	0°	(ângulo de inclinação da base da fundação)
$q =$	60,8 kPa	(tensão efetiva na cota de assentamento)

Fatores de Capacidade de Carga	$\left\{ \begin{array}{l} N_c \\ N_\gamma \\ N_q \end{array} \right.$
Fatores de Forma	$\left\{ \begin{array}{l} S_c \\ S_\gamma \\ S_q \end{array} \right.$
Fatores de Profundidade	$\left\{ \begin{array}{l} d_c \\ d_\gamma \\ d_q \end{array} \right.$
Fatores de Inclinação da Carga	$\left\{ \begin{array}{l} i_c \\ i_\gamma \\ i_q \end{array} \right.$
Fatores de Inclinação do Terreno	$\left\{ \begin{array}{l} g_c \\ g_\gamma \\ g_q \end{array} \right.$
Fatores de Inclinação da Base	$\left\{ \begin{array}{l} b_c \\ b_\gamma \\ b_q \end{array} \right.$

Fatores de Capacidade de Carga

$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$	134,9
$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$	133,9
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi$	271,7

Fatores de Forma

$S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L}$	1,11	
$S'_c = 0,2 \cdot \frac{B}{L}$ (para $\phi = 0$)	0,02	1,11
$S_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan \phi$		1,11
$S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L}$		0,96
$B \rightarrow$ Menor Lado		
$L \rightarrow$ Maior Lado		



Fatores de Profundidade

$$\begin{aligned} d_c &= 1 + 0,4 \cdot k & 1,46 \\ d'_c &= 1 + 0,4 \text{ (para } \phi = 0) & 1,40 \\ d_q &= 1 + 2 \cdot \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot k & 1,20 \\ d_\gamma &= 1 & 1,00 \end{aligned} \quad \begin{aligned} k &= \frac{h}{B} \left[\text{para } \frac{h}{B} \leq 1 \right] & 2,29 \\ k &= \tan^{-1} \left(\frac{h}{B} \right) \left[\text{para } \frac{h}{B} > 1 \right] & 1,16 \end{aligned}$$

Fatores de Inclinação da Carga

$$\begin{aligned} i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan(\phi)} & 0,880 \\ i'_c &= 1 - \frac{m \cdot H}{B \cdot L \cdot c \cdot N_c} \text{ [para } \phi = 0] & 1,000 \\ i_q &= \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot C_a \cdot \cot \phi} \right)^m & 0,881 \\ i_\gamma &= \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot C_a \cdot \cot \phi} \right)^{m+1} & 0,824 \end{aligned}$$

$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$ [Paralelo a B] 1,903
 $m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$ [Paralelo a B] 1,097

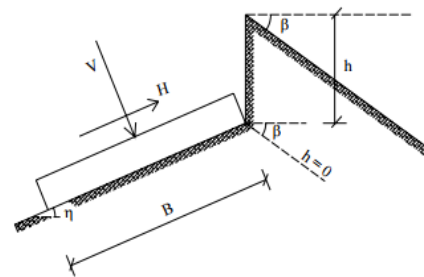
$H \Rightarrow$ Componente tangente à base
 $V \Rightarrow$ Componente normal à base
 $A_f \Rightarrow$ Área efetiva de Contato
 $c_a \Rightarrow$ Coef. de Adesão base – solo

Fatores de Inclinação do Solo Adjacente

$$\begin{aligned} g'_c &= 1 - \frac{\beta^\circ}{294,5^\circ} \text{ [para } \phi = 0] & 0,983 \\ g_c &= g_q - \frac{1 - g_q}{5,14 \cdot \tan(\phi)} & 0,813 \\ g_q &= g_\gamma = (1 - \tan(\beta))^2 & 0,833 \end{aligned}$$

Fatores de Inclinação da Base

$$\begin{aligned} b'_c &= 1 - \frac{\eta^\circ}{294,5^\circ} \text{ [para } \phi = 0] & 1,000 \\ b_c &= 1 - \frac{2 \cdot \eta}{5,14 \cdot \tan(\phi)} & 1,000 \end{aligned}$$



Nota:
 $\beta + \eta \leq 90^\circ$
 $\beta \leq \phi$

$$\sigma_r = c \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q \cdot g_q \cdot i_q \cdot b_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot d_\gamma \cdot g_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma$$

25882 kPa

Fator de Segurança = 3 $\therefore \sigma_{adm, solo} = 8627,33 \text{ kPa} = 86,27 \text{ kgf/cm}^2$

A tensão admissível do solo é de 86,27kg/cm² e a tensão máxima na base da sapata é de 8,43kg/cm². Portanto, a verificação da sapata está de acordo com a tensão do solo.



4.5.2 Dimensionamento das sapatas

SAPATA E1 E E2 - 140X1300X40

Esforços no pilar		
N =	100.000,00	kgf
M _x =	1.000,00	kgf.m
M _y =	5.000,00	kgf.m

Pilar		
a ₀ =	1.300,00	cm
b ₀ =	30,00	cm
Ø _{ARM} =	16,00	mm

Concreto		
f _{ck} =	30,00	Mpa
γ _c =	1,40	

Sapata		
c =	5,00	cm
h =	40,00	cm
h ₀ =	40,00	cm
a =	1300,00	cm
b =	140,00	cm

Solo		
σ _{ADM}	172,00	kgf/cm ²

Aço		
f _y =	500,00	Mpa
γ _s =	1,15	

Altura útil:

$$d = 59,00 \text{ cm}$$

Força de tração nas armaduras:

$$F_x = 0,00 \text{ kgf}$$
$$F_y = 23.305,08 \text{ kgf}$$

Armadura principal de tração:

$$A_{sx} = 0,0000 \text{ cm}^2$$
$$A_{sx \text{ MIN}} = 11,5875 \text{ cm}^2$$
$$A_{sy} = 7,5042 \text{ cm}^2$$
$$A_{sy \text{ MIN}} = 126,7500 \text{ cm}^2$$
$$\gamma_F = 1,4$$

Módulo de resistência elástico da base:

$$W_x = 4246666,67 \text{ cm}^3$$
$$W_y = 39433333,33 \text{ cm}^3$$

Resistência de aderência de cálculo:

$$f_{bd} = 3,259 \text{ Mpa}$$
$$\eta_1 = 2,25$$
$$\eta_2 = 1,00$$
$$\eta_3 = 1,00$$

Tensões na base da sapata:

$$\sigma_{\text{MAX}} = 0,6406 \text{ kgf/cm}^2$$
$$\sigma_{\text{MIN}} = 0,5682 \text{ kgf/cm}^2$$
$$\alpha = 1,1$$

Ancoragem da armadura do pilar:

$$L_B \text{ BÁSICO} = 53,37 \text{ cm}$$

Critério de esforço cortante:

$$d \geq 0,0 \text{ cm}$$
$$d \geq 36,7 \text{ cm}$$

Critério de M. Caquot para punção:

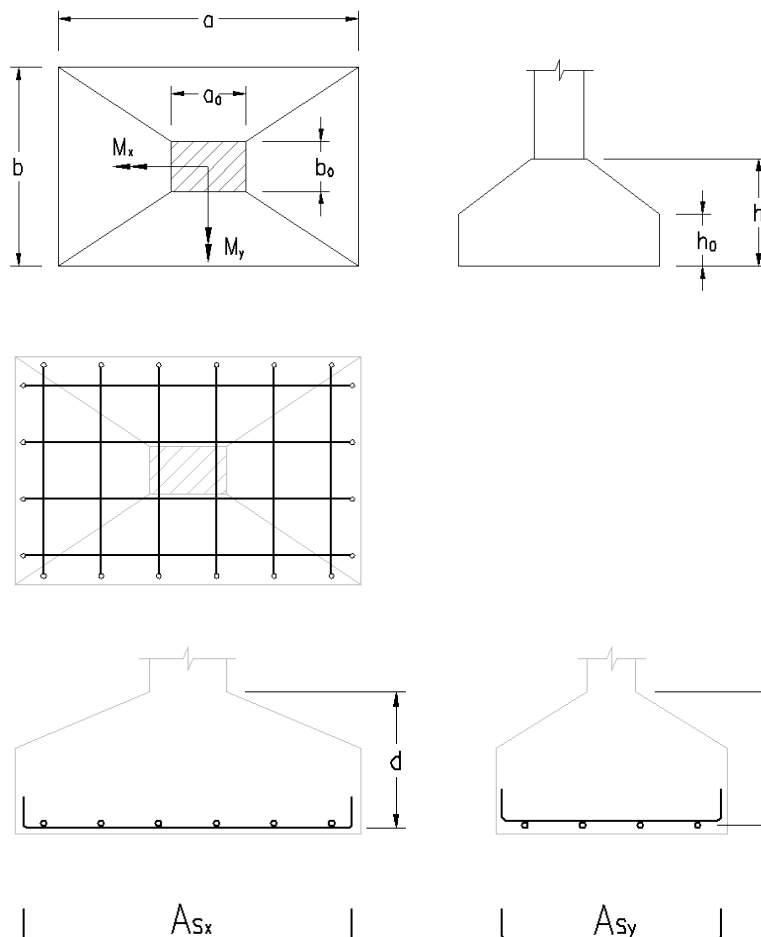
$$d \geq 39,9 \text{ cm}$$

Classificação da sapata:

$$h \geq 0,0 \text{ cm}$$
$$h \geq 36,7 \text{ cm}$$

SAPATA RÍGIDA

ARMADURAS	
Asx	Asy
27 Ø 6,3	251 Ø 6,3
17 Ø 8	156 Ø 8
11 Ø 10	100 Ø 10
7 Ø 12,5	64 Ø 12,5
5 Ø 16	39 Ø 16
3 Ø 20	25 Ø 20





4.5.3 Recalque inicial

RECALQUE INICIAL

Tabela 1 - Valores de “ α ” para os solos

SOLO	α
Areia	3
Silte	5
Argila	7

Tabela 2 – Valores de “k” para os solos

SOLO	K [MPa]
areia com pedregulhos	1,1
areia	0,9
areia siltosa	0,7
areia argilosa	0,55
silte arenoso	0,45
silte	0,35
argila arenosa	0,3
silte argiloso	0,25
argila siltosa	0,2

Tabela 3 – Valores do coeficiente de Poisson

SOLO	μ
areia pouco compacta	0,2
areia compacta	0,4
silte	0,3-0,5
argila saturada	0,4 - 0,5
argila não saturada	0,1-0,3

Tabela 4 – Valores do fator de influência

Forma	Sapata flexível - I_w			Sapata rígida	
	Centro	Borda	Média	I_w	I_m
Circular	1,00	0,64	0,85	0,79	6,0
Quadrada	1,12	0,56	0,95	0,82	3,7
Retangular: $L/B = 1,5$	1,36	0,68	1,15	1,06	4,12
$L/B = 2$	1,53	0,77	1,30	1,20	4,38
$L/B = 5$	2,10	1,05	1,83	1,70	4,82
$L/B = 10$	2,54	1,27	2,25	2,10	4,93
$L/B = 100$	4,01	2,00	3,69	3,40	5,06

$$\alpha = 3,00$$

$$k = 0,30$$

$$N_{spt} = 15$$

$$v = 0,40$$

$$I_w = 2,25$$

Módulo de deformabilidade do solo:

$$E_s = \alpha \cdot K \cdot N$$

$$E_s = 13,50$$

Módulo de deformabilidade do solo:

$$\rho_i = \frac{1 - v^2}{E_s} \cdot I_w \cdot \sigma_s \cdot B$$

$$\sigma_s = 6,80 \text{ kgf/cm}^2$$

$$B = 1,40 \text{ m}$$

$$\rho_i = 133,28 \text{ mm}$$



4 ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART



5 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



CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
12123711

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 NOVA RAMADA		E-mail: gabinete@novaramada.rs.gov.br	
Endereço: AVENIDA GUSTAVO KONIG 95	Telefone: 05533381022	CPF/CNPJ: 01611828000149	
Cidade: NOVA RAMADA	Bairro: CENTRO	CEP: 98758000	UF: RS
Identificação da Obra/Serviço			
Proprietário: MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA		CPF/CNPJ: 01611828000149	
Endereço da Obra/Serviço: Avenida GUSTAVO KONIG 95		CEP: 98758000 UF: RS	
Cidade: NOVA RAMADA	Bairro: CENTRO		
Finalidade: OUTRAS FINALIDADES	Vlr Contrato(R\$): 45.567,20	Honorários(R\$):	
Data Início: 20/07/2022	Prev.Fim: 20/09/2022	Ent.Classe:	
Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Coordenação Técnica	Obras de Arte	2,00	UN
Estudo	Sondagens e Estudos Geotécnicos	2,00	UN
Estudo	Hidrologia	2,00	UN
Projeto	Obras de Arte	2,00	UN
Projeto	Fundações Profundas	2,00	UN
Projeto	Estruturas - Concreto Armado	2,00	UN
Orçamento	ORÇAMENTO DE TODAS DISCIPLINAS	2,00	UN

ART registrada (paga) no CREA-RS em 09/09/2022

Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
	ROBSON ALEX CASTRO SOARES	MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA
	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



CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
12123711

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 NOVA RAMADA E-mail: gabinete@novaramada.rs.gov.br
Endereço: AVENIDA GUSTAVO KONIG 95 Telefone: 05533381022 CPF/CNPJ: 01611828000149
Cidade: NOVA RAMADA Bairro: CENTRO CEP: 98758000 UF: RS

RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

Contrato Adm nº 102/2022 – TP nº 4/2022 – Município de Nova Ramada – Processo 345

Objeto
elaboração de projeto para construção de duas pontes em concreto armado, moldado in loco ou pré moldado ou estrutura mista sobre o Rio Faxinal e Pinhalzinho na ERS 539, no acesso ao Município de Nova Ramada/RS

Duas OAES localizadas na ERS-539, ponte sobre o Rio Faxinal e ponte sobre o Rio Pinhalzinho

Continuação das Atividades técnicas
Estudos Hidrológicos e Projeto Hidráulico
Estudo geotécnico (Sondagem a Percussão (SPT))
Projetos Estrutural / Fundações
Memorial descritivo
Memorial de cálculo
Projeto geométrico
Especificações
Projeto de Sinalização

	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
Local e Data	Profissional	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



CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
12123709

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: ENGEMOST SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA **Nr.Reg.:** 238354

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA **E-mail:** gabinete@novaramada.rs.gov.br
Endereço: AVENIDA GUSTAVO KONIG 95 **Telefone:** 05333381022 **CPF/CNPJ:** 01611828000149
Cidade: NOVA RAMADA **Bairro:** CENTRO **CEP:** 98758000 **UF:** RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA **CPF/CNPJ:** 01611828000149
Endereço da Obra/Serviço: Avenida GUSTAVO KONIG 95 **CEP:** 98758000 **UF:** RS
Cidade: NOVA RAMADA **Bairro:** CENTRO
Finalidade: OUTRAS FINALIDADES **Vlr Contrato(R\$):** 45.567,20 **Honorários(R\$):**
Data Início: 20/07/2022 **Prev.Fim:** 20/09/2022 **Ent.Classe:**

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Coordenação Técnica	Obras de Arte	2,00	UN
Estudo	Sondagens e Estudos Geotécnicos	2,00	UN
Estudo	Hidrologia	2,00	UN
Projeto	Obras de Arte	2,00	UN
Projeto	Fundações Profundas	2,00	UN
Projeto	Estruturas - Concreto Armado	2,00	UN
Orçamento	ORÇAMENTO DE TODAS DISCIPLINAS	2,00	UN

ART registrada (paga) no CREA-RS em 09/09/2022

	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
Local e Data	TIAGO RODRIGUES BORGES	MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA
	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



CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número

12123709

Contratado

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

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA E-mail: gabinete@novaramada.rs.gov.br
Endereço: AVENIDA GUSTAVO KONIG 95 Telefone: 05533381022 CPF/CNPJ: 01611828000149
Cidade: NOVA RAMADA Bairro: CENTRO CEP: 98758000 UF: RS

RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

Contrato Adm nº 102/2022 – TP nº 4/2022 – Município de Nova Ramada – Processo 345

-

Objeto

elaboração de projeto para construção de duas pontes em concreto armado, moldado in loco ou pré moldado ou estrutura mista sobre o Rio Faxinal e Pinhalzinho na ERS 539, no acesso ao Município de Nova Ramada/RS

-

Duas OAES localizadas na ERS-539, ponte sobre o Rio Faxinal e ponte sobre o Rio Pinhalzinho

-

Continuação das Atividades técnicas

Estudos Hidrológicos e Projeto Hidráulico

Estudo geotécnico (Sondagem a Percussão (SPT))

Projetos Estrutural / Fundações

Memorial descritivo

Memorial de cálculo

Projeto geométrico

Especificações

Projeto de Sinalização

	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
Local e Data	Profissional	Contratante



6 DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA



6 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 PARA CONSTRUÇÃO DE DUAS PONTES EM CONCRETO ARMADO, MOLDADO IN LOCO OU PRÉ MOLDADO OU ESTRUTURA MISTA SOBRE O RIO FAXINAL E PINHALZINHO NA ERS 539, NO ACESSO AO MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA/RS., e assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

Canoas, 05 de junho de 2022.

Robson Soares

Responsável Técnico – CREA-RS 187.192

Tiago Borges

Responsável Técnico – CREA-RS 154.518



6 TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E ENCERRAMENTO



7 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 **Projeto Executivo de Engenharia – VOLUME 3B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS**, referente a ELABORAÇÃO DE PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DE DUAS PONTES EM CONCRETO ARMADO, MOLDADO IN LOCO OU PRÉ MOLDADO OU ESTRUTURA MISTA SOBRE O RIO FAXINAL E PINHALZINHO NA ERS 539, NO ACESSO AO MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA/RS..

Este relatório possui 130 páginas, incluindo esta, numeradas sequencialmente.

Canoas, 05 de junho de 2022.

Robson Soares
Responsável Técnico – CREA-RS 187.192

Tiago Borges
Responsável Técnico – CREA-RS 154.518