

**ENGE**MOST****  
**SOLUÇÕES EM ENGENHARIA**



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO AUTONOMO DE ESTRADAS E RODAGEM  
PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA RAMADA



**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  
MEMÓRIA JUSTIFICATIVA DAS ESTRUTURAS**

SETEMBRO/2022





# MEMÓRIA JUSTIFICATIVA DAS ESTRUTURAS

## PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA DA PONTE SOBRE O ARROIO FAXINAL E DA PONTE SOBRE O ARROIO PINHALZINHO

MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA/RS

01	Acréscimo de amostras das sondagens	R.S.	21/09/2022
00	Emissão inicial	R.S.	08/09/2022
Rev.:	Descrição	Resp.:	Data:



## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	INFORMAÇÕES GERAIS .....	12
1.2	VOLUMES COMPONENTES DO PROJETO .....	13
<b>2</b>	<b>MAPA DE SITUAÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDOS .....</b>	<b>17</b>
3.1	ESTUDO HIDROLÓGICO .....	17
3.1.1	<i>Introdução .....</i>	<i>17</i>
3.1.2	<i>Bacia Hidrográfica de Contribuição do Arroio Faxinal .....</i>	<i>17</i>
3.1.3	<i>Bacia Hidrográfica de Contribuição do Arroio Pinhalzinho ....</i>	<i>19</i>
3.1.4	<i>Preposições de Projeto .....</i>	<i>21</i>
3.1.5	<i>Perfil da Seção Transversal do Arroio Faxinal .....</i>	<i>22</i>
3.1.6	<i>Perfil da Seção Transversal do Arroio Pinhalzinho .....</i>	<i>24</i>
3.1.7	<i>Memória de Cálculo.....</i>	<i>25</i>
3.1.8	<i>Determinação das Cotas de Projeto.....</i>	<i>29</i>
3.1.9	<i>Considerações Finais.....</i>	<i>32</i>
3.1.10	<i>Referencial Bibliográfico .....</i>	<i>33</i>
3.2	ESTUDO GEOTÉCNICO .....	34
3.2.1	<i>Introdução .....</i>	<i>34</i>
3.2.2	<i>Objetivo.....</i>	<i>34</i>
3.2.3	<i>Materiais e métodos.....</i>	<i>35</i>
3.2.4	<i>Análise geológica dos furos de sondagem .....</i>	<i>39</i>
3.2.5	<i>Perfis individuais de sondagem .....</i>	<i>40</i>





3.2.5.1	SPT-03 .....	40
3.2.5.2	SPT-03A .....	41
3.2.5.3	SPT-04 .....	42
3.2.5.4	SPT-04A .....	43
3.2.5.5	Amostras do solo.....	44
<b>4</b>	<b>PROJETOS .....</b>	<b>47</b>
4.1	PROJETO DE OAE .....	47
4.1.1	<i>Introdução .....</i>	<i>47</i>
4.1.2	<i>Características gerais das obras.....</i>	<i>48</i>
4.2	JUSTIFICATIVA DA SOLUÇÃO ADOTADA .....	49
4.3	METODOLOGIA DE CÁLCULO .....	51
4.4	NORMAS TÉCNICAS DE REFERÊNCIA.....	52
4.5	EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE .....	55
4.5.1	<i>Vida útil de projeto .....</i>	<i>55</i>
4.5.2	<i>Classes de agressividades.....</i>	<i>57</i>
4.6	MATERIAIS .....	59
4.6.1	<i>Concreto armado.....</i>	<i>59</i>
4.6.2	<i>Aço.....</i>	<i>60</i>
4.7	AÇÕES ADOTADAS PARA CÁLCULO .....	60
4.7.1	<i>Ações permanentes.....</i>	<i>60</i>
4.7.1.1	Peso próprio dos elementos estruturais .....	60
4.7.1.2	Pavimentação.....	61
4.7.1.3	Retração e fluência.....	61
4.7.1.4	Empuxo de terra.....	61
4.7.1.5	Barreira rígida.....	64
4.7.2	<i>Ações Variáveis.....</i>	<i>65</i>



4.7.2.1	Ações móveis verticais .....	65
4.7.2.1.1	Fator de impacto TB-450.....	66
4.7.2.2	Ações móveis horizontais .....	68
4.7.2.2.1	Vento.....	69
4.7.2.2.2	Temperatura .....	71
4.7.2.2.3	Pressão da água em movimento .....	72
4.7.3	<i>Combinações de projeto.....</i>	<i>73</i>
4.7.3.1	Combinação última (ELU) .....	76
4.7.3.2	Combinação em serviço (ELS).....	77
4.7.3.2.1	Combinação quase permanente .....	77
4.7.3.2.2	Combinação frequente.....	77
4.7.3.2.3	Combinação rara .....	78
4.7.3.3	Lista de combinações .....	78
4.7.4	<i>Critérios de modelo estrutural.....</i>	<i>79</i>
4.7.5	<i>Orientações gerais.....</i>	<i>81</i>
4.7.5.1	Orientações para a construção.....	81
4.7.5.1.1	Introdução.....	81
4.7.5.1.2	Formas e escoramentos .....	82
4.7.5.1.3	Tolerâncias .....	83
4.7.5.1.4	Tecnologia de Concreto.....	83
4.7.5.1.5	Cura.....	84
4.7.5.1.6	Controle do concreto .....	84
4.7.5.1.7	Proteção das armaduras .....	85
5	<b>ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART.....</b>	<b>88</b>
6	<b>DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA.....</b>	<b>94</b>
7	<b>TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E ENCERRAMENTO .....</b>	<b>96</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Contorno da bacia hidrográfica do Arroio Faxinal. Fonte da Imagem: GOOGLE, (2022).....	19
Figura 2 – Contorno da bacia hidrográfica do Arroio Pinhalzinho. Fonte da Imagem: GOOGLE, (2022).....	21
Figura 3 – Perfil do Arroio Faxinal e de suas margens ao longo do eixo longitudinal na seção sob a ponte no município de Nova Ramada, RS. A declividade (I) da linha d'água neste trecho é de $0,0247 \text{ m.m}^{-1}$ . Fonte: Adaptado de topografia. ....	23
Figura 4 – Perfil modificado do Arroio Faxinal. O perfil foi alteado para permitir o escoamento da vazão $\text{Tr}50$ . ....	24
Figura 5 – Perfil do Arroio Pinhalzinho e de suas margens ao longo do eixo longitudinal na seção sob a ponte no município de Nova Ramada, RS. A declividade (I) da linha d'água neste trecho é de $0,1006 \text{ m.m}^{-1}$ . Fonte: Adaptado de topografia. ....	24
Figura 6 – Perfil modificado do Arroio Pinhalzinho. O perfil foi alargado para permitir o escoamento da vazão $\text{Tr}50$ . ....	25
Figura 7 – Figura ilustrativa do conjunto de sondagem a percussão. ....	36
Figura 8 – SPT-03 e 03A - Amostra do furo.....	44
Figura 9 – 03 e 04A - Amostra do furo. ....	45
Figura 10 – Parâmetros da teoria de Coulomb para um muro de face plana. Montoya (1983, p. 687) .....	63



Figura 11 – Características do Trem Tipo TB-450 (Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – IPR 709, pág. 31).....	65
Figura 12 – Esquema para a formação Trem Tipo TB-450 (Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – IPR 709, pág. 32) .....	66
Figura 13 – Diagrama de isopletras do vento – NBR 6123.....	70



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físicos, hidrológicos hidráulicos das áreas de estudo.	27
Tabela 2 - Determinação do CN para as bacias em estudo.	28
Tabela 3 - Parâmetros para determinação das cotas máximas para o perfil modificado no Arroio Faxinal.	30
Tabela 4 - Cotas e respectivas vazões no perfil modificado do Arroio Faxinal.	30
Tabela 5 - Parâmetros para determinação das cotas máximas para o perfil modificado no Arroio Pinhalzinho.	31
Tabela 6 - Cotas e respectivas vazões no perfil modificado do Arroio Pinhalzinho.	31
Tabela 7 - Tabela de classificação do SPT	38
Tabela 8 - Normas técnicas essenciais	52
Tabela 9 - Normas técnicas complementares	53
Tabela 10 - Normas técnicas específicas	53
Tabela 11 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c=10\text{mm}$	54
Tabela 12 - Classes de agressividade ambiental	57
Tabela 13 - Correspondência entre a classe de agressividade e qualidade do concreto.	58



Tabela 14 - Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto (considerado o uso de granito como agregado graúdo).....	59
Tabela 15 - Características do concreto armado .....	59
Tabela 16 – Cargas móveis .....	65
Tabela 17 - Fator de impacto para o TB-450 .....	68
Tabela 18 - Valores de k em função do ângulo de incidência .....	73
Tabela 19 – Lista de combinações.....	79



## 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 Arroio Faxinal e Ponte sobre o Arroio 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;
- VOLUME 3B - MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS
- VOLUME 4 - ORÇAMENTO E PLANO DE EXECUÇÃO DA OBRA

**ROBSON ALEX CASTRO SOARES:02052142070**

Assinado digitalmente por ROBSON ALEX CASTRO SOARES:02052142070  
ND: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=31057520000131, OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, OU=RS e-CPT AS, OU=(EM BRANCO), OU=videoconferencia, CN=ROBSON ALEX CASTRO SOARES:02052142070  
Assinado por Robson Alex Castro Soares  
Localização: Canoas/RS  
Data: 2022.09.21 15:22:18-03'00'  
Foxit PDF Reader Versão: 12.0.1

**Robson Soares**

Responsável Técnico – CREA-RS 187.192

**TIAGO RODRIGUES**

**BORGES:00725427051**

Assinado de forma digital por  
TIAGO RODRIGUES

BORGES:00725427051

Dados: 2022.09.23 14:59:54 -03'00'

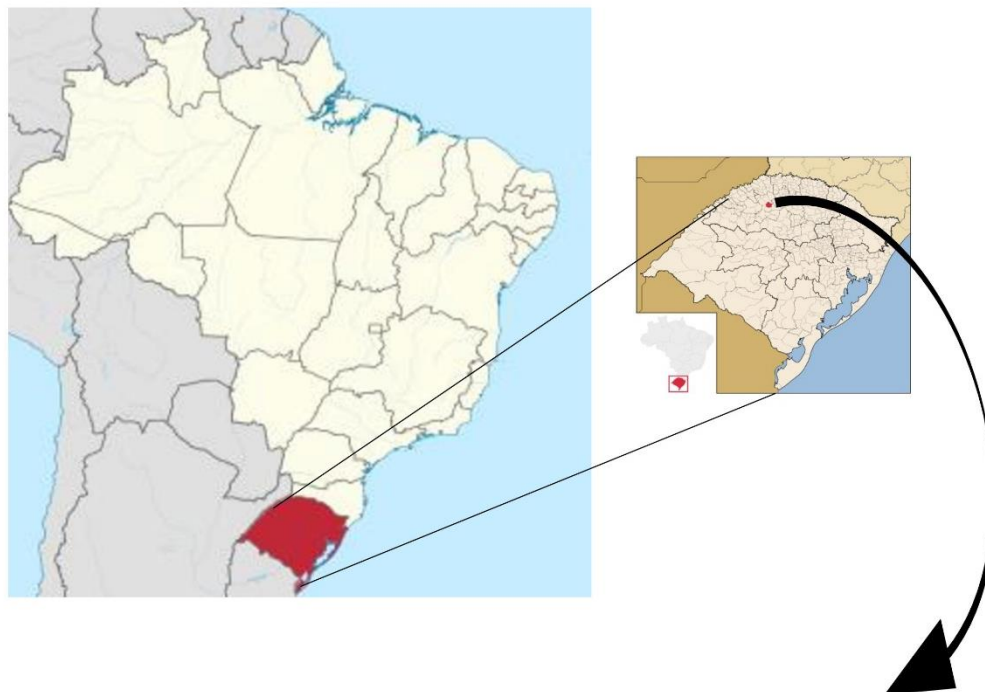
**Tiago Borges**

Responsável Técnico – CREA-RS 154.518



## 2 MAPA DE SITUAÇÃO

## 2 MAPA DE SITUAÇÃO





### 3 ESTUDOS



### 3 ESTUDOS

A seguir serão apresentados os estudos desenvolvidos 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.**

#### 3.1 Estudo Hidrológico

##### 3.1.1 Introdução

Este estudo hidrológico de Obras de Arte Especiais para a execução de projeto de engenharia para implantação de uma ponte sobre o Arroio Faxinal e outra sobre o Arroio Pinhalzinho, ambas localizadas no município de Nova Ramada (RS), foi elaborado com base em dados coletados a campo, em vistoria de campo e informações disponibilizadas pelos órgãos oficiais e pela bibliografia especializada.

O presente estudo das bacias de contribuição até as respectivas pontes a serem projetadas em Nova Ramada dimensiona as vazões com tempo de retorno ( $T_r$ ) de 50 e 5 anos. Também é apresentado o cálculo hidráulico identificando as cotas de alague e as respectivas velocidades do fluxo para tais vazões.

##### 3.1.2 Bacia Hidrográfica de Contribuição do Arroio Faxinal

A Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal, que contribui para a seção em estudo, está localizada a norte do município de Nova Ramada. A partir da



seção sob a ponte em projeto, o Arroio Faxinal ainda percorre aproximadamente 55,5 quilômetros até desaguar no Rio Ijuí, a jusante da cidade de Ajuricaba, RS.

Esta bacia hidrográfica é de pequeno porte, com apenas 39,98 km<sup>2</sup>, estando suas nascentes mais elevadas situadas nas altitudes próximas aos 565 metros enquanto o exutório (local sob a projeção da ponte) está na cota 410 metros. Devido a variação altimétrica do ponto mais a montante e do mais a jusante e seu comprimento de apenas 7,9 km, a bacia assume uma declividade média de 0,016 m/m. As atividades antrópicas são intensas sobre toda a sua extensão, com forte influência da agricultura, que prepondera quanto ao uso do solo da bacia. A vegetação arbórea-arbustiva é esparsa sobre a área, concentrando-se em estreitas faixas ao longo dos pequenos córregos que drenam a bacia. A Figura 1 ilustra o contorno da bacia, o mosaico do uso do solo e as suas características geomorfológicas.

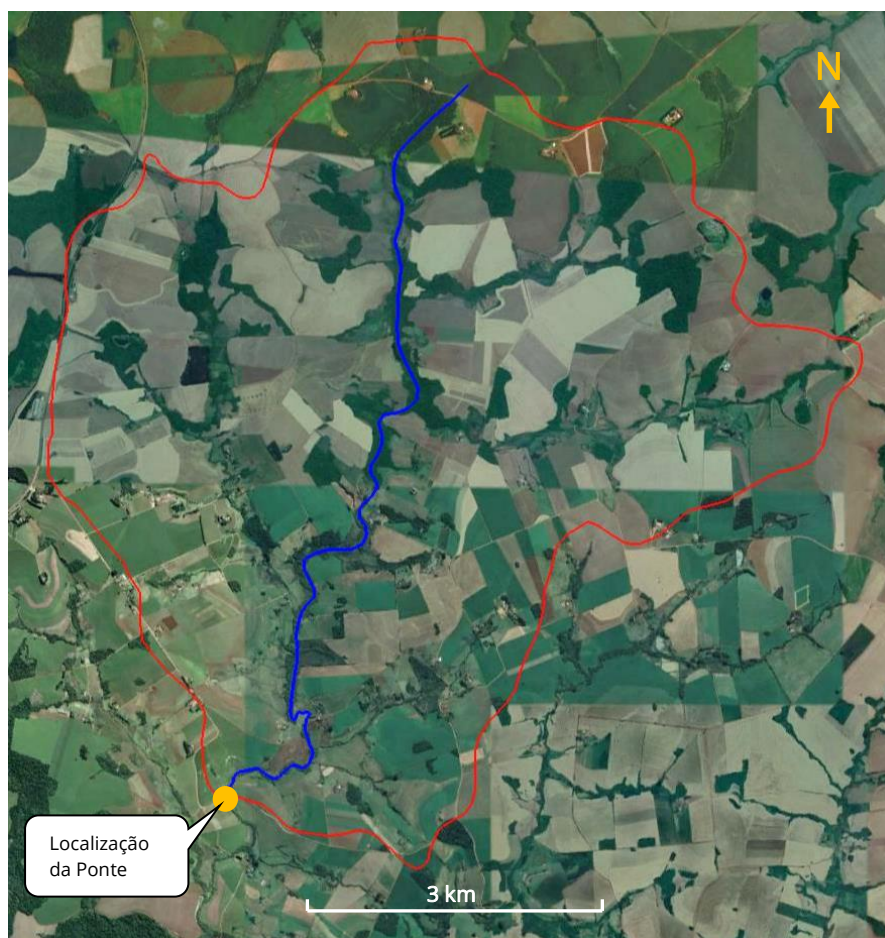


Figura 1 – Contorno da bacia hidrográfica do Arroio Faxinal. Fonte da Imagem: GOOGLE, (2022).

O exutório (junto a ponte) desta bacia está localizado aproximadamente nas coordenadas 6.894.430 m(S) e 230.810 m(E) fuso 22J projeção UTM, Datum: SIRGAS 2000.

### 3.1.3 Bacia Hidrográfica de Contribuição do Arroio Pinhalzinho

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pinhalzinho, que contribui para a seção em estudo, está localizada a norte do município de Nova Ramada. A partir da seção sob a ponte em projeto, o Arroio Pinhalzinho ainda percorre





aproximadamente 6,1 quilômetros até o Arroio Faxinal e mais 48,3 quilômetros até desaguar no Rio Ijuí, a jusante da cidade de Ajuricaba, RS.

Esta bacia hidrográfica é de pequeno porte, com apenas 12,7 km<sup>2</sup>, estando suas nascentes mais elevadas situadas nas altitudes próximas aos 559 metros enquanto o exutório (local sob a projeção da ponte) está na cota 435 metros. Devido a variação altimétrica do ponto mais a montante e do mais a jusante e seu comprimento de apenas 5,18 km, a bacia assume uma declividade média de 0,022 m/m. As atividades antrópicas são intensas sobre toda a sua extensão, com forte influência da agricultura, que prepondera quanto ao uso do solo da bacia. A vegetação arbórea-arbustiva é esparsa sobre a área, concentrando-se em estreitas faixas ao longo dos pequenos córregos que drenam a bacia. Na porção sul da bacia do Arroio Pinhalzinho ainda ocorre a presença de parte da área urbana de Faxinal. A Figura 2 ilustra o contorno da bacia, o mosaico do uso do solo e as suas características geomorfológicas.





Figura 2 – Contorno da bacia hidrográfica do Arroio Pinhalzinho. Fonte da Imagem: GOOGLE, (2022).

O exutório (junto a ponte) desta bacia está localizado aproximadamente nas coordenadas 6.893.435 m(S) e 233.775 m(E) fuso 22J projeção UTM, Datum: SIRGAS 2000.

### 3.1.4 Preposições de Projeto

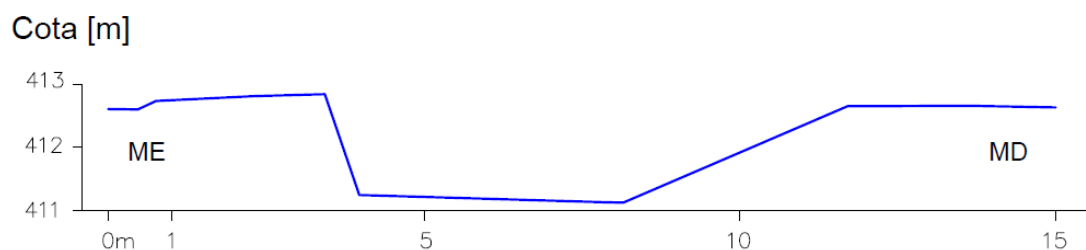
Para a obtenção das vazões de projeto no local indicado no capítulo anterior foram consideradas as seguintes informações:



- A área da bacia hidrográfica foi obtida através de geração de polígono a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) oferecido pelo TOPODATA (INPE, 2022) com o auxílio de ferramenta de geoprocessamento e utilização de software de Sistema de Informação Geográfica (SIG);
- A declividade da bacia foi obtida através de cálculo a partir das elevações do MDE, enquanto a declividade da linha d'água no trecho onde está sendo projetada a ponte foi obtida através de topografia;
- Os tempos de retorno ( $T_r$ ) do estudo são de 50 e 5 anos;
- Por arbitragem de projeto, o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração ( $t_c$ ) da bacia;
- A chuva de projeto para os tempos de retorno foi obtida a partir do estudo elaborado por Sampaio, 2011, no qual modelou as equações IDF e PDF para o Estado do Rio Grande do Sul e para a região do município de Nova Ramada utilizando 130 estações pluviométricas.

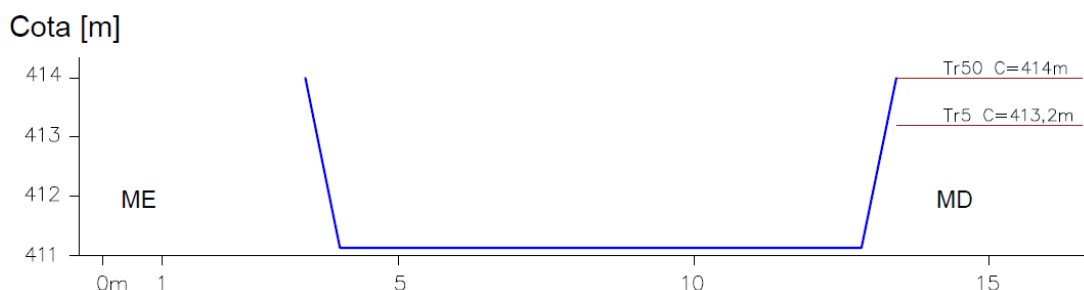
### 3.1.5 Perfil da Seção Transversal do Arroio Faxinal

A seção transversal do Arroio Faxinal e de suas margens ao longo do eixo longitudinal onde está sendo projetada a ponte possui a geometria indicada na Figura 3.



**Figura 3 – Perfil do Arroio Faxinal e de suas margens ao longo do eixo longitudinal na seção sob a ponte no município de Nova Ramada, RS. A declividade (I) da linha d'água neste trecho é de 0,0247 m.m<sup>-1</sup>. Fonte: Adaptado de topografia.**

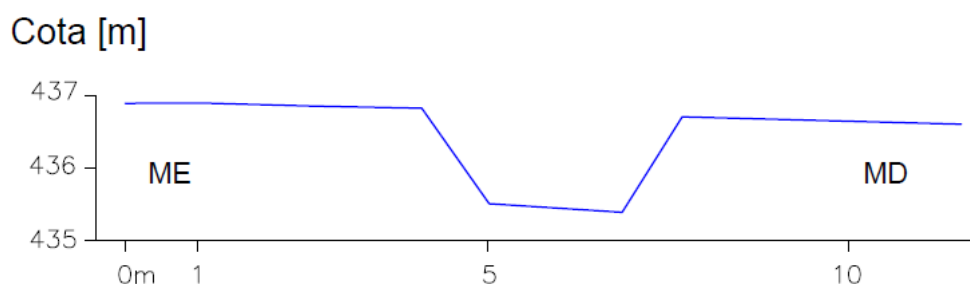
A seção transversal apresentada na Figura 3 não possui condições de escoar a vazão com tempo de retorno de 50 anos. Para evitar que ocorra represamento a montante e galgamento sobre a ponte, a seção deve ser ampliada, seja na sua largura ou na sua altura com a elevação do greide da ponte. A Figura 4 apresenta um perfil considerando a elevação do terreno até a cota 414 metros para permitir a passagem da vazão Tr50, mantendo uma largura de 10 metros nesta cota.



**Figura 4 – Perfil modificado do Arroio Faxinal. O perfil foi alteado para permitir o escoamento da vazão Tr50.**

### 3.1.6 Perfil da Seção Transversal do Arroio Pinhalzinho

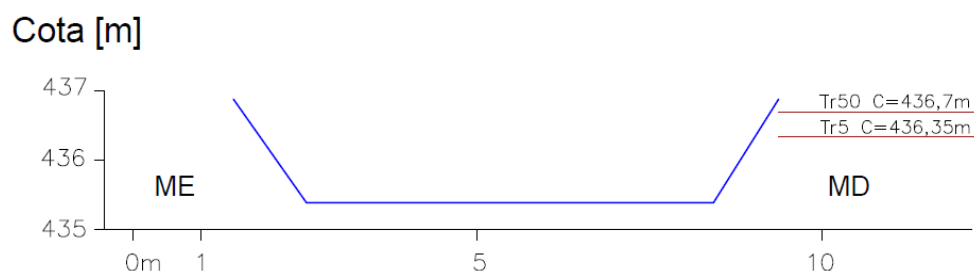
A seção transversal do Arroio Pinhalzinho e de suas margens ao longo do eixo longitudinal onde está sendo projetada a ponte possui a geometria indicada na Figura 5.



**Figura 5 – Perfil do Arroio Pinhalzinho e de suas margens ao longo do eixo longitudinal na seção sob a ponte no município de Nova Ramada, RS. A declividade (I) da linha d'água neste trecho é de 0,1006 m.m<sup>-1</sup>. Fonte: Adaptado de topografia.**

A seção transversal apresentada na Figura 5 não possui condições de escoar a vazão com tempo de retorno de 50 anos. Para evitar que ocorra represamento a montante e galgamento sobre a ponte, a seção deve ser ampliada, seja na sua largura ou na sua altura com a elevação do greide da ponte. A Figura 6 apresenta um perfil modificado considerando o alargamento do perfil existente para um perfil com largura total de 7,90

metros junto a cota 436,88 metros, assim permitindo a passagem da vazão Tr50.



**Figura 6 – Perfil modificado do Arroio Pinhalzinho. O perfil foi alargado para permitir o escoamento da vazão Tr50.**

### 3.1.7 Memória de Cálculo

A disponibilidade de dados hidrológicos com um histórico que permita gerar estatísticas de boa qualidade ainda é baixa no Brasil, especialmente por ser um país de proporções continentais. Neste estudo, optou-se pela utilização do método chuva-vazão para a determinação da chuva de projeto, pois a bacia de contribuição do Arroio Faxinal possui apenas 39,98 km<sup>2</sup>, enquanto a do Arroio Pinhalzinho somente 12,70 km<sup>2</sup>. Por este motivo, a regionalização da vazão pelos métodos probabilísticos fica impossibilitada já que os dados de medição direta de vazão disponíveis são para bacias muito maiores ou com características distintas.

A chuva de projeto foi obtida a partir das equações de intensidade-duração-frequência (IDF) e precipitação-duração-frequência (PDF) apresentadas por Sampaio (2011) em sua tese de doutorado junto a Universidade Federal de Santa Maria. Esta equação é aplicável à região em



estudo, pois os parâmetros são para a região na qual a bacia do Arroio Faxinal está inserida.

Para a determinação das equações, Sampaio (2011) desagregou chuvas de 24 horas de duração e verificou a aderência dos dados de chuvas a modelos teóricos de distribuição de probabilidade, analisando a variabilidade dos coeficientes das equações das diferentes bacias hidrográficas do RS. Para tanto, utilizou dados de precipitação disponibilizados para as diferentes localidades do Estado do Rio Grande do Sul na Agência Nacional de Águas. As equações IDF e PDF obtidas a partir do referido estudo para a região do município de Nova Ramada são apresentadas abaixo.

$$I = \frac{1151,44 \times Tr^{0,1312}}{(t + 8,99)^{0,7583}}$$

$$P = Tr^{0,1312} \times [0,0065 \times t + 17,2321 \times \ln(1 + 0,2271 \times t)]$$

Sendo:

- Tr = tempo de retorno (neste caso, 50 e 5 anos);
- t = tempo de duração da chuva (minutos);
- I = intensidade da chuva (mm.h<sup>-1</sup>);
- P = precipitação (mm).

Para a determinação da vazão de projeto foi utilizado o método do hidrograma unitário triangular (HUT) do Soil Conservation Service (SCS), conforme orientado por DNIT, 2005. Para o equacionamento do método foi realizada modelagem hidrológica com o auxílio do Software IPHS1 versão



2.11 desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O Software IPHS1 consiste em um programa computacional modulado que permite ao usuário, através da seleção de alguns dos modelos de uso já consagradas na literatura, construir o seu próprio modelo de forma rápida e segura. Utiliza como base a metodologia de modelagem orientada a objetos. O modelo é aplicado em processos de transformação chuva-vazão na superfície de uma bacia, em modelos de propagação de vazões em cursos de água, em derivações nos mesmos e em propagação em reservatórios. Os algoritmos do sistema foram testados, mas devem ser utilizados criteriosamente, respeitando o seu limite de aplicabilidade. Uma das restrições do modelo é não poder ser utilizado para a simulação de escoamento em rios sujeitos a inversão de vazão ou a efeitos de jusante (Tucci et al, 2004 e Viegas Filho et al, 2004).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros físicos e hidrológicos das bacias e os parâmetros hidráulicos das seções.

**Tabela 1 - Parâmetros físicos, hidrológicos hidráulicos das áreas de estudo.**

<i>Parâmetros</i>	<i>Variável</i>	<i>Obtenção</i>	<i>Unid.</i>	<i>Faxinal</i>	<i>Pinhalzinho</i>
Área de drenagem da bacia	A	Software de GIS	km <sup>2</sup>	39,98	12,7
Perímetro da bacia	P	Software de GIS	km	28,2	16,1
Comprimento da bacia	Lb	Software de GIS	km	7,91	5,18
Largura da bacia	Bb	Software de GIS	km	7,88	2,64
Comprimento do canal principal	Lcp	Software de GIS	km	9,7	5,75
Altitude máxima	Hmax	Topodata	m	563	559
Altitude mínima	Hmin	Topografia	m	410	435
Amplitude da bacia	Ha	Hmax-Hmin	m	153	124
Declividade da bacia	D	$[Ha/(Lb*1000)]*100$	%	1,6	2,2
Tempo de concentração	tc	Kirpich Mod (DNIT, 2005)	min	170	100
CN		SCS (Paiva, 2003)		75,5	75,9
Imax para t = tc min e Tr=50 anos	I(t,Tr)	Sampaio, 2011	mm/h	37,6	54,7
Pmax para t = tc min e Tr=50 anos	P(t,Tr)	Sampaio, 2011	mm	107,7	92,3





<i>Parâmetros</i>	<i>Variável</i>	<i>Obtenção</i>	<i>Unid.</i>	<i>Faxinal</i>	<i>Pinhalzinho</i>
Imax para $t = t_c \text{ min e } Tr=5 \text{ anos}$	$I(t, Tr)$	Sampaio, 2011	mm/h	27,8	40,4
Pmax para $t = t_c \text{ min e } Tr=5 \text{ anos}$	$P(t, Tr)$	Sampaio, 2011	mm	79,6	68,2
Coefic de rugosidade de Manning	$n$	Netto, 1998		0,045	0,045
Declividade do trecho	$I$	Topografia	m/m	0,0247	0,1006
Vazão de Projeto (Tr50)	QHut	IPHS1	m³/s	139,84	60,89
Vazão de Projeto (Tr5)	QHut	IPHS1	m³/s	83,52	34,81

Para transformar a chuva em vazão, ou seja, avaliar o escoamento superficial causado por uma precipitação, o método utilizado neste estudo, do Soil Conservation Service (SCS), requer a determinação de parâmetros do solo que são atribuídos a um número denominado número da curva de escoamento ou simplesmente curva número (CN). O valor do CN para a Bacia do Faxinal foi calculado em 75,5. O CN para a Bacia do Pinhalzinho foi quantificado em 75,9 conforme mostra a Tabela 2.

**Tabela 2 - Determinação do CN para as bacias em estudo.**

<i>Uso do Solo</i>	<i>Área Faxinal (km²)</i>	<i>Área Pinhalzinho (km²)</i>	<i>CN Faxinal</i>	<i>CN Pinhalzinho</i>
Mata	3,83	0,97	62	62
Plantações	36,15	11,61	77	77
Área urbana	0	0,12	90	90
Total	39,98	12,7	75,5	75,9

Como pode ser localizada na Tabela 1, as vazões determinadas pelo método do hidrograma unitário triangular (HUT) a partir da metodologia descrita em DNIT, 2005, para os tempos de retorno de 50 e 5 anos para a Bacia do Arroio Faxinal são, respectivamente, 139,84 e 83,52 m³/s. Essas vazões para a Bacia do Arroio Pinhalzinho são, respectivamente, 60,89 e 34,81 m³/s.





### 3.1.8 Determinação das Cotas de Projeto

A perda de carga interna é similar para todos os fluidos viscosos ou para escoamentos turbulentos, a diferença está no atrito externo que as águas fluviais sofrem com o leito aluvionar ou não-aluvionar. As fórmulas de perda de carga relacionam a velocidade média do escoamento com as propriedades geométricas de uma seção, a natureza do material do leito e a declividade da linha de energia. Entre as fórmulas mais usadas está a do engenheiro Robert Manning. O maior desafio destas fórmulas é determinar o coeficiente de rugosidade do canal que, por sua vez, está atrelado a natureza do material do leito.

Para a determinação da cota de projeto foi utilizada a fórmula de Manning:  $Q = [(A \cdot R h^{2/3} \cdot I^{1/2})/n]$  para a vazão de projeto calculada. O coeficiente de rugosidade na fórmula de Manning é conhecido como coeficiente de Manning ou simplesmente " $n$ ". Para chegar até a determinação do  $n$ :

- Foi realizada vistoria nas proximidades da seção, tanto a jusante quanto a montante;
- Foram observadas as condições das margens tanto no aspecto de cobertura vegetal quanto na própria altura das margens;
- Foi observado o material aluvionar em deposição junto às margens e a largura e a altura da lâmina d'água na sua calha vazante.



As fórmulas propostas para condutos livres apenas levam a resultados satisfatórios quando a forma dos canais é estável e definida. Por isso, nem sempre elas podem ser aplicadas, com o mesmo grau de segurança, no caso de rios e cursos de águas naturais (Netto, 1998). Assim, foi comparado aos coeficientes indicados em imagens disponibilizadas na bibliográfica especializada (Netto, 1998), sendo arbitrado o valor de  $n$  como  $0,045 \text{ s.m}^{-1/3}$ .

A Tabela 3 identifica os parâmetros para a determinação das cotas máximas que as vazões com tempo de retorno de 50 e 5 anos atingem o canal com o perfil modificado no Arroio Faxinal, enquanto a Tabela 4 apresenta uma variação de vazões em função da cota até as vazões de projeto.

**Tabela 3 - Parâmetros para determinação das cotas máximas para o perfil modificado no Arroio Faxinal.**

<i>Parâmetros</i>	<i>Variável</i>	<i>Unidade</i>	<i>Tr50</i>	<i>Tr5</i>
Vazão de projeto	Q	m³/s	139,84	83,52
Coef de rugosidade de Manning	n	-	0,045	0,045
Cota	h	m	414	413,2
Área molhada	A	m²	27,03	19,16
Perímetro molhado	Pm	m	14,68	13,05
Raio hidráulico	Rh	m	1,84	1,46
Declividade do canal no trecho	I	m/m	0,0247	0,0247

**Tabela 4 - Cotas e respectivas vazões no perfil modificado do Arroio Faxinal.**

<i>Cota (m)</i>	<i>Q Faxinal (m³/s)</i>	<i>V Faxinal (m/s)</i>	
414	141,87	5,25	Tr = 50 anos
413,5	106,25	4,81	
413,2	86,47	4,51	Tr = 5 anos



<i>Cota (m)</i>	<i>Q Faxinal (m³/s)</i>	<i>V Faxinal (m/s)</i>
413	74,01	4,30
412	22,45	2,86

Conforme mostra a Tabela 4, as vazões com tempo de retorno de 50 anos e 5 anos atingem, respectivamente, as cotas 414 e 413,2 metros do perfil modificado apresentado na Figura 4. Pela equação da continuidade, as velocidades esperadas nas diferentes cotas são também apresentadas na Tabela 4.

A Tabela 5 identifica os parâmetros para a determinação das cotas máximas que as vazões com tempo de retorno de 50 e 5 anos atingem o canal com o perfil modificado no Arroio Pinhalzinho, enquanto a Tabela 6 apresenta uma variação de vazões em função da cota até as vazões de projeto.

**Tabela 5 - Parâmetros para determinação das cotas máximas para o perfil modificado no Arroio Pinhalzinho.**

<i>Parâmetros</i>	<i>Variável</i>	<i>Unidade</i>	<i>Tr50</i>	<i>Tr5</i>
Vazão de projeto	Q	m³/s	60,89	34,81
Coef de rugosidade de Manning	n	-	0,045	0,045
Cota	h	m	436,7	436,35
Área molhada	A	m²	8,89	6,30
Perímetro molhado	Pm	m	9,06	8,21
Raio hidráulico	Rh	m	0,98	0,76
Declividade do canal no trecho	I	m/m	0,1006	0,1006

**Tabela 6 - Cotas e respectivas vazões no perfil modificado do Arroio Pinhalzinho.**

<i>Cota (m)</i>	<i>Q Pinhalzinho (m³/s)</i>	<i>V Pinhalzinho (m/s)</i>
436,88	76,88	7,45
436,70	61,87	6,96

Tr = 50 anos



<i>Cota (m)</i>	<i>Q Pinhalzinho (m³/s)</i>	<i>V Pinhalzinho (m/s)</i>	
436,50	47,19	6,39	
436,35	37,22	5,91	Tr = 5 anos
436,30	34,07	5,74	
436,00	17,68	4,58	
435,50	1,07	1,60	

Conforme mostra a Tabela 6, as vazões com tempo de retorno de 50 anos e 5 anos atingem, respectivamente, as cotas 436,70 e 436,35 metros do perfil modificado apresentado na Figura 6. Pela equação da continuidade, as velocidades esperadas nas diferentes cotas são também apresentadas na Tabela 6.

### 3.1.9 Considerações Finais

Com base nos cálculos hidrológicos e hidráulicos, os perfis atuais de ambas as seções não possuem condições hidráulicas de escoar as vazões com tempo de retorno de 50 anos.

Para a seção sob a futura ponte no Arroio Faxinal, este estudo prevê um alteamento mínimo do perfil até a cota 414 metros para permitir o escoamento da vazão Tr50 (Figura 4). A declividade do trecho confere velocidades elevadas para um escoamento de vazões máximas, com valores que ultrapassam os 5 m/s.

Para a seção sob a futura ponte no Arroio Pinhalzinho, este estudo prevê um alargamento mínimo do perfil atingido um total de 7,90 metros junto a cota 436,88, cota do atual greide (Figura 6). A declividade do trecho



confere velocidades muito elevadas para um escoamento de vazões máximas, com valores que ultrapassam os 6 m/s.

O escoamento em um canal natural está condicionado às variáveis climáticas, à geomorfologia da bacia e o uso do seu solo e às características físicas do próprio canal.

Como o escoamento possui velocidades elevadas, deve-se tomar cuidado na execução de aterros, das ombreiras e pilares da ponte, pois podem ainda ocorrer velocidades mais altas em setores localizados que alterem as linhas de fluxo e provoque turbulências localizadas.

### 3.1.10 Referencial Bibliográfico

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005.

GOOGLE. GoogleEarth Pro. Versão 7.3.1. [S. l.]: Google Incorporated, 2022.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/> Consultado em: Ago. 2022.

NETTO, A. ET AL. Manual de hidráulica. 8ª Edição. São Paulo/SP. Editora Blucher, 1998.

PAIVA, J. B. D de; PAIVA, E. M. C. D. de (org.). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre/RS: ABRH, 2003.

SAMPAIO, M. V. Espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. UFSM/RS. 2011.



TUCCI, C. E. M, et al. IPHS1 para Windows® manual de fundamentos. Porto Alegre/RS. UFRGS/IPH, 2004.

VIEGAS FILHO, J. S., et al. IPHS1 para Windows® manual do usuário. Porto Alegre/RS. UFRGS/IPH, 2004.

## 3.2 Estudo Geotécnico

### 3.2.1 Introdução

A ENGEMOST Soluções em Engenharia, vem através deste apresentar o relatório das sondagens a Percussão (SPT) de simples reconhecimento. Neste relatório são apresentados os resultados através de seções geológico-geotécnica, indicando as características dos solos perfurados e a posições dos níveis de água quando encontrado nos pontos de sondagem em cada obra (SP-03, SP-03A, SP-04 e SP-04A).

Nos itens subsequentes estão apresentadas as informações referentes a metodologia empregada para a execução dos ensaios, além dos seus resultados, os quais incluem os perfis geológicos, a resistência, o nível da água e a caracterização do solo constituinte da área, através da interpretação dos boletins de campo e testemunhos.

Em geral, este documento apresenta os resultados e produtos dos serviços de sondagem e contempla as informações necessárias e imprescindíveis para atender o projeto civil pretendido.

### 3.2.2 Objetivo

Os trabalhos de geotecnia integram e complementam a evolução do empreendimento, e têm por finalidade o levantamento, a identificação e a



documentação dos principais elementos, tais como a definição do material ensaiado, que consistem em indicativos da qualidade dos solos analisados. São definidos a partir de ensaio de penetração padrão e coleta de amostras, assim como a identificação do impenetrável em alguns pontos pré-definidos pela contratante.

A sondagens de simples reconhecimento de solo pelo método SPT (standard penetration test), na qual, determina o índice de resistência a penetração, foi executada de acordo com as normas NBR - 6484 de 02/2001, NBR - 6502 de 09/1995, NBR - 8036 de 06/1983 e NBR 9603 de 09/1986.

O método SPT tem como objetivo determinar o tipo de terreno em estudo, as camadas constituintes, a resistência destas camadas e o nível d'água do lençol freático.

### 3.2.3 Materiais e métodos

Para realização das sondagens de simples reconhecimento de solo pelo método SPT são utilizados os seguintes equipamentos:

- Tripé/torre desmontável com roldana e guincho;
- Conjunto motor bomba com bomba centrífuga;
- Tubo de revestimento com diâmetro interno de 63,5 mm;
- Amostrador tipo SPT com diâmetro externo de 50,8 mm e diâmetro interno de 34,9 mm, com comprimento de 45 cm;
- Martelo de cravação com peso de 65 kg e altura de queda de 75 cm;
- Tubo de descida Schedule - 80 com diâmetro de 1";

- Trado-concha com diâmetro de 100 mm;

Na Figura abaixo é possível visualizar o conjunto utilizado para a execução das sondagens:

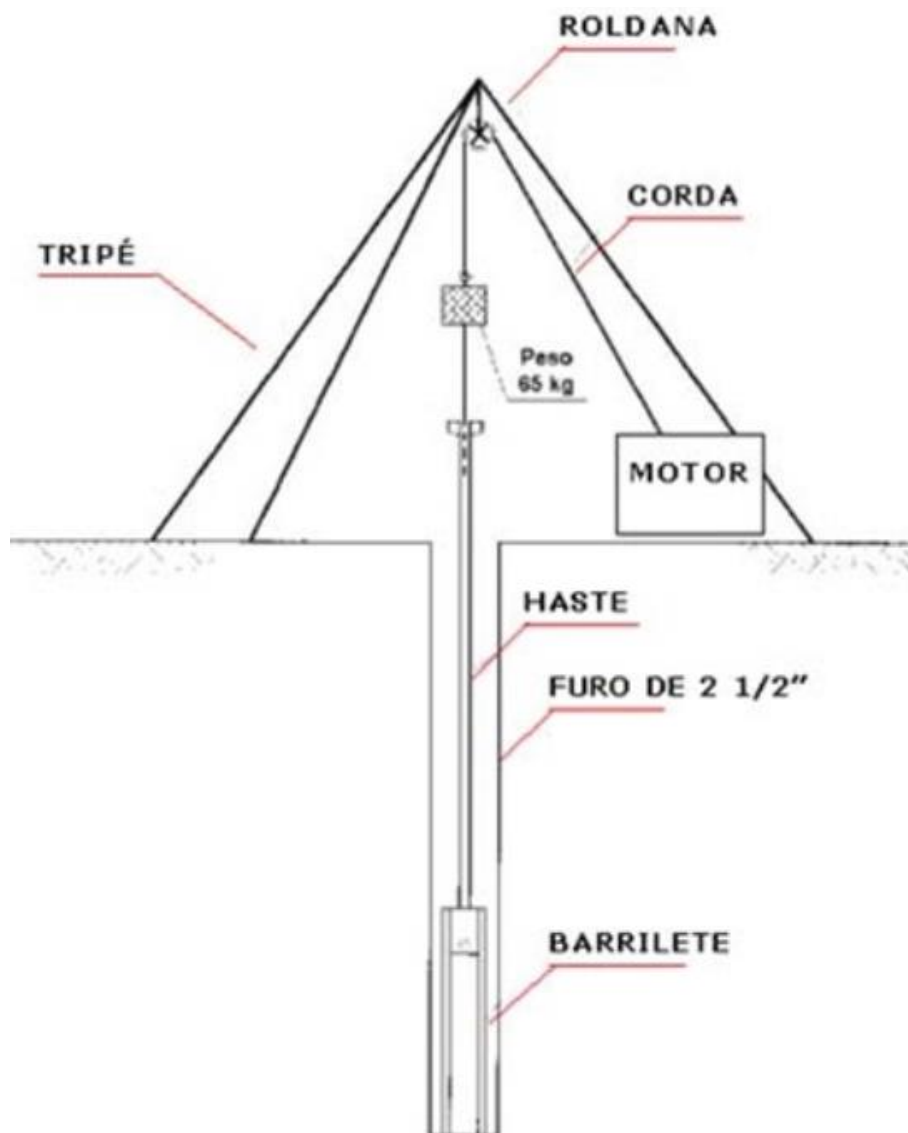


Figura 7 – Figura ilustrativa do conjunto de sondagem a percussão.





As sondagens de simples reconhecimento de solo foram executadas pelo método SPT, de acordo com as normativas NBR 6484 (ABNT, 2020), NBR 6502 (ABNT, 1995) e NBR 9603 (ABNT, 1986) e NBR 7250 (ABNT, 1982).

O método executivo da sondagem inicia-se com trado cavadeira (concha) até a profundidade de 1,00 metro. Posteriormente ao atingir o primeiro metro de perfuração, inicia-se o ensaio SPT, o qual determinará a resistência a penetração nos 45,00 centímetros iniciais de perfuração, divididos em 3 partes iguais de 15,00 centímetros.

Após a realização do ensaio de penetração (SPT), o amostrador é retirado do furo para abertura do barrilete e retirada da amostra. Posteriormente é verificada a composição do material coletado.

Para a perfuração do trecho não ensaiado utiliza-se o trado helicoidal e quando este mostrar um avanço inferior a 50 mm após 10 min de perfuração passa-se ao método de perfuração por circulação de água.

A cravação do amostrador padrão é interrompida quando ocorre uma das seguintes situações descritas:

- Quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador-padrão;
- Quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador-padrão; e
- Quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador-padrão



Seguindo-se os critérios e os parâmetros recomendados em norma, a sondagem deve ser dada por encerrada quando, no ensaio de avanço da perfuração por circulação de água, forem obtidos avanços inferiores a 50 mm em cada período de 10 min ou quando, após a realização de quatro ensaios consecutivos, não for alcançada a profundidade de execução do SPT.

Através do número de golpes, obtêm-se os parâmetros geotécnicos para solos argilosos representados na tabela abaixo.

**Tabela 7 – Tabela de classificação do SPT**

<b>CONSISTÊNCIA</b>	<b>Nº DE GOLPES (SPT)</b>	<b>C. SIMPLES - Kg/cm<sup>2</sup></b>
Muito mole	2	0,25
Mole	2 - 4	0,25 - 0,50
Média	4 - 8	0,50 - 1,00
Rija	8 - 15	1,00 - 2,00
Muito rija	15 - 30	2,00 - 4,00
Dura	Maior que 30	4,00 - 8,00
<b>Legenda: C. SIMPLES = Compressão simples.</b>		

As sondagens a percussão são identificadas pela sigla SP, sendo que junto a esta cada furo recebe a sua numeração.

A descrição e classificação dos testemunhos de sondagem é realizada a partir de análise tátil-visual, de acordo com as normativas estabelecidas na NBR 6502 e NBR 7250.



### 3.2.4 Análise geológica dos furos de sondagem

A área de estudos é constituída predominantemente por solos arenosos que apresentam cor cinza a marrom. Estes solos são produto do intemperismo físico-químico das rochas.

Os pontos de sondagem SP 03 E SP 03A atingiram o impenetrável aos 05,20 metros de profundidade. Já os pontos SP 04 e SP 04A atingiram o impenetrável aos 04,10 e 04,70 metros, respectivamente, de profundidade.

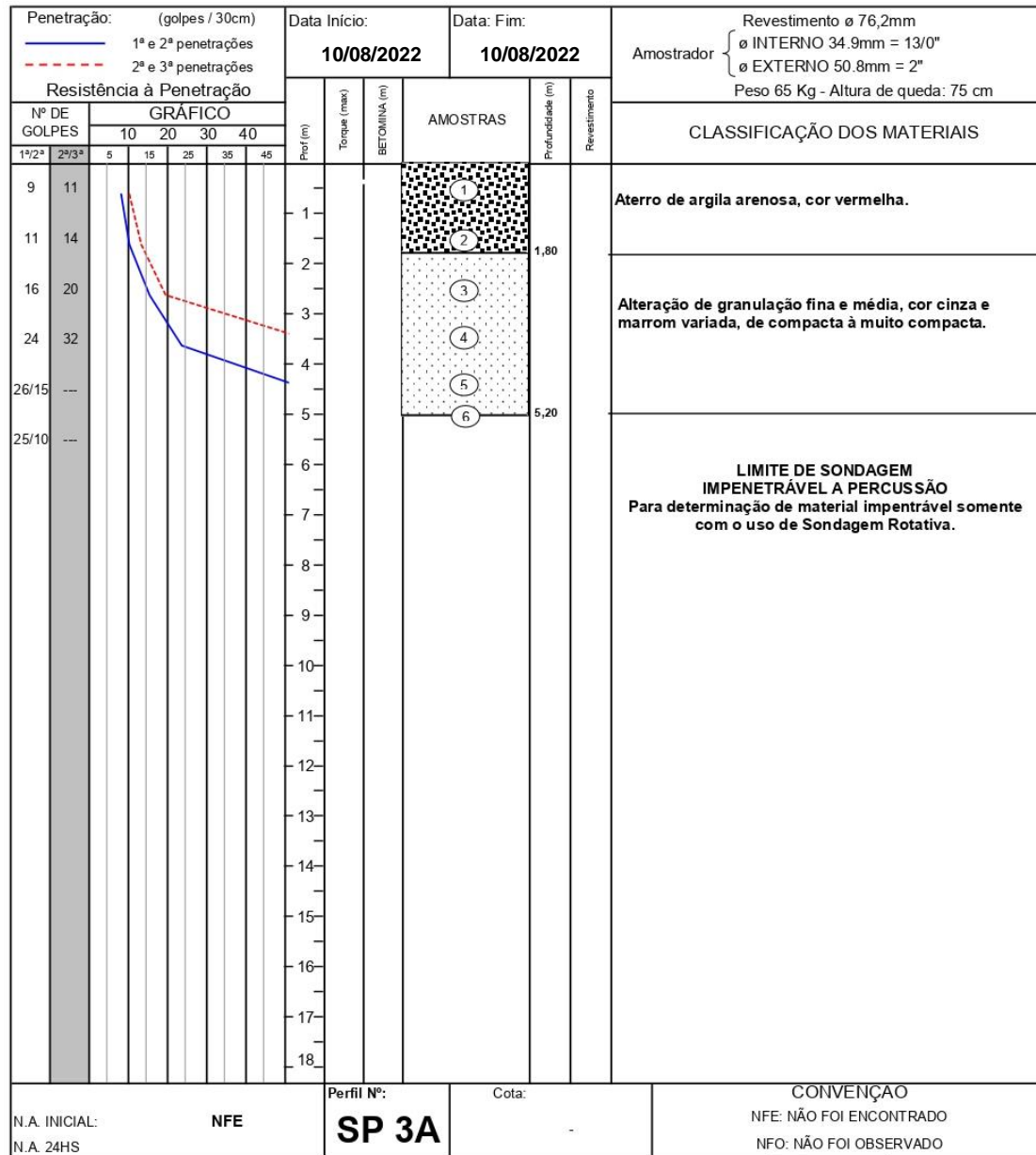
Para informações complementares (se necessário) das condições geotécnicas abaixo da camada do impenetrável ou da rocha, sugere-se a execução de sondagem rotativa com coleta de testemunhos para uma classificação mais detalhada dos elementos estruturais.





### 3.2.5.2 SPT-03A

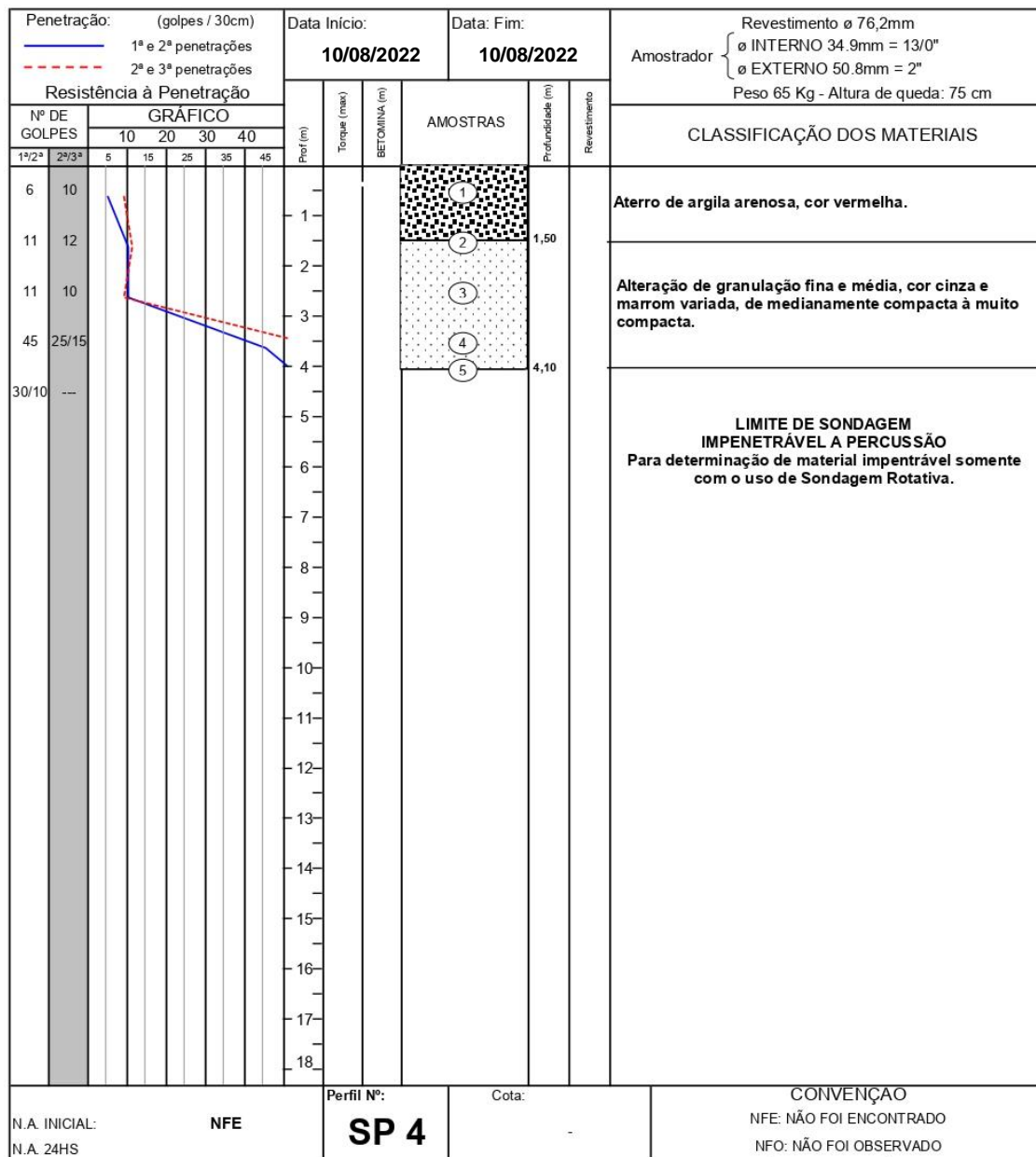
## SONDAGEM DE RECONHECIMENTO DO SOLO





### 3.2.5.3 SPT-04

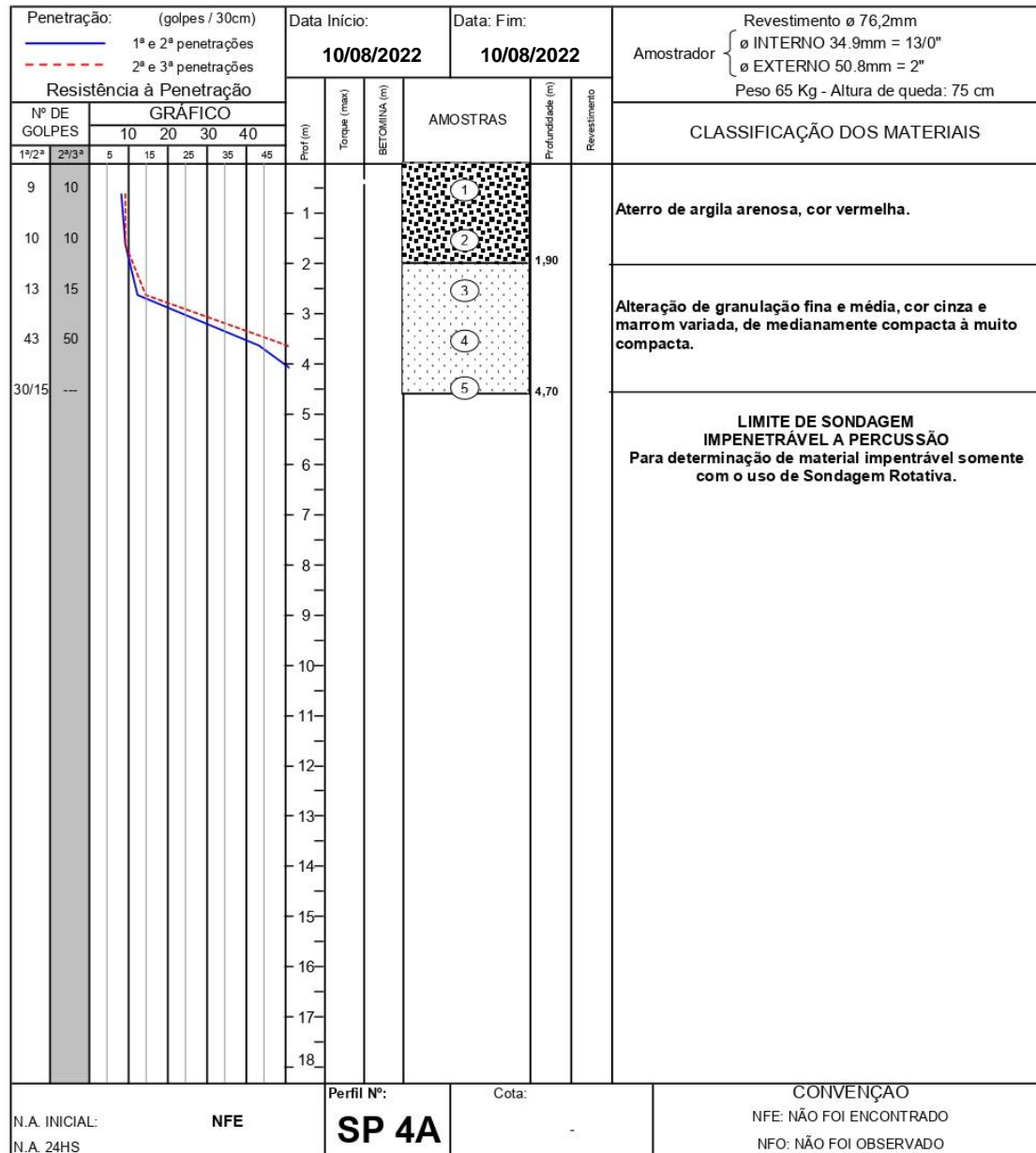
## SONDAGEM DE RECONHECIMENTO DO SOLO





### 3.2.5.4 SPT-04A

## SONDAGEM DE RECONHECIMENTO DO SOLO





### 3.2.5.5 Amostras do solo



Figura 8 – SPT-03 e 03A - Amostra do furo.





Figura 9 – 03 e 04A - Amostra do furo.



## 4 PROJETOS



## 4 PROJETOS

A seguir será apresentado o Projeto de OAE desenvolvidos 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.

### 4.1 Projeto de OAE

#### 4.1.1 Introdução

O presente relatório é composto por duas OAE's, a Ponte sobre o Rio Faxinal e a Ponte sobre o Rio Pinhalzinho, localizadas na ERS-539, no município de Nova Ramada/RS.

A obra segue as exigências do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul e da Prefeitura Municipal de Nova Ramada/RS.

O dispositivo adotado foi desenvolvido com base nas recomendações técnicas contidas no Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais editado pelo DNIT. O projeto foi também concebido de acordo com o preconizado nas normas brasileiras, em particular a ABNT NBR 7187:2021 “Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido” e ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento”.



O desenvolvimento deste trabalho foi executado por equipe técnica com experiência, considerando-se as informações obtidas na fase preliminar e na fase básica.

#### 4.1.2 Características gerais das obras

As presentes Obras de Arte Especiais serão construídas transpondo o Rio Faxinal e o Rio Pinhalzinho, no município de Nova Ramada/RS.

A extensão total é de 10,60m de comprimento. Em perfil longitudinal não apresentam declividades, sendo que transversalmente as obras têm uma declividade de 2,00% na faixa de rolamento.

A seção transversal com um total de 8,00m é formada por: duas faixas de rolamento de 3,60m e duas barreiras rígidas de 0,40m.

A superestrutura em grelha do tipo vigas múltiplas de seção retangular, são compostas por oito longarinas em concreto armado, dispostas transversalmente entre eixos a cada 1,05m e com modulação longitudinal de 10,30m entre eixos de apoios, comprimento da viga 10,00m e altura 0,81m. Sobre as longarinas serão lançadas pré-lajes, que servirão de forma para a concretagem “in-loco” da laje principal, juntamente com as transversinas, assim que consolidadas formarão uma estrutura em grelha resistente e necessária ao suporte da função estrutural da OAE. As lajes terão espessura final de aproximadamente 21cm. A barreira rígida adotada corresponde ao modelo New Jersey, moldada no local, em concreto armado. Para drenagem serão utilizados drenos de PVC com diâmetro de 100mm



localizados junto à barreira, precisamente no local de acúmulo de água devido ao caimento transversal da pista.

A Mesoestrutura, responsável pela transmissão das cargas da superestrutura para a infraestrutura, é composta de pilares paredes, que possuem, também, a função de contenção do aterro na direção longitudinal (cortinas frontais) e contenção do Aterro lateralmente com as Alas. As alturas dos pilares foram determinadas conforme o perfil do terreno, greide de pavimentação, cota do nível d'água e inclinação transversal da ponte. A vinculação da superestrutura e mesoestrutura será feita por meio de apoio do tipo pórtico (engastado).

A infraestrutura é composta por fundação superficial do tipo sapata.

A Obra de Arte Especial foi desenvolvida com base nas recomendações técnicas contidas no Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária editado pelo DNIT, considerando-se como veículo tipo, caminhão de carga classe TB-450. O projeto foi também concebido de acordo com o preconizado nas Normas Brasileiras, em particular a NBR 7187 (Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido) e NBR 6118. Todos os Atendimentos visando o Perfeito Funcionamento da Estrutura.

#### 4.2 Justificativa da solução adotada

A escolha da solução adotada se deu a partir da análise do local de implantação da Obra de Arte Especial bem como de fatores econômicos, estéticos e simplificação no processo construtivo.



A escolha do sistema estrutural adotado para a superestrutura norteou-se principalmente na eliminação sistemática de todas as variáveis menos ponderáveis que pudessem incidir na alteração do cronograma da obra, e consequentemente em prazos construtivos previstos. Além do mais, procurou-se tirar proveito das vantagens da utilização de elementos pré-moldados, dentre os quais poderemos citar: baixo consumo de forma, (grande reutilização); manutenção da qualidade da obra, no que diz respeito à sua geometria e capacidade resistente; eliminação ou diminuição de escoramento; e, evidentemente, menores prazos de construção. Essa solução se sobressai considerando também os fatores ambientais e de preservação do Meio Ambiente.

Com relação à solução adotada para a mesoestrutura e infraestrutura, somente temos a dizer que, com base na verificação in-loco e, nas características da superestrutura e condições específicas desta obra, constitui-se uma solução clássica, de utilização corrente e rotineira, de execuções rápidas e simples.

A proposta de solução estrutural tanto para a superestrutura, quanto para a interação mesoestrutura e infraestrutura, constituem-se, numa solução racional para o aproveitamento de peças resistentes que transfirm, praticamente sem transição, os esforços e coações para o solo de fundação, acrescentando-se ainda em vantagens técnicas e econômicas provenientes da utilização de pré-moldagem padronizadas de baixo custo e prazo de fornecimento.



### 4.3 Metodologia de cálculo

Para a determinação dos esforços solicitantes utilizou-se o software de análise estrutural STRAP, versão 2020.

O STRAP trata-se de um conjunto de programas destinado à geração da geometria do modelo, composição de cargas e verificação da estabilidade.

Os objetivos de se utilizar um software para modelar a obra são:

- Obter um modelo tridimensional mais próximo do real, assim otimizando o uso dos materiais e das características da estrutura e reduzindo o custo global da obra;
- Obter os esforços e deslocamentos devido aos carregamentos aplicados na estrutura para, posteriormente, serem utilizados no dimensionamento e na verificação das peças componentes da obra.

Para a construção do modelo adotaram-se as seguintes etapas:

- a) Geração da geometria: determinação das propriedades mecânicas dos elementos;
- b) Definição das condições de contorno;
- c) Definição dos carregamentos considerados;
- d) Cálculo inicial do modelo;
- e) Definição das cargas móveis: posicionamento das cargas de multidão e veículos para a obtenção dos resultados máximos e mínimos;



f) Verificação dos resultados.

O dimensionamento de alguns elementos será realizado através de planilhas eletrônicas elaboradas no Microsoft Excel. Utilizaram-se planilhas para a laje principal e laje de transição (método de RUSCH), transversinas de entrada e alas, sapatas e capacidade admissível do solo.

O modelo utilizado para a verificação e dimensionamento da estrutura ampliada consiste em uma superestrutura com laje do tabuleiro, travessa de entrada e alas composta por elementos de placas, longarinas e transversinas de apoio, por elementos de barras. A mesoestrutura é formada por nove apoios, com dois pilares circulares e travessa superior, são simulados por elementos de barras, e no topo o aparelho de apoio também é simulado por um elemento de barra, formando o apoio da superestrutura, a sua base considera-se engastada na fundação. A infraestrutura é formada por elementos sólidos que simulam os blocos sobre estacas. Este modelo foi submetido ao trem tipo TB-450, conforme a "ABNT NBR 7188:2013".

#### 4.4 Normas Técnicas de Referência

Tabela 8 - Normas técnicas essenciais

ABNT NBR 6118:2014	Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
ABNT NBR 6122:2019	Projeto e execução de fundações
ABNT NBR 6123:1988	Forças devidas ao vento em edificações
ABNT NBR 7187:2021	Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto
ABNT NBR 7188:2013	Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas
ABNT NBR 8681:2003	Ações e segurança nas estruturas - Procedimento





ABNT NBR 9452:2019	Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento
IS-214 DNIT	Instrução de serviço para projeto de obras de arte especiais
DNIT:1996	Manual de projeto de obras de arte especiais
ABECE 003:2015	Recomendação – Memorial descritivo do projeto estrutural

**Tabela 9 - Normas técnicas complementares**

ABNT NBR 7680:2015	Concreto – Extração preparo ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1 - Resistência à compressão axial
ABNT NBR 12655:2015	Concreto de cimento Portland - Preparo controle recebimento e aceitação - procedimento
ABNT NBR 14037:2011 Versão Corrigida:2014	Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos
ABNT NBR 14931:2004	Execução de estruturas de concreto – Procedimento
ABNT NBR 15696:2009	Formas e escoramentos para estrutura de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos
ABNT NBR 16280:2015	Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas – Requisitos
ABNT NBR 14037:2011 Versão Corrigida:2014	Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos

**Tabela 10 - Normas técnicas específicas**

ABNT NBR 9062:2017	Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado
ABNT NBR 9607:2012	Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido – Procedimento
ABNT NBR 9783:1987	Aparelhos de apoio de elastômero fretado



**Tabela 11 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para  $\Delta c=10\text{mm}$**

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 1.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30	30	40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/Pilar	30	35	45	55

a) Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

b) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15\text{ mm}$ .

c) Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

d) No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45\text{ mm}$ .

**Observação Importante quanto à Durabilidade:** Deve ser garantida a resistência do concreto correspondente à Classe de Agressividade, independente da capacidade da estrutura absorver valores menores, quando da verificação de concreto não conforme.



Na análise de concreto não conforme deve ser justificada, por profissional habilitado, a manutenção da durabilidade da estrutura.

#### 4.5 Exigências de durabilidade

##### 4.5.1 Vida útil de projeto

Nos termos da NBR 15575-2 Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais, a Vida Útil de Projeto dos sistemas estruturais executados com base neste projeto está estimada em 50 anos.

Entende-se por Vida Útil de Projeto o período estimado para o qual este sistema estrutural está sendo projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho da NBR 15575-2.

Foram considerados e atendidos neste projeto os requisitos das normas pertinentes e aplicáveis a estruturas de concreto, o atual estágio do conhecimento no momento da elaboração dele, bem como as condições do entorno, ambientais e de vizinhança da obra, no momento das definições dos critérios de projeto.

Outras exigências constantes nas demais partes da NBR 15575, que impliquem em dimensões mínimas ou limites de deslocamentos mais rigorosos que os que constam da NBR 6118, para os elementos do sistema estrutural, deverão ser fornecidos pelos responsáveis das outras especialidades envolvidas no projeto, sendo estes responsáveis por suas definições.



Para que a Vida Útil de Projeto tenha condições de ser atingida, se faz necessário que a execução da estrutura siga fielmente todas as prescrições constantes neste projeto, bem como todas as normas pertinentes à execução de estruturas de concreto e as boas práticas de execução.

O executor das obras deverá se assegurar de que todos os insumos utilizados na produção da estrutura atendem as especificações exigidas neste projeto, bem como em normas específicas de produção e controle, através de relatórios de ensaios que atestem os parâmetros de qualidade e resistência; o executor das obras deverá também manter registros que possibilitem a rastreabilidade destes insumos.

Eventuais não conformidades executivas deverão ser comunicadas a tempo ao projetista, para que venham a ser corrigidas, de forma a não prejudicar a qualidade e o desempenho dos elementos da estrutura.

Atenção especial deverá ser dada na fase de execução das obras, com relação às áreas de estocagem de materiais e de acessos de veículos pesados, para que estes não excedam a capacidade de carga para as quais estas áreas foram dimensionadas, sob o risco de surgirem deformações irreversíveis na estrutura.

Desde que haja um bom controle e execução correta da estrutura, que seja dado o uso adequado à obra e que seja cumprida a periodicidade e correta execução de processos de manutenção, a Vida Útil de Projeto do sistema estrutural terá condições de ser atingida e até mesmo superada.



A Vida Útil de Projeto é uma estimativa e não deve ser confundida com a vida útil efetiva ou com prazo de garantia. Ela pode ou não ser confirmada em função da qualidade da execução da estrutura, da eficiência e correção de atividades de manutenção periódicas, de alterações no entorno da estrutura, ou de alterações ambientais e climáticas.

#### 4.5.2 Classes de agressividades

Tabela 12 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	<b>Moderada</b>	<b>Urbana <sup>a,b</sup></b>	<b>Pequeno</b>
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a,b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a,c</sup>	Elevado
		Respingas de maré	

a) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

b) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

c) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes e indústrias químicas.

ABNT NBR 6118:2014



A área de implantação da obra está localizada em região urbana, no município de Nova Ramada/RS. Dessa forma, a obra foi classificada na Classe de Agressividade II – Moderada.

**Tabela 13 - Correspondência entre a classe de agressividade e qualidade do concreto**

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b,c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 1.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	<b><math>\leq 0,60</math></b>	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	<b><math>\leq 0,55</math></b>	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe do concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	<b><math>\geq C25</math></b>	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	<b><math>\geq C30</math></b>	$\geq C35$	$\geq C40$

a) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

b) CA corresponde a elementos estruturais de concreto armado.

c) CP corresponde a elementos estruturais de concreto protendido.

Definida a Classe de Agressividade Ambiental, foram estabelecidos os requisitos de qualidade do concreto e de cobrimento da armadura.

Deve ser garantida a resistência do concreto correspondente à Classe de Agressividade, independente da capacidade de a estrutura absorver valores menores, quando da verificação de concreto não conforme.

## 4.6 Materiais

### 4.6.1 Concreto armado

**Tabela 14 - 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	<b>C30</b>	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
Eci (GPa)	25	28	<b>31</b>	33	35	38	40	42	43	45	47
Ecs (GPa))	21	24	<b>27</b>	29	32	34	37	40	42	45	47
$\alpha_i$	0,85	0,86	<b>0,88</b>	0,89	0,9	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

ABNT NBR 6118:2014

**Tabela 15 - Características do concreto armado**

Propriedade	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura
Resistência característica (Fck)	30 MPa	30 MPa	30 MPa
Módulo de deformação secante	27,0 GPa	27,0 GPa	27,0 GPa
Fator a/c máximo	0,60	0,60	0,60
Traço	1:2:2 ½ (C:A:B)	1:2:2 ½ (C:A:B)	1:2:2 ½ (C:A:B)
Slump test	100mm + - 20mm	100mm + - 20mm	100mm + - 20mm

**Observação importante:** Para a produção do concreto foi considerada a utilização de agregado graúdo de origem granítica (granito),



em especial na avaliação do módulo de elasticidade. Caso sejam utilizados outros tipos de agregados graúdos, o valor do módulo de elasticidade deverá ser ajustado conforme item 8.2.8 da NBR 6118:2014, devendo ser definido antes do início da execução.

**Recomendação Importante:** Para o bom desempenho da estrutura de concreto, bem como redução de custo dela, recomenda-se a contratação de tecnologista do concreto com o objetivo de desenvolver o traço do concreto a ser empregado na obra e orientar sobre os procedimentos de cura e desforma.

#### 4.6.2 Aço

Os materiais empregados para a execução são os seguintes:

- Aço – Concreto Armado
  - CA-50

#### 4.7 Ações adotadas para cálculo

Para a modelização da estrutura, serão utilizados carregamentos permanentes e variáveis, apresentados nos itens a seguir.

##### 4.7.1 Ações permanentes

###### 4.7.1.1 Peso próprio dos elementos estruturais

O peso próprio é o peso das peças de concreto e de aço da estrutura, compreendendo, neste caso, as lajes, vigas, encontros etc. Para a avaliação das cargas devidas ao peso próprio dos elementos estruturais, o peso





específico deve ser tomado igual a 2,5 tf/m<sup>3</sup> para o concreto armado e 7,8tf/m<sup>3</sup> para o aço.

#### 4.7.1.2 Pavimentação

A NBR 7187 diz que “na avaliação da carga devida ao peso da pavimentação, deve ser adotado para peso específico do material empregado o valor mínimo de 2,4 tf/m<sup>3</sup>, prevendo-se uma carga adicional de 0,2 tf/m<sup>2</sup> para atender a um possível recapeamento”. A consideração desta carga adicional pode ser dispensada, a critério da projetista, no caso de OAE's em grandes vãos.

Deste modo, considerando um revestimento de concreto asfáltico com espessura de 5cm para a pista de rolamento, tem-se o seguinte valor de carga de revestimento aplicado na estrutura:

$$p_{pista} = 2,40 \text{ tf/m}^3 * 0,05\text{m} + 0,20 \text{ tf/m}^2 = 0,32 \text{ tf/m}^2$$

#### 4.7.1.3 Retração e fluência

A retração e a fluência serão aplicadas ao modelo, apenas para elementos novos, como uma carga de temperatura sobre a superestrutura com o valor de  $\Delta T = -15^\circ\text{C}$ . Desta forma, é simulado o comportamento da estrutura com a atuação desses efeitos.

#### 4.7.1.4 Empuxo de terra

A determinação do empuxo de terra, que deve ser entendido como a ação produzida pelo maciço terroso sobre as obras com ele em contato, é fundamental na análise e projeto de obras como muros de arrimo, cortinas



de estacas, cortinas atirantadas, encontros de pontes, entre outras situações semelhantes a estas.

*O empuxo de terra nas estruturas é determinado de acordo com os princípios da mecânica dos solos, em função de sua natureza (ativo, passivo ou de repouso), das características do terreno, assim como das inclinações dos taludes e dos paramentos. Como simplificação, pode ser suposto que o solo não tenha coesão e que não haja atrito entre o terreno e a estrutura, desde que as solicitações assim determinadas estejam a favor da segurança. O peso específico do solo úmido deve ser considerado no mínimo igual a 18kN/m³ e o ângulo de atrito interno no máximo igual a 30°. Os empuxos ativo e de repouso devem ser considerados nas situações mais desfavoráveis. A atuação do empuxo passivo só pode ser levada em conta quando sua ocorrência puder ser garantida ao longo de toda a vida útil da obra (NBR7187 ABNT, 2021, p. 4).*

Segundo Montoya (1983), para o cálculo do empuxo ativo de terrenos sem coesão se recomenda aplicar a teoria de Coulomb, que proporciona valores suficientes aproximados. Então, esta teoria, simplificada, descreve que: “Em um muro de face plana, que forma um ângulo  $\alpha$  com a horizontal, e superfície do terreno plana, formando um talude de ângulo  $\beta$ , sobre a qual atua uma carga uniformemente distribuída de valor “ $q$ ” por metro de projeção, as componentes horizontais  $p_H$  e verticais “ $p_V$ ” da pressão sobre o muro, a uma profundidade  $z$ , contando a partir da coroação do muro (como mostra a figura a seguir), tem as expressões seguintes:

$$p_H = (\gamma \cdot z + q) \cdot \lambda_H$$

$$p_v = (\gamma \cdot z + q) \cdot \lambda_v$$

Os coeficientes de empuxo ativo  $\lambda_H$  e  $\lambda_V$  são dados pelas expressões:

$$\lambda_H = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$\lambda_V = \lambda_H \cdot \cot(\alpha - \delta)$$

Todavia, estes valores podem ser obtidos mais facilmente por tabelas, como as apresentadas em Montoya (1983).

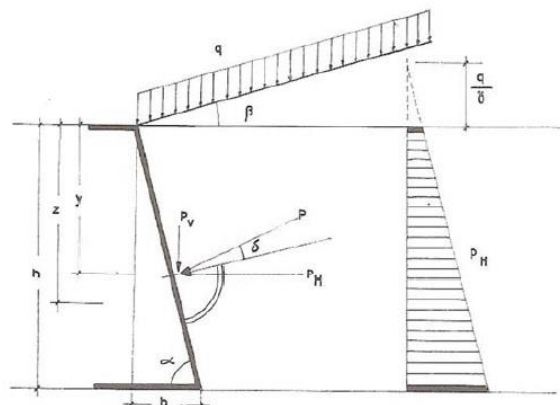


Figura 10 – Parâmetros da teoria de Coulomb para um muro de face plana. Montoya (1983, p. 687)

Como valor da sobrecarga  $q$ , atuando sobre o terreno, considera-se o aterro da obra da região principal, submetido à ação da sobrecarga devido à carga do peso do veículo tipo. Por conseguinte, sabendo que o veículo tipo pesa 45 tf, distribuídos em uma área de 6,00m x 3,00m, tem-se para o valor da sobrecarga:

$$q = \frac{45,00tf}{3,00m \times 6,00m} = 2,50tf/m^2$$



O efeito dessa ação da sobrecarga no aterro é transformado em altura de terreno (solo) equivalente ( $h'$ ).

Para essa situação é tomado o terreno sem coesão, com peso específico do solo ( $\gamma$ ) igual a  $1,80 \text{ tf/m}^3$  e ângulo de atrito interno ( $\varphi$ ) igual a  $30^\circ$ . Consequentemente, fazendo uso da teoria de Coulomb para solo não saturado e sem coesão, tem-se:

- Altura média dos encontros, utilizada na discretização da estrutura =  $2,00\text{m}$ ;
- Coeficiente de empuxo  $\lambda_h = 0,33$ .
- Assim, a sobrecarga " $q$ " é transformada em altura de aterro equivalente:

$$q = \frac{2,40 \text{ tf/m}^2}{1,80 \text{ tf/m}^2} = 1,39\text{m}$$

Por isso,

- $p_{Hi} = \gamma \cdot z \cdot \lambda_H = 1,80 \text{ tf/m}^3 \times 1,39\text{m} \times 0,33 = 0,83 \text{ tf/m}^2$
- $p_{Hf} = \gamma \cdot z \cdot \lambda_H = 1,80 \text{ tf/m}^3 \times (2,80\text{m} + 1,39\text{m}) \times 0,33 = 2,48 \text{ tf/m}^2$

#### 4.7.1.5 Barreira rígida

A barreira rígida adotada segue o padrão do "Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais", DNER, 1996, com uma área aproximada de  $0,253\text{m}^2$ , para barreira simples. Portanto, foi utilizado o carregamento de  $0,230\text{m}^2 \times 2,50 \text{ tf/m}^3 = 0,575 \text{ tf/m}$ .

## 4.7.2 Ações Variáveis

### 4.7.2.1 Ações móveis verticais

Tabela 16 – Cargas móveis

SITUAÇÃO	VEÍCULO	MULTIDÃO	OBSERVAÇÃO
Projetada	TB-450	0,5tf/m <sup>2</sup> na pista	Utilizado para obter os esforços e o dimensionamento da estrutura

- Veículo de 45 tf ( 450 kN )

- Peso Total do Veículo: 45 tf (450 kN )
- Quantidade de Eixos: 3
- Peso de Uma Roda Dianteira: 7,5 tf ( 75 kN )
- Peso de Uma Roda Traseira: 7,5 tf ( 75 kN )
- Peso de Uma Roda Intermediária: 7,5 tf ( 75kN )
- Largura de Contacto de Cada Roda: 0,50 m
- Comprimento de Contacto de Cada Roda: 0,20 m
- Distância Entre os Eixos: 1,50 m
- Distância Entre os Centros de Rodas dos Eixos: 2,00 m

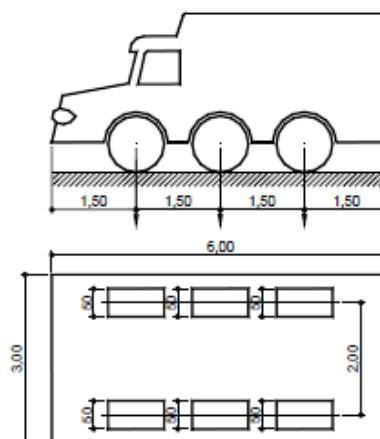


Figura 11 – Características do Trem Tipo TB-450 (Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – IPR 709, pág. 31)

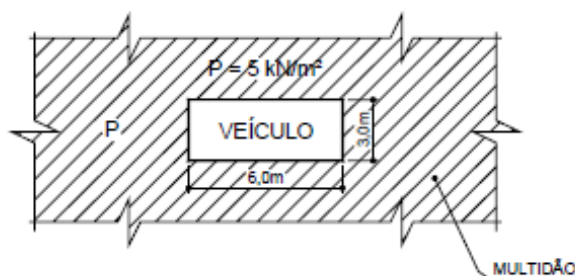


Figura 12 – Esquema para a formação Trem Tipo TB-450 (Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – IPR 709, pág. 32)

#### 4.7.2.1.1 Fator de impacto TB-450

O Coeficiente de Impacto a ser aplicado ao trem tipo rodoviário **TB-450**, durante a modelização da situação de projeto, é calculado de acordo com a norma “NBR 7188:2013 Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas” e demonstrado a seguir:

As cargas dos veículos e da multidão da pista serão acrescidas pelo fator de impacto (CIV), em função do vão teórico.

##### Coeficiente de Impacto Vertical

$$CIV = \begin{cases} 1,35; & \text{para vãos menores que 10 metros} \\ 1,0 + 1,06 \cdot \left( \frac{20}{LIV + 50} \right); & \text{para vãos entre 10 a 200 metros} \end{cases}$$

$$LIV \begin{cases} \text{Comprimento do vão, para vãos isostáticos} \\ \text{Média aritmética, para vãos contínuos} \\ \text{Comprimento do balanço, para balanços} \end{cases}$$

##### Coeficiente de Número de Faixas

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



*n: é o número (inteiro) de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Acostamentos e faixas de segurança não são faixas de tráfego da rodovia*

### Coeficiente de Impacto Adicional

Segundo a “NBR 7188:2013 Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas”, item “5.1.2.3 Coeficiente de impacto adicional”, os esforços das cargas móveis devem ser majorados na região das juntas estruturais e extremidades da obra. Todas as seções dos elementos estruturais a uma distância horizontal, normal à junta, inferior a 5,0m para cada lado da junta ou descontinuidade estrutural, devem ser dimensionadas com os esforços das cargas móveis majorados pelo coeficiente de impacto adicional, abaixo definido:

$CIA = 1,25$  — para obras em concreto ou mistas;

$CIA = 1,15$  — para obras em aço;

Sendo assim:

$$\varphi = CIV \cdot CNF \cdot CIA$$

Segue abaixo a tabela com o coeficiente de impacto utilizado:



Tabela 17 - Fator de impacto para o TB-450

Cálculo do Coeficiente de impacto			
Liv =	10,00 m	CIV =	1,350
n =	2	CNF =	1,00
		CIA =	1,250
Coeficiente de impacto =			<b>1,688</b>

*\* Trecho a 5m da junta*

Cálculo do Coeficiente de impacto			
Liv =	10,00 m	CIV =	1,350
n =	2	CNF =	1,00
		CIA =	1,000
Coeficiente de impacto =			<b>1,350</b>

#### 4.7.2.2 Ações móveis horizontais

De forma análoga ao fator de impacto, as cargas móveis deverão ser verificadas segundo a NBR 7187:2021 para a situação de projeto novo.

Para a situação do projeto original, deverá ser adicionado o maior dos seguintes valores:

- 5% do valor do carregamento na pista de rolamento com as cargas distribuídas, excluídos os passeios;
- 30% do peso do veículo-tipo.

Para o projeto da nova ponte, as forças horizontais à frenagem e/ou aceleração aplicadas no nível do pavimento são um percentual da carga característica dos veículos aplicados sobre o tabuleiro, na posição mais desfavorável, concomitantemente com a respectiva carga:

$$H_f = \text{maior} \begin{cases} 0,025 * B * L * CNF \\ 13,50 \text{ tf} \end{cases}$$





Sendo:

B, Largura efetiva em metros da carga de multidão de 5kN/m<sup>2</sup>.

L, comprimento(m) concomitante da carga distribuída.

- Para o B = 7,20m (3,60m + 3,60m);
- Para o L = 10,00m.

$$Hf = 0,025 \cdot 7,20m \cdot 10,00m \cdot 1,00 = 1,80tf$$

$$1,80tf < 13,50tf$$

Então,

$$Hf = \frac{13,50}{7,20m \cdot 10,00m} = 0,188tf/m^2$$

#### 4.7.2.2.1 Vento

As pressões causadas pelo vento foram consideradas para as duas situações de cálculo (ponte carregada e descarregada). A atuação do vento foi considerada apenas no tabuleiro da ponte, com o vento incidindo perpendicularmente sobre o mesmo.

O valor da Velocidade Básica do Vento, V0 (máxima velocidade média medida sobre 3 segundos, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, a 10m sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano), foi adotado pela figura que se segue, reproduzida da NBR 6123:1988.

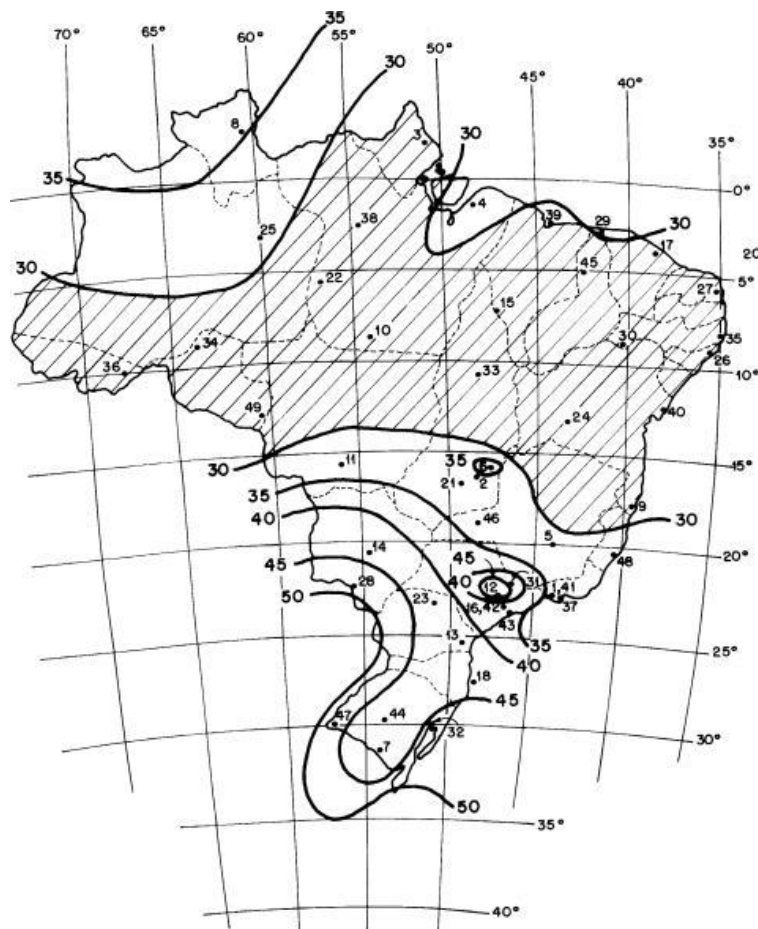


Figura 13 – Diagrama de isopletas do vento – NBR 6123

**CARREGAMENTOS HORIZONTAIS****1) Vento na Superestrutura:****DADOS DE ENTRADA:** ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações

Local = Nova Ramada/RS

 $V_0 = 45,00 \text{ m/s}$  $S_1 = 1,00$  $S_2 = 1,00$  $S_3 = 1,00$  $C_f = 2,00$  $V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$  $V_k = 45,00 \text{ m/s}$  $q = 0,613 * V_k^2$  $q = 1242,95 \text{ N/m}^2$  $F = q * C_f * 0,000102$  $F = 0,25 \text{ t/m}^2$ 

a) Ponte carregada:

**DADOS DE ENTRADA:** $h_{\text{super}} = 0,90 \text{ m}$  $h_{\text{veículo}} = 2,00 \text{ m}$  $L_{\text{vão}} = 10,00 \text{ m}$  $F_V = (h_{\text{super}} + h_{\text{veículo}}) / 2 * F$  $F_V = 0,37 \text{ t/m}$  $F_V = 3,68 \text{ t}$ 

b) Ponte descarregada:

**DADOS DE ENTRADA:** $h_{\text{super}} = 0,90 \text{ m}$  $h_{\text{G.rodas}} = 0,87 \text{ m}$  $L_{\text{vão}} = 10,00 \text{ m}$  $F_V = (h_{\text{super}} + h_{\text{G.rodas}}) / 2 * F$  $F_V = 0,22 \text{ t/m}$  $F_V = 2,24 \text{ t}$ **4.7.2.2 Temperatura**

É a variação de temperatura da estrutura, causada globalmente pela variação da temperatura da atmosfera e pela insolação direta. De maneira genérica, são adotados os seguintes valores:

- Para elementos estruturais cuja menor dimensão não seja superior a 50cm, deve ser considerada uma oscilação de temperatura em torno da média de 10°C a 15°C;



- Para elementos estruturais maciços ou ocos com os espaços vazios inteiramente fechados, cuja menor dimensão seja superior a 70cm, admite-se que essa oscilação seja reduzida respectivamente para 5°C a 10°C;

- Para elementos estruturais cuja menor dimensão esteja entre 50cm e 70cm admite-se que seja feita uma interpolação linear entre os valores acima indicados.

A escolha de um valor entre esses dois limites é feita considerando 50% da diferença entre as temperaturas médias de verão e inverno, no local da obra.

Para o modelo calculado foi adotado um gradiente de temperatura atuando sobre a laje da estrutura no valor de  $\Delta = \pm 15^\circ\text{C}$ .

#### 4.7.2.2.3 Pressão da água em movimento

A pressão da água em movimento sobre os pilares e elementos das fundações pode ser determinada através da expressão:

$$p = kv^2 (\text{kN/m})$$

Onde:

$p$  é a pressão estática equivalente, em  $\text{kN/m}^2$ ;

$v$  é a velocidade da água, em  $\text{m/s}$ ;

$k$  é um coeficiente dimensional, cujo valor é 0,34 para elementos com seção transversal circular. Para elementos com seção transversal retangular,

o valor de  $k$  é função do ângulo de incidência do movimento das águas em relação ao plano da face do elemento, conforme a tabela a seguir:

**Tabela 18 - Valores de  $k$  em função do ângulo de incidência**

Ângulo de incidência	$k$
90°	0,71
45°	0,54
0°	0
<b>NOTAS</b> 1 Para situações intermediárias, o valor de $k$ deve ser obtido por interpolação linear. 2 A pressão $p$ deve ser considerada sobre uma área igual à da projeção do elemento em um plano perpendicular à direção do movimento da água. Para elementos com outras seções transversais, consultar a bibliografia especializada para a determinação do fator $k$ .	

Neste caso, tem-se:

$$k = 0,54;$$

$$v = 2 \text{ m/s};$$

$$p = 0,54 \cdot 2,00^2 = 2,16 \text{ kN/m}^2 = 0,216 \text{ tf/m}^2$$

#### 4.7.3 Combinações de projeto

Para a determinação das solicitações de Serviço e de esgotamento da resistência, são realizadas combinações para ponderar a ocorrência simultânea das solicitações.

**Combinação Última Normal**

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} * F_{Gi,k} + \gamma_q \left[ F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} * F_{Qj,k} \right]$$

**Combinações últimas especiais ou de construção**

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} * F_{Gi,k} + \gamma_q \left[ F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j,ef} * F_{Qj,k} \right]$$

**Combinações últimas excepcionais**

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} * F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + \gamma_q \sum_{j=1}^n \psi_{0j,ef} * F_{Qj,k}$$

**Combinações quase permanentes de serviço**

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} * F_{Qj,k}$$

**Combinações freqüentes de serviço**

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 * F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} * F_{Qj,k}$$

**Combinações raras de serviço**

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} * F_{Qj,k}$$

Combinação:

**Normal**

Tipo de Ação:

**Peso próprio de estruturas moldadas no local**

Tipo de Estrutura:

**Grandes pontes1)**



Permanentes		Desfavorável	Favorável
Separadamente	$\gamma_{gi} =$	<b>1,35</b>	<b>1,00</b>
Conjuntamente	$\gamma_{gi} =$	<b>1,30</b>	<b>1,00</b>

Variáveis		Desfavorável
Separadamente	Ações truncadas <sup>1)</sup>	$\gamma_q =$ <b>1,20</b>
	Efeito de temperatura	$\gamma_q =$ <b>1,20</b>
	Ação do vento	$\gamma_q =$ <b>1,40</b>
	Ações variáveis em geral	$\gamma_q =$ <b>1,50</b>
Conjuntamente	Pontes e edificações tipo 1	$\gamma_q =$ <b>1,50</b>
	Edificações tipo 2	$\gamma_q =$ <b>1,40</b>

Ações			
<b>Cargas acidentais de edifícios</b>	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<u>Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo. nem de elevadas concentrações de</u>	0,5	0,4	0,3
<b>Vento</b>			
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0

<b>Temperatura</b>			
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
<b>Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos</b>			
<u>Pontes rodoviárias</u>	0,7	0,5	0,3



Verificação Fadiga		
<u>Pontes rodoviárias</u>	$\psi_{1.fad}$	N
Laje do tabuleiro	0,8	2 x 10 <sup>6</sup>
Vigas transversais	0,7	2 x 10 <sup>6</sup>
Vigas longitudinais 1) – vão até 100 m	0,5	2 x 10 <sup>6</sup>
Vigas longitudinais 1) – vão de 200 m	0,4	2 x 10 <sup>6</sup>
Vigas longitudinais 1) – vão $\geq$ 300 m	0,3	2 x 10 <sup>6</sup>
Meso e infraestrutura6)	0	2 x 10 <sup>6</sup>

#### 4.7.3.1 Combinação última (ELU)

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} F_{\varepsilon qk}$$

Onde:

- $\gamma_g$  – Fator de majoração para ações permanentes diretas
- $F_{gk}$  – Ações permanentes diretas
- $\gamma_{\varepsilon g}$  – Fator de majoração para ações permanentes indiretas
- $F_{\varepsilon gk}$  – Ações permanentes indiretas
- $\gamma_q$  – Fator de majoração para ações variáveis diretas
- $F_{q1k}$  – Ação variável direta principal
- $\Psi_{0j}$  – Coeficiente de combinação
- $F_{qjk}$  – Demais ações variáveis diretas





- $\gamma_{\varepsilon q}$  – Fator de majoração para ações variáveis indiretas
- $F_{\varepsilon qk}$  – Ações variáveis indiretas (temperatura)

#### 4.7.3.2 Combinação em serviço (ELS)

##### 4.7.3.2.1 Combinação quase permanente

$$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \Psi_{2j} F_{qj,k}$$

Onde:

- $F_{gi,k}$  – Ações permanentes diretas
- $\Psi_{2j}$  – Fator de combinação quase permanente
- $F_{qj,k}$  – Ações variáveis diretas

##### 4.7.3.2.2 Combinação frequente

$$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Psi_1 F_{q1,k} + \Sigma \Psi_{2j} F_{qj,k}$$

Onde:

- $F_{gi,k}$  – Ações permanentes diretas
- $\Psi_1$  – Fator de combinação frequente
- $F_{q1,k}$  – Ação variável direta principal
- $\Psi_{2j}$  – Fator de combinação quase permanente
- $F_{qj,k}$  – Demais ações variáveis diretas



#### 4.7.3.2.3 Combinação rara

$$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + F_{q1,k} + \Sigma \Psi_{1j} F_{qj,k}$$

Onde:

- $F_{gi,k}$  – Ações permanentes diretas
- $F_{q1,k}$  – Ação variável direta principal
- $\Psi_{1j}$  – Fator de combinação frequente
- $F_{qj,k}$  – Demais ações variáveis diretas

#### 4.7.3.3 Lista de combinações

A Seguir, são apresentadas as combinações previstas em norma que foram utilizadas na verificação do modelo apresentado:



Tabela 19 – Lista de combinações

Combinações	PP	Retração	Empuxo	Temperatura	Vento	TB	Frenagem
ELU - 1	1,35	1,2 / 1,0	1,05	<b>1,20</b>	0,84	1,05	1,05
ELU - 2	1,35	1,2 / 1,0	1,05	0,72	<b>1,40</b>	1,05	1,05
ELU - 3	1,35	1,2 / 1,0	<b>1,50</b>	0,72	0,84	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>
ELS - PP	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ELS - CQP 1	1,00		0,30	0,30	0,00	0,30	0,30
ELS - CF 1	1,00		0,30	<b>0,50</b>	0,00	0,30	0,30
ELS - CF 2	1,00		0,30	0,30	<b>0,30</b>	0,30	0,30
ELS - CF 3	1,00		<b>0,50</b>	0,30	0,00	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>
ELS - CR 1	1,00		0,50	<b>1,00</b>	0,30	0,50	0,50
ELS - CR 2	1,00		0,50	0,50	<b>1,00</b>	0,50	0,50
ELS - CR 3	1,00		<b>1,00</b>	0,50	0,30	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
ELS-Fad Laje 1	1,00		0,30	<b>0,80</b>	0,00	0,30	0,30
ELS-Fad Laje 2	1,00		0,30	0,30	<b>0,80</b>	0,30	0,30
ELS-Fad Laje 3	1,00		<b>0,80</b>	0,30	0,00	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>
ELS-Fad Longarinas 1	1,00		0,30	<b>0,50</b>	0,00	0,30	0,30
ELS-Fad Longarinas 2	1,00		0,30	0,30	<b>0,50</b>	0,30	0,30
ELS-Fad Longarinas 3	1,00		<b>0,50</b>	0,30	0,00	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>
ELS-Fad Mesoestrutura 1	1,00		0,30	<b>0,00</b>	0,00	0,30	0,30
ELS-Fad Mesoestrutura 2	1,00		0,30	0,30	<b>0,00</b>	0,30	0,30
ELS-Fad Mesoestrutura 3	1,00		<b>0,00</b>	0,30	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

#### 4.7.4 Critérios de modelo estrutural

Foram atendidos os limites para deslocamentos estabelecidos na Tabela 13.3 da NBR 6118:2014.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell/350 + \text{contraflecha}^b$
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell/600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após o nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell/500^c$ e 10 mm e $\phi=0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrida após a instalação da divisória	$\ell/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ( $\psi=0,30$ )	$H/1700$ e $H/850^e$ entre pavimentos $f$
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell/400^g$ e 15 mm
		Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$\ell/350$
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Revestimentos pendurados ou com junta	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$\ell/175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenação	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		



- <sup>a</sup> As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.
- <sup>b</sup> Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que  $\ell/350$ .
- <sup>c</sup> O vão  $\ell$  deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.
- <sup>d</sup> Rotação nos elementos que suportam paredes.
- <sup>e</sup>  $H$  é a altura total do edifício e  $H_i$  o desnível entre dois pavimentos vizinhos.
- <sup>f</sup> Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não devem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando  $H_i$  representa o comprimento do lintel.
- <sup>g</sup> O valor  $\ell$  refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

**NOTAS**

- 1 Todos os valores-limites de deslocamentos supõem elementos de vão  $\ell$  suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.
- 2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor  $\ell$  é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.
- 3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11.
- 4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

#### 4.7.5 Orientações gerais

##### 4.7.5.1 Orientações para a construção

###### 4.7.5.1.1 Introdução

Durante a obra devem ser mantidas as especificações estabelecidas no projeto. A substituição de especificações constantes neste projeto só poderão ser realizadas com a anuência prévia do projetista.

Estas especificações estão baseadas nas características de desempenho declaradas pelo fornecedor, porém cabe exclusivamente a ele



comprovar a veracidade de tais características. Comprovação esta que deve ser solicitada pelo contratante.

A empresa de projeto não se responsabiliza pelas modificações de desempenho decorrentes de substituição de especificação sem o seu conhecimento.

A construtora deverá aplicar procedimentos de execução e de controle de qualidade dos serviços de acordo com as respectivas normas técnicas de execução e controle.

Devem ser seguidas as instruções específicas de detalhamento de projeto e de especificação visando assegurar o desempenho final e, em caso de necessidade de alteração, esta deve ter a anuência do projetista antes da execução.

#### **4.7.5.1.2 Formas e escoramentos**

O projeto e o dimensionamento de formas (moldes para a estrutura de concreto) não fazem parte do escopo de nossos serviços.

O projeto e o dimensionamento do escoramento não fazem parte do escopo de nossos serviços.

Observações:

1. Deve ser previsto o espaçamento máximo entre escoras de 2,0 m.
2. Deve ser garantida a verticalidade e o prumo das escoras.



3. No caso de o ciclo de concretagem não ser o especificado no esquema e/ou existirem outras opções, poderá ser estabelecido outro plano de cimbramento a ser definido pela Engenharia da Obra e o Projetista de Estruturas.

4. A retirada do escoramento deverá ser cuidadosamente estudada, tendo em vista o módulo de elasticidade do concreto ( $E_{ci}$ ) no momento da desforma. Há uma maior probabilidade de grande deformação quando o concreto é exigido com pouca idade.

5. A retirada do escoramento deverá ser feita:

- Nos vãos; do meio para os apoios
- Nos balanços; do extremo para o apoio

#### 4.7.5.1.3 Tolerâncias

Para a produção da estrutura deverão ser observadas as tolerâncias de execução conforme NBR 14931:2004 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento.

#### 4.7.5.1.4 Tecnologia de Concreto

O desenvolvimento adequado do traço do concreto, com a pesquisa dos materiais regionais disponíveis para a sua produção, agregados miúdo e graúdo, cimento e aditivos, poderá levar à redução no custo do concreto, além da melhoria nas suas características mecânicas, de trabalhabilidade e de baixa retração.

Deverá ser confirmado o agregado graúdo especificado no projeto.



O desenvolvimento do traço do concreto e a avaliação de seu desempenho estão fora do escopo deste projeto.

#### **4.7.5.1.5 Cura**

O período de cura do concreto refere-se à duração das reações iniciais de hidratação do cimento, o que resulta em perda de água livre por meio de evaporação e difusão interna. Geralmente, a perda de água por evaporação é muito maior do que por difusão interna. Logo, uma das soluções é manter a superfície exposta ao ar em condição saturada, reduzindo assim a quantidade de água evaporada. Outros processos também podem ser usados de forma a reduzir essa perda de água.

Sabe-se que um concreto exposto ao ar durante as primeiras idades pode sofrer fissuras plásticas e consequente perda significativa de resistência. Alguns ensaios indicam uma queda na resistência final do concreto de até 40% em comparação com concretos que mantiveram a superfície saturada por um período de sete dias.

A duração do período de cura depende de diversos fatores, como a composição e temperatura do concreto, área exposta da peça, temperatura e umidade relativa do ar, insolação e velocidade do vento.

#### **4.7.5.1.6 Controle do concreto**

O Tecnologista do Concreto poderá orientar sobre os procedimentos de controle de qualidade do concreto, critérios de aceitação de lotes e





ensaios a serem realizados, especialmente no caso de não conformidade e eventual necessidade de extração de corpos de prova para rompimento.

O controle do concreto deve seguir as premissas constantes na norma NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.

Conforme esta norma, item 4.4, os responsáveis pelo recebimento e pela aceitação do concreto são o proprietário da obra e o responsável técnico pela obra, devendo manter a documentação comprobatória (relatórios de ensaios, laudos e outros) por 5 anos.

O projetista estrutural só deve ser acionado quando existir uma situação de concreto não conforme.

Para os casos de concreto não conforme deve ser seguida a norma NBR 7680:2015 – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência a Compressão Axial e a Recomendação da ABECE.

#### **4.7.5.1.7 Proteção das armaduras**

Devem ser adotados pela construtora, pós-execução da estrutura, cuidados para que não se tenha perda de durabilidade por corrosão da armadura:

- Evitar escoamento de água pluvial pelo concreto, através da execução de pingadeiras ou outras proteções adequadas;



- Impermeabilizar as faces de concreto expostas ao tempo ou em contato permanente com água;
- Colmatar fissuras visíveis, acima dos limites normativos da ABNT NBR 6118:2014 para evitar processos corrosivos.



## 5 ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA



## 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

<b>Tipo:</b> PRESTAÇÃO DE SERVIÇO	<b>Participação Técnica:</b> INDIVIDUAL/PRINCIPAL		
<b>Convênio:</b> NÃO É CONVÊNIO	<b>Motivo:</b> NORMAL		
<b>Contratado</b>			
<b>Carteira:</b> RS187192	<b>Profissional:</b> ROBSON ALEX CASTRO SOARES		
<b>RNP:</b> 2210505801	<b>Título:</b> Engenheiro Civil		
<b>Empresa:</b> ENGEMOST SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA	<b>E-mail:</b> engemost@gmail.com		
	<b>Nr.Reg.:</b> 238354		
<b>Contratante</b>			
<b>Nome:</b> MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA	<b>E-mail:</b> gabinete@novaramada.rs.gov.br		
<b>Endereço:</b> AVENIDA GUSTAVO KONIG 95	<b>Telefone:</b> 05533381022		
<b>Cidade:</b> NOVA RAMADA	<b>Bairro:</b> CENTRO		
	<b>CPF/CNPJ:</b> 01611828000149		
	<b>CEP:</b> 98758000 <b>UF:</b> RS		
<b>Identificação da Obra/Serviço</b>			
<b>Proprietário:</b> MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA	<b>CPF/CNPJ:</b> 01611828000149		
<b>Endereço da Obra/Serviço:</b> Avenida GUSTAVO KONIG 95	<b>CEP:</b> 98758000 <b>UF:</b> RS		
<b>Cidade:</b> NOVA RAMADA	<b>Bairro:</b> CENTRO		
<b>Finalidade:</b> OUTRAS FINALIDADES	<b>Vlr Contrato(R\$):</b> 45.567,20		
<b>Data Início:</b> 20/07/2022	<b>Prev.Fim:</b> 20/09/2022		
	<b>Honorários(R\$):</b>		
	<b>Ent.Clas:</b>		
<b>Atividade Técnica</b>	<b>Descrição da Obra/Serviço</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>
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	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



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  
Endereço da Obra/Serviço: Avenida GUSTAVO KONIG 95 CPF/CNPJ: 01611828000149  
Cidade: NOVA RAMADA Bairro: CENTRO CEP: 98758000 UF: RS  
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 TIAGO RODRIGUES BORGES:00725427051 Assinado de forma digital por TIAGO RODRIGUES BORGES:00725427051 Dados: 2022.09.23 14:59:22 -03'00'	De acordo 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:** ENGE MOST 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**

ENGEMOST Soluções em Engenharia  
Av. Açucena, 2917, D401, Canoas/RS  
+55 51 9 9233 2134 / +55 51 9 8190 4061  
[engemost@gmail.com](mailto:engemost@gmail.com)  
[www.engemost.com.br](http://www.engemost.com.br)





## 7 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 a **Projeto Executivo de Engenharia – Estudo Hidrológico – Projeto de OAE**, 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 96 páginas, incluindo esta, numeradas sequencialmente.

Canoas, 21 de setembro de 2022.

**ROBSON ALEX  
CASTRO**  
SOARES:02052142070

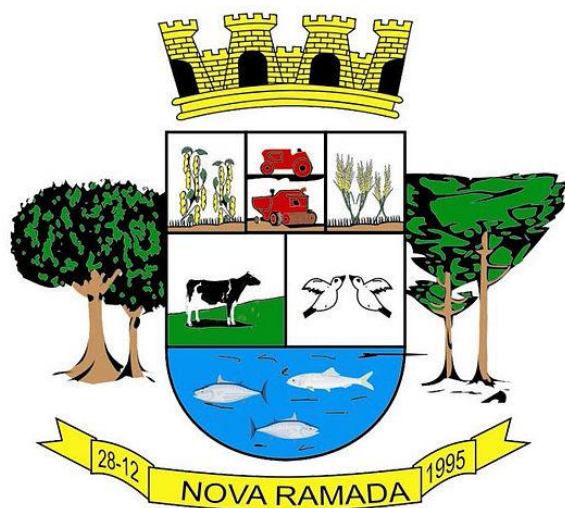
Assinado digitalmente por ROBSON ALEX CASTRO  
SOARES:02052142070  
ND: C=BR, O=CP-Brasil, OU=31057526000131, OU=Secretaria da Receita  
Federal do Brasil - RFB, OU=RFB e CPF A3, OU=(EM BRANCO), OU=  
Assinado digitalmente por ROBSON ALEX CASTRO SOARES:02052142070  
Assinado digitalmente por ROBSON ALEX CASTRO SOARES:02052142070  
Localização: Canoas/RS  
Data: 2022.09.21 16:22:49-03'00'  
Foxit PDF Reader Versão: 12.0.1

**Robson Soares**  
Responsável Técnico – CREA-RS 187.192

**TIAGO RODRIGUES  
BORGES:00725427051**

Assinado de forma digital por TIAGO  
RODRIGUES BORGES:00725427051  
Dados: 2022.09.23 14:58:32 -03'00'

**Tiago Borges**  
Responsável Técnico – CREA-RS 154.518



**ENGE**MOST****  
**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

<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	INFORMAÇÕES GERAIS .....	14
1.2	VOLUMES COMPONENTES DO PROJETO .....	15
<b>2</b>	<b>MAPA DE SITUAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O RIO FAXINAL .....</b>	<b>19</b>
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	<b>MEMORIAL DE CÁLCULO – PONTE SOBRE O RIO PINHALZINHO...</b>	<b>71</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	71
4.2	MODELO COMPUTACIONAL.....	72



<b>4.2.1</b>	<b><i>Superestrutura</i></b>	<b>75</b>
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
<b>4.2.2</b>	<b><i>Mesoestrutura</i></b>	<b>87</b>
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
<b>4.3</b>	<b>SUPERESTRUTURA</b>	<b>91</b>
<b>4.3.1</b>	<b><i>Vigas</i></b>	<b>91</b>
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 ALEX  
CASTRO**  
SOARES:02052142070

Assinado digitalmente por ROBSON ALEX CASTRO  
SOARES:02052142070  
ND: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=31057526000131, OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, OU=RFB e-CPF 13, OU=(EM BRANCO), OU=videoconferencia, CN=ROBSON ALEX CASTRO SOARES:02052142070  
Razão: Eu sou Responsável Técnico da empresa  
Localização: Canoas/RS  
Data: 2022.09.23 16:18:09-03'00'  
Foxit PDF Reader Versão: 12.0.1

**Robson Soares**

Responsável Técnico – CREA-RS 187.192

**TIAGO RODRIGUES  
BORGES:00725427  
051**

Assinado de forma digital por  
TIAGO RODRIGUES  
BORGES:00725427051  
Dados: 2022.09.23 16:14:42  
-03'00'

**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.



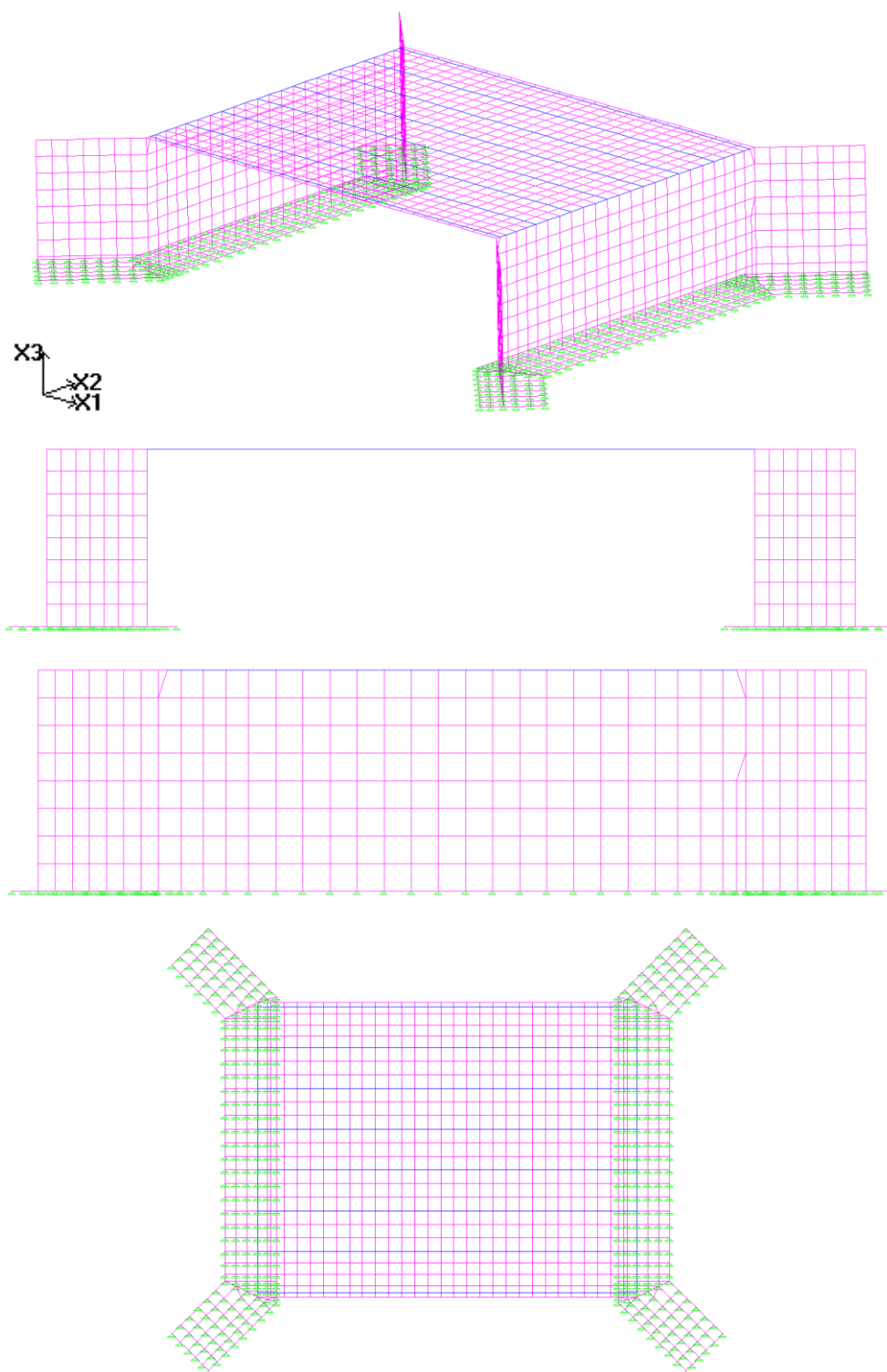


Figura 1 – Modelo de barras e elementos de placa

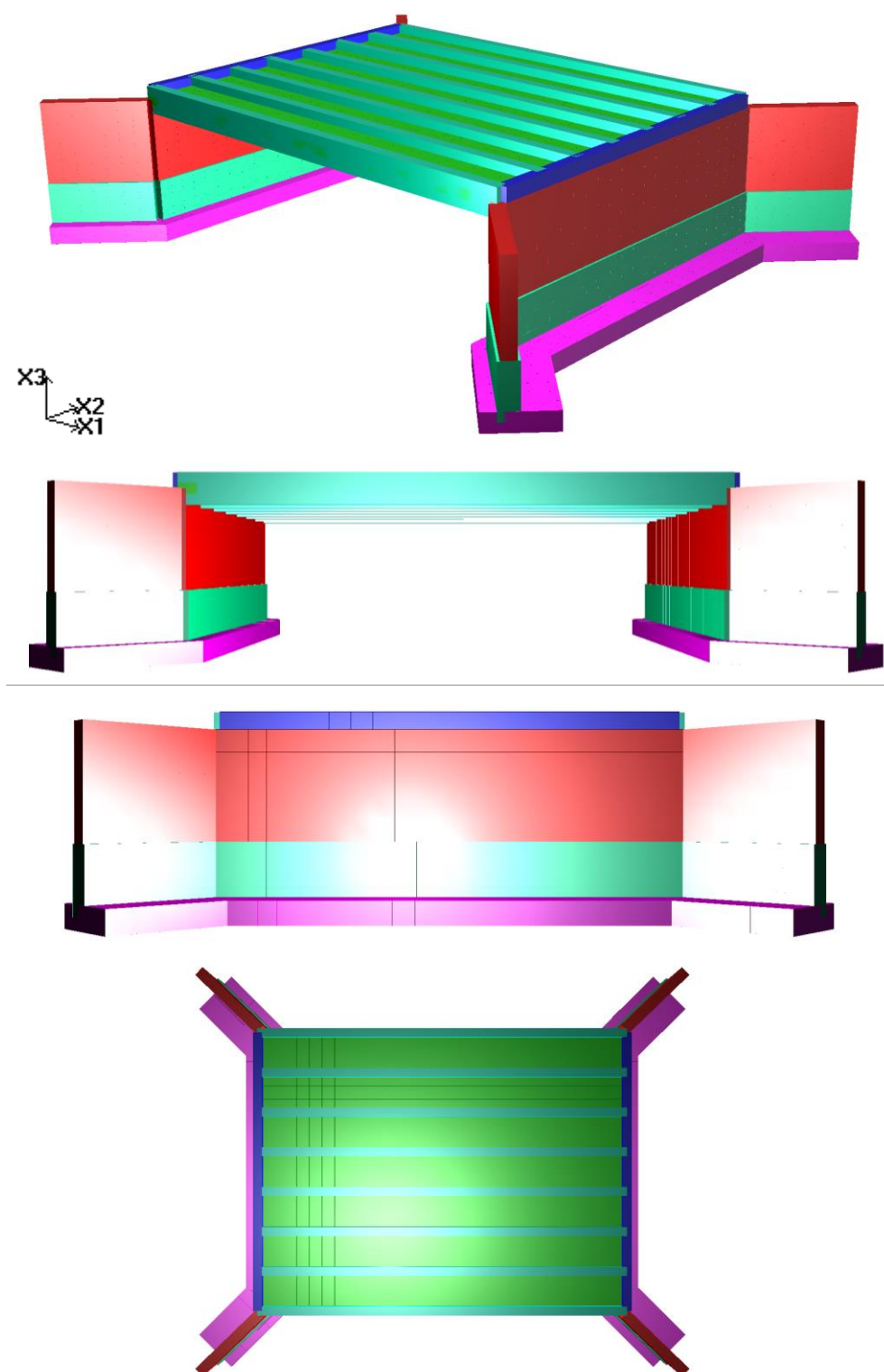


Figura 2 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado



#### 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:

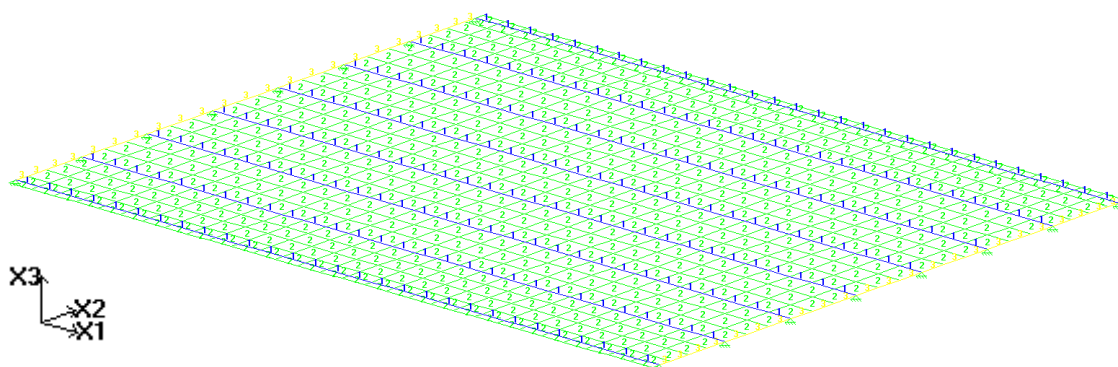
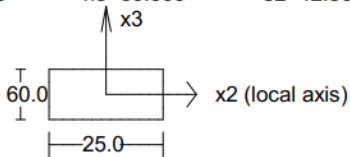
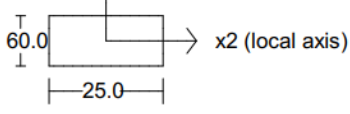


Figura 5 – Visualização das propriedades geométricas da OAE



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

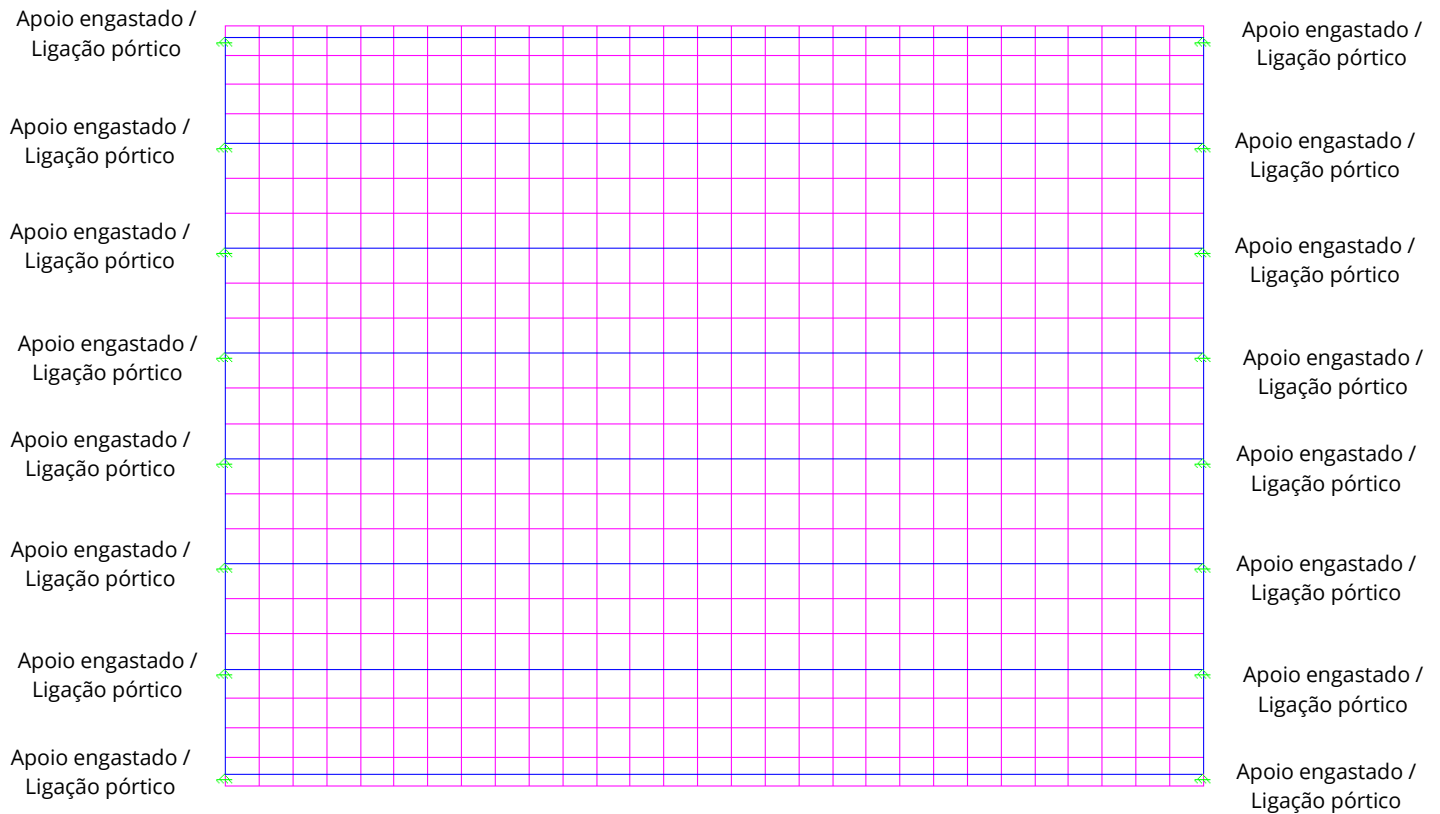


Figura 6 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da superestrutura

### 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

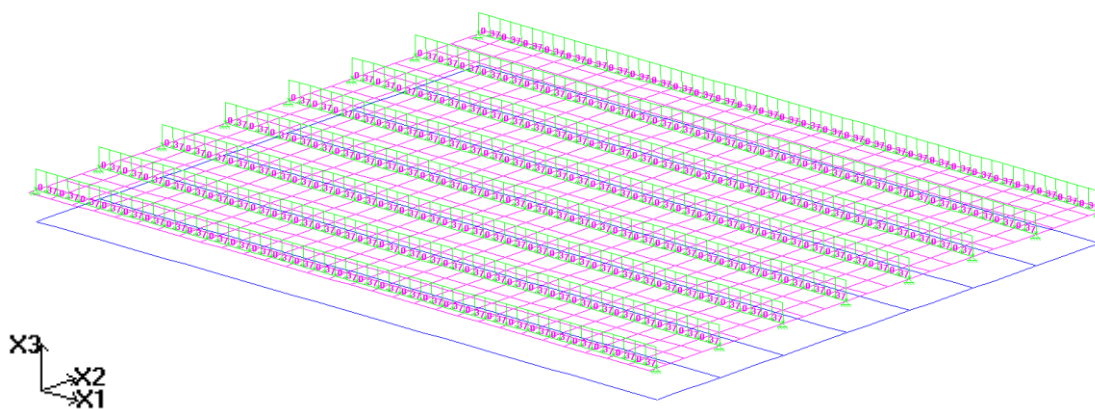


Figura 7 – Módulo de Cargas: Peso próprio das vigas

#### 3.2.1.5.2 Peso próprio das transversinas

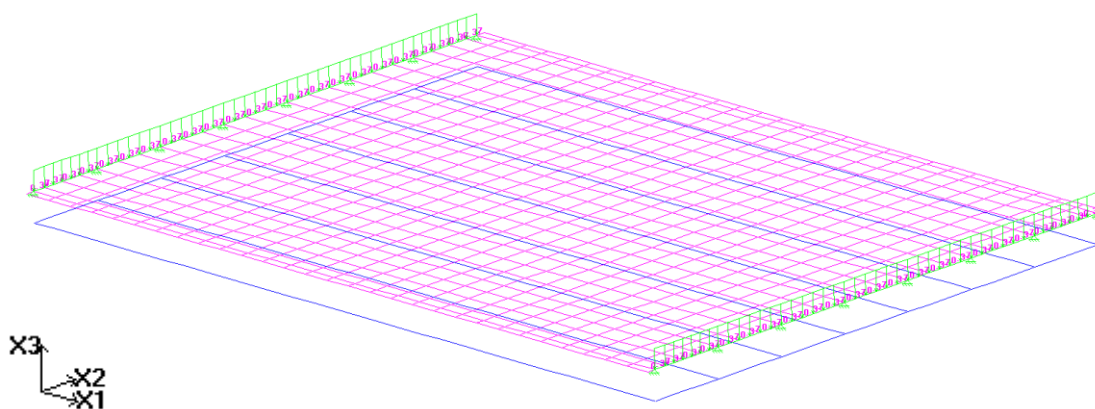


Figura 8 – Módulo de Cargas: Peso próprio das transversinas



### 3.2.1.5.3 Peso próprio da laje principal

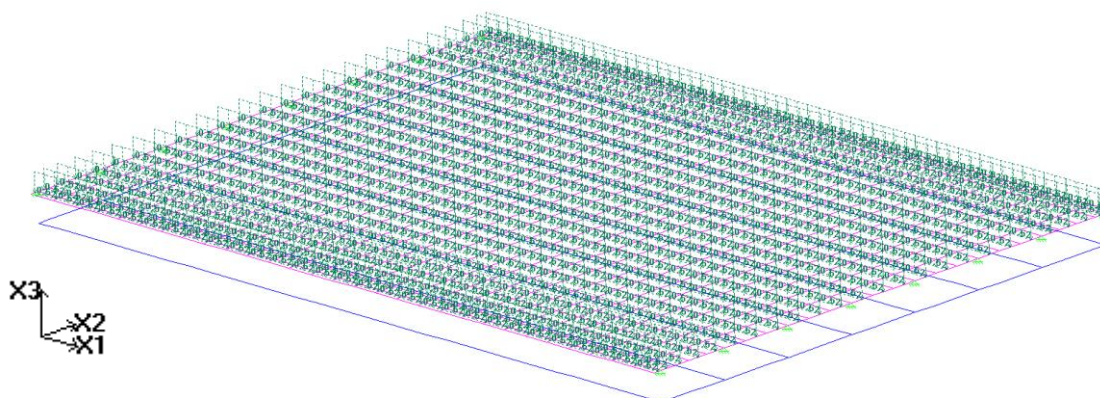


Figura 9 – Módulo de Cargas: Peso próprio da laje principal

### 3.2.1.5.4 Peso próprio da pavimentação

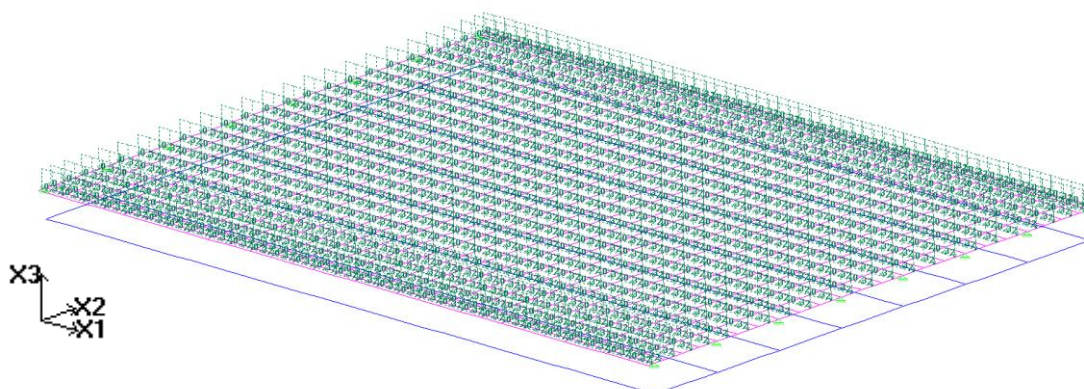


Figura 10 – Módulo de Cargas: Peso próprio da pavimentação



### 3.2.1.5.5 Peso próprio da barreira rígida “New Jersey”

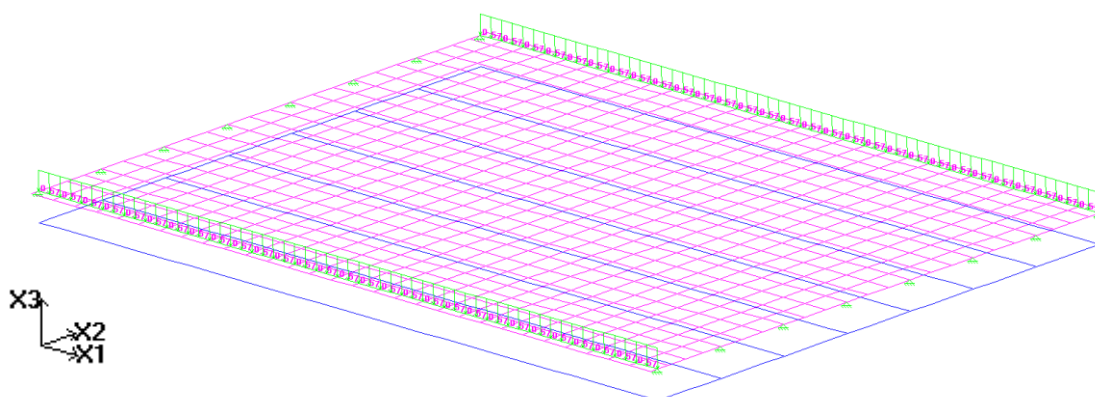


Figura 11 – Módulo de Cargas: Peso próprio da barreira rígida

### 3.2.1.5.6 Frenagem e aceleração

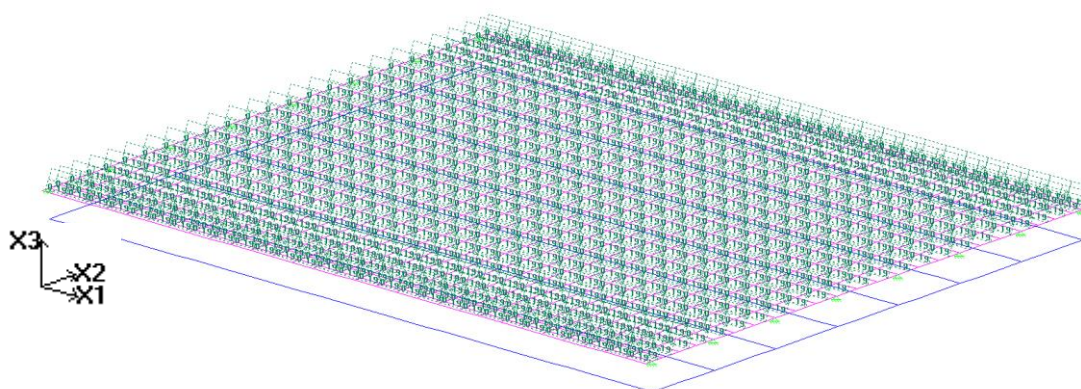


Figura 12 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração

### 3.2.1.5.7 Vento

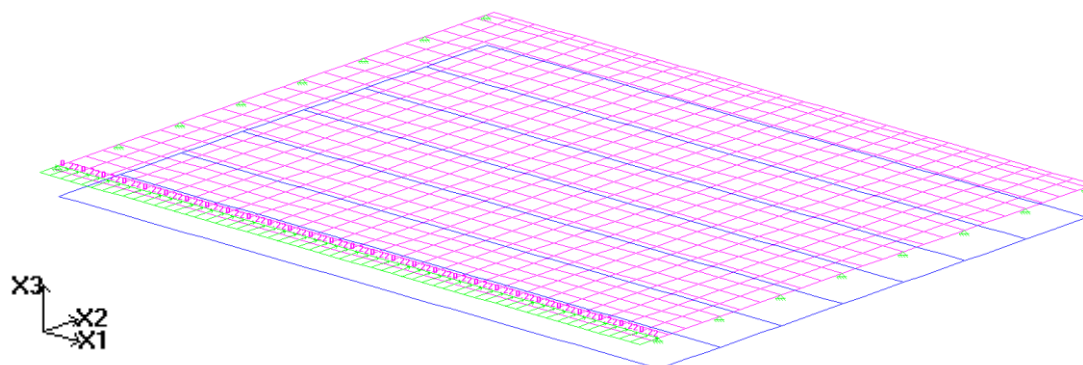


Figura 13 – Módulo de Cargas: Vento

### 3.2.1.5.8 Temperatura

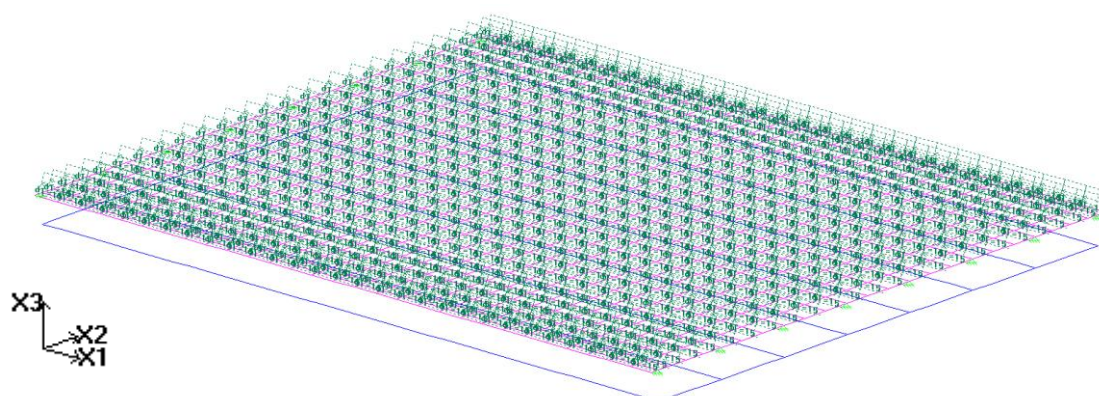


Figura 14 – Módulo de Cargas: Temperatura

### 3.2.1.5.9 Retração e fluência

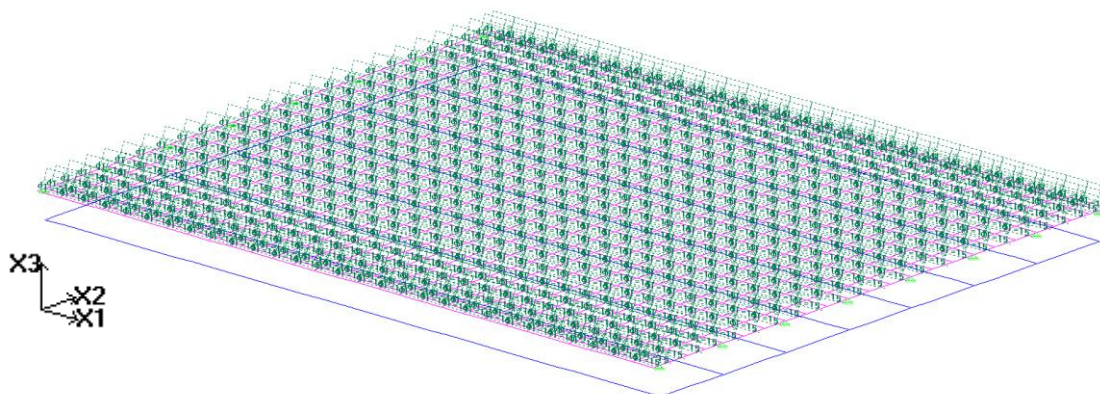


Figura 15 – Módulo de Cargas: Retração e fluência

### 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.

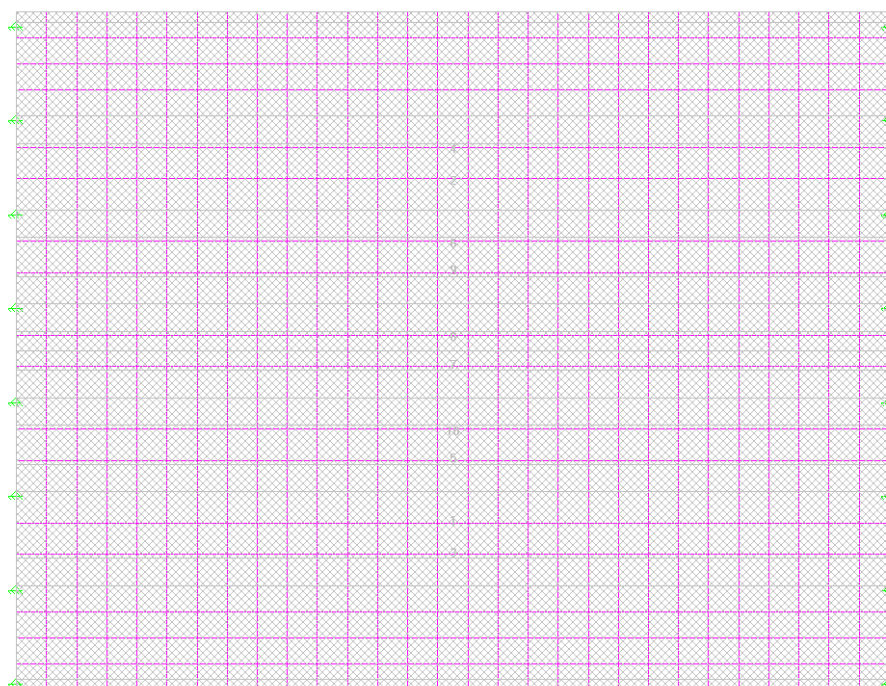


Figura 16 – Módulo de Pontes: Faixas





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

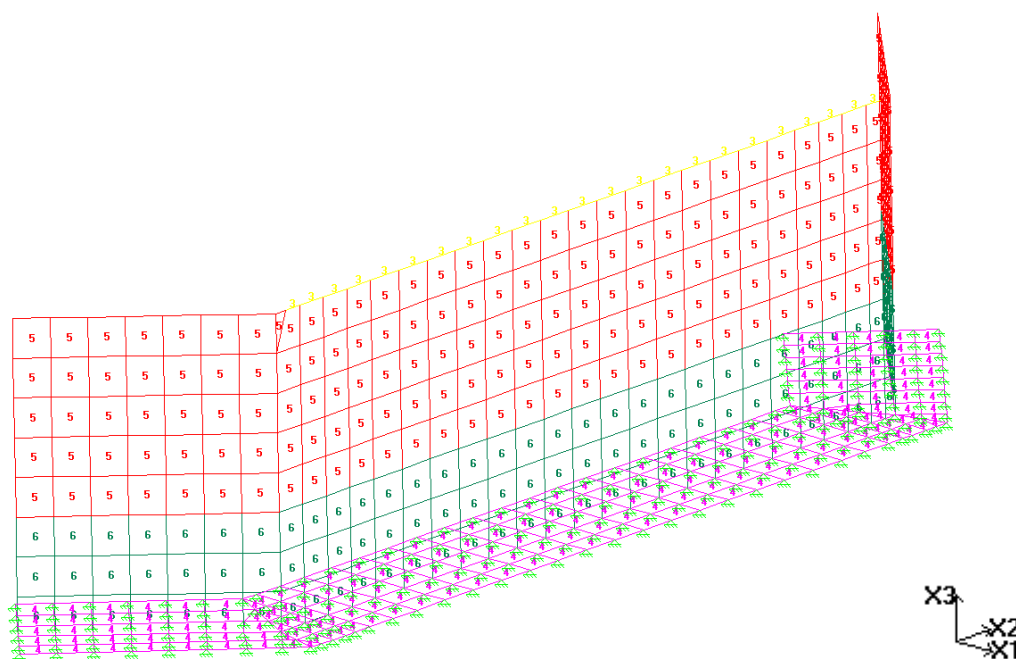


Figura 18 – Modelo computacional da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2

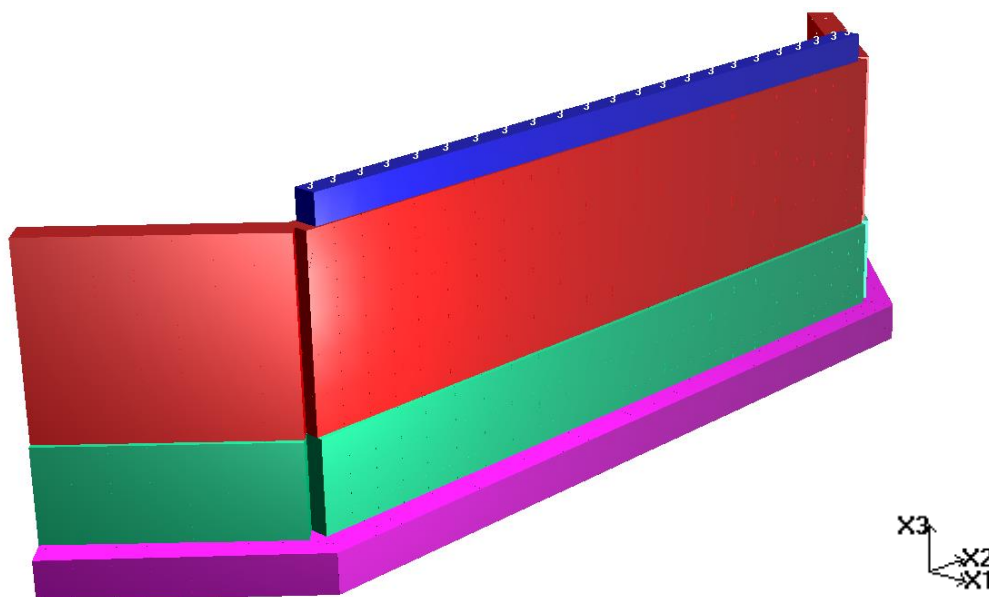
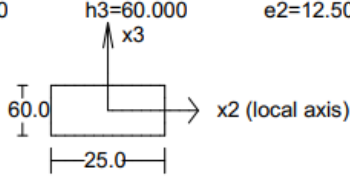
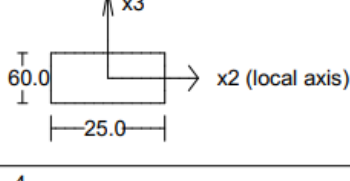


Figura 19 – Modelo computacional renderizado da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2



### 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

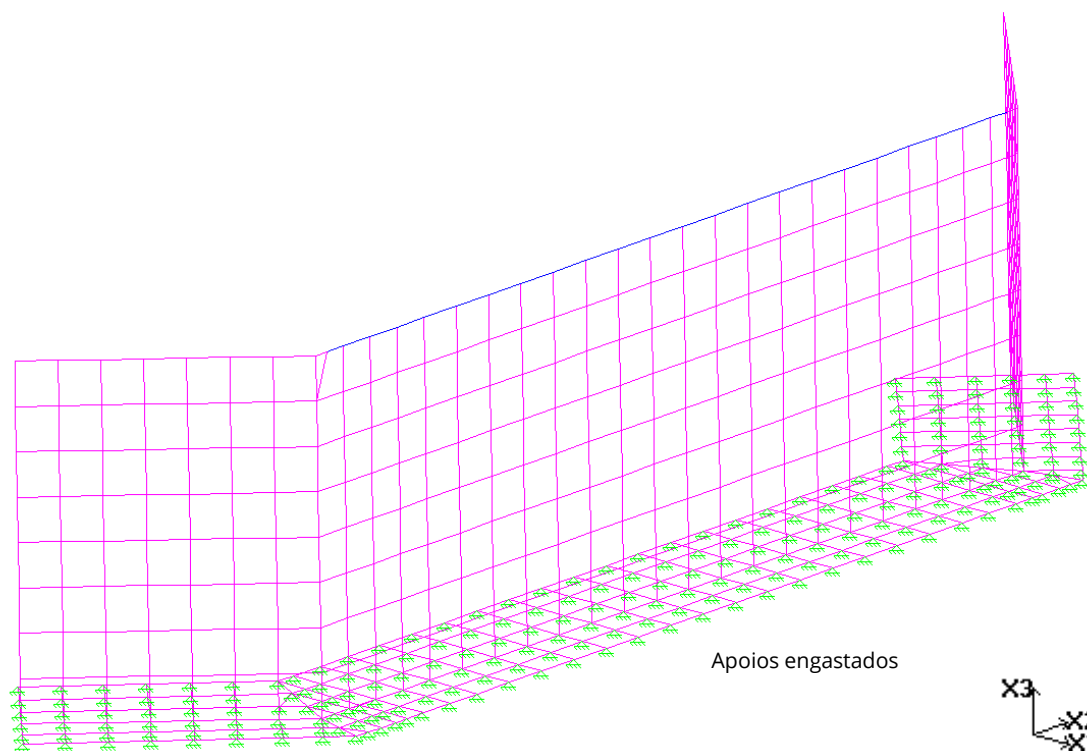


Figura 20 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da mesoestrutura

### 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

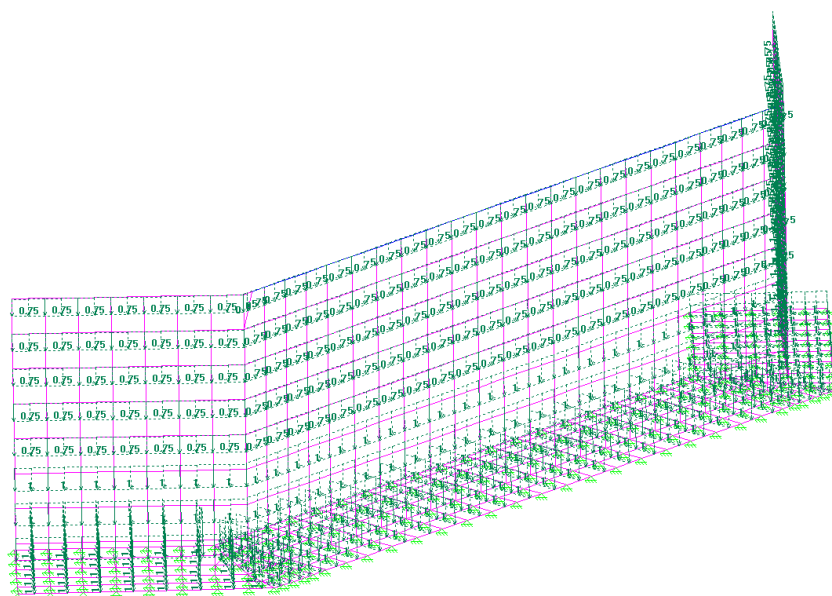


Figura 21 – Módulo de Cargas: Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura.

#### 3.2.2.5.2 Empuxo de terra

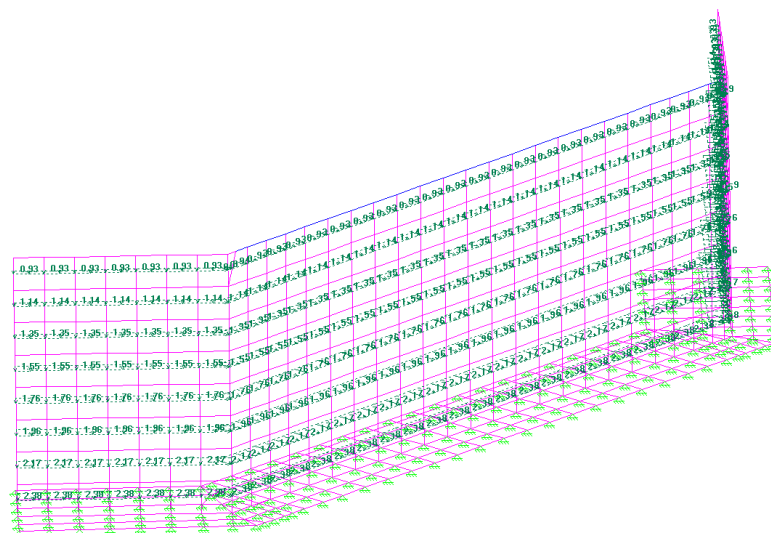


Figura 22 – Módulo de Cargas: Empuxo de terra

### 3.3 Superestrutura

#### 3.3.1 Vigas

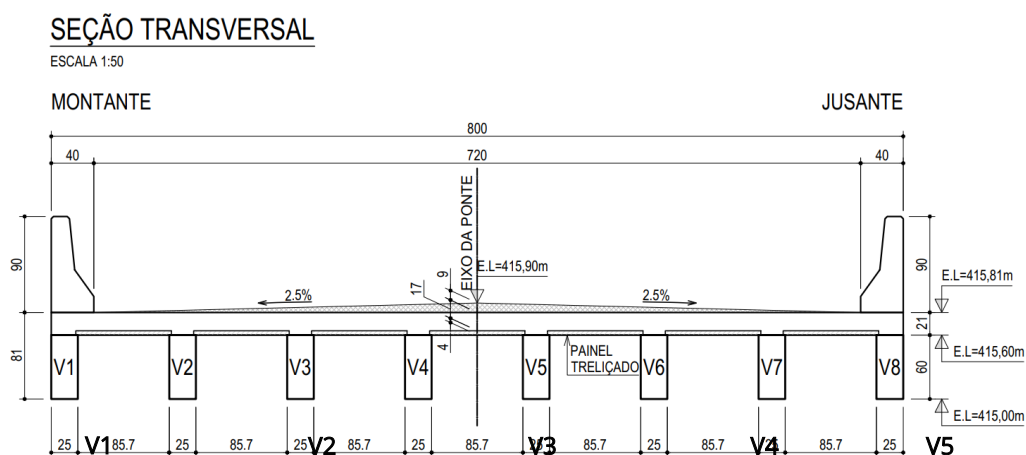
O valor do módulo de elasticidade do concreto foi obtido na tabela apresentada abaixo:

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

Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
Eci (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
Ecs (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
$\alpha_i$	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 23 – Seção da transversal no vão da OAE**

### 3.3.1.1 Resultados

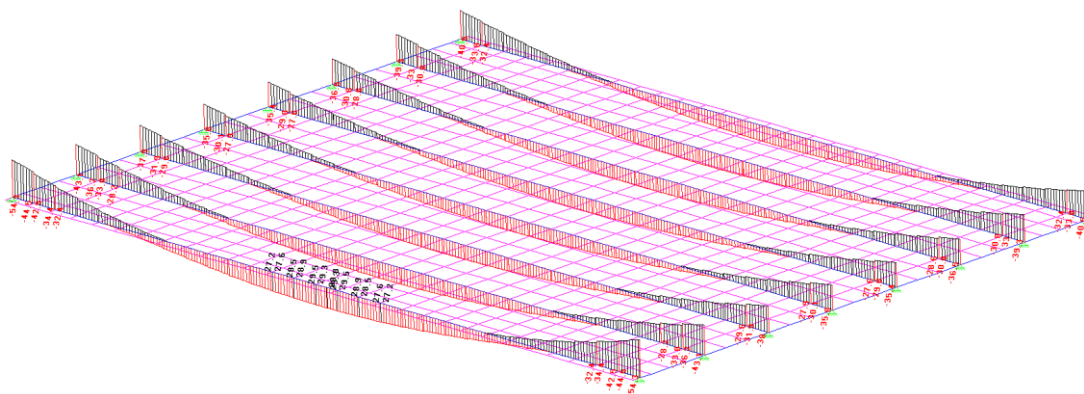


Figura 24 – Momento Fletor M2 – ELU

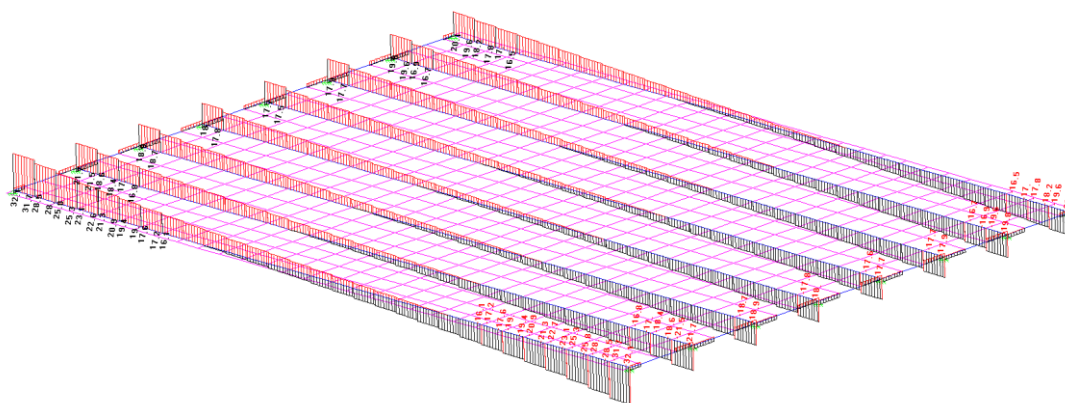


Figura 25 – Esforço Cortante V3 – ELU

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.

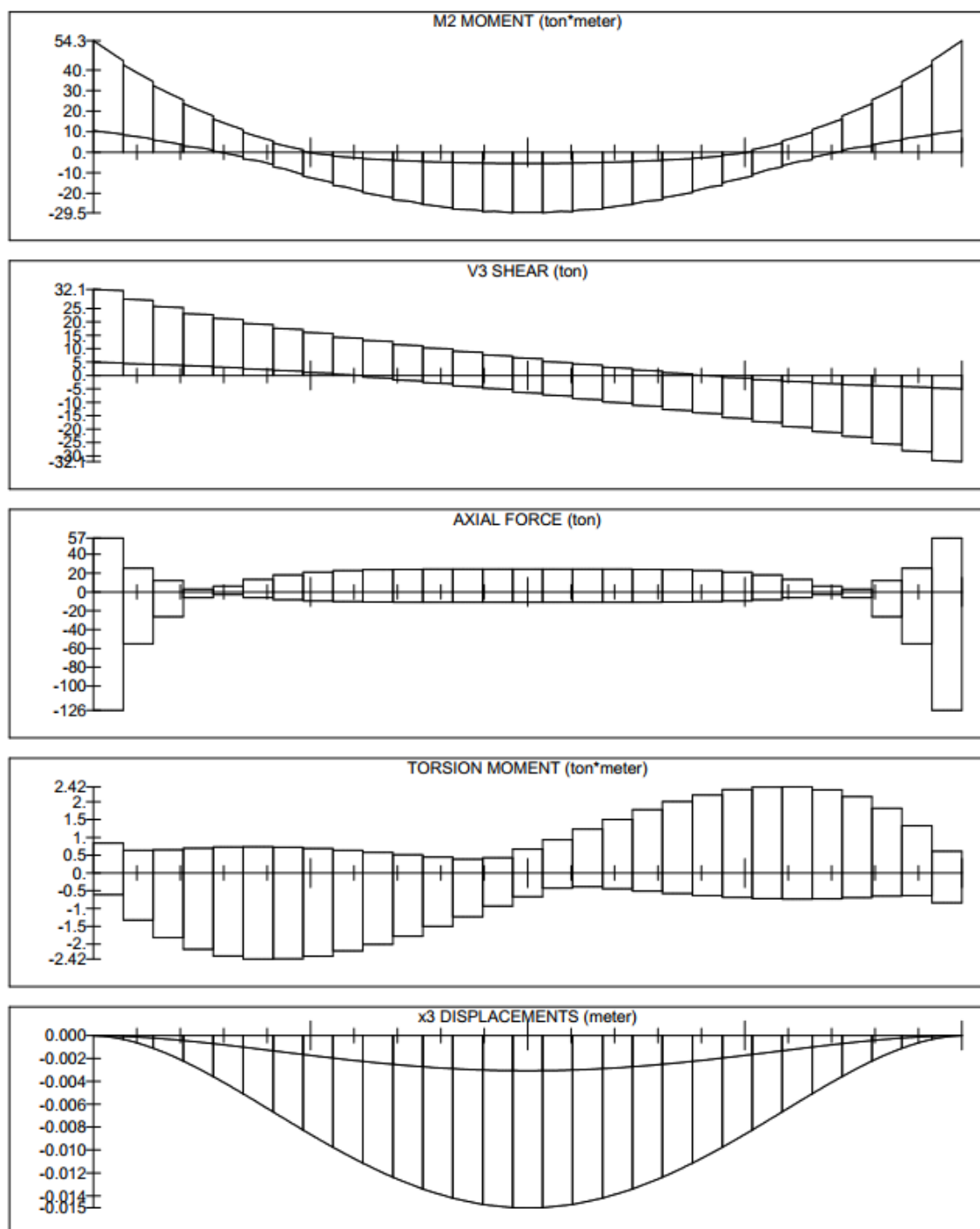
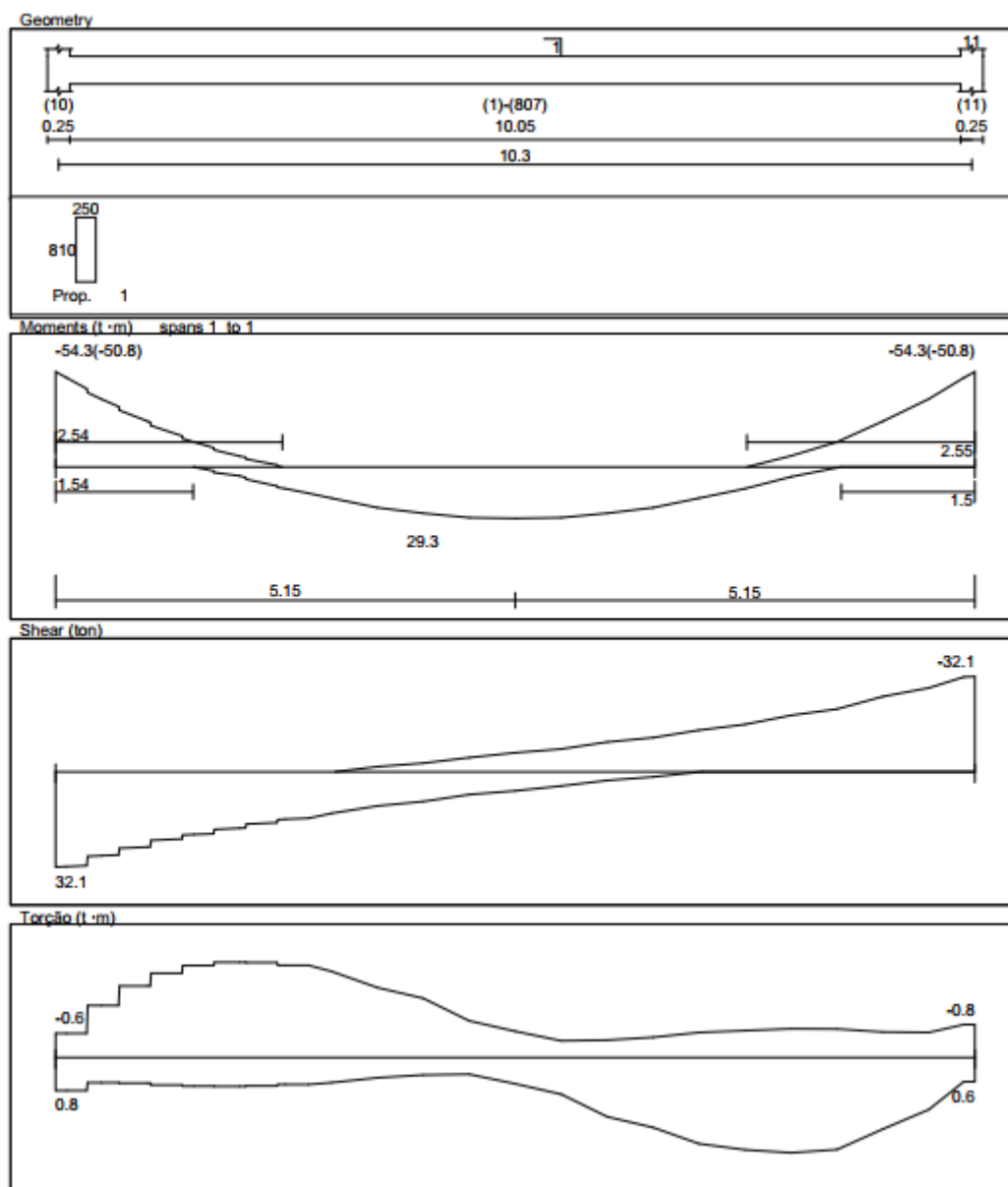
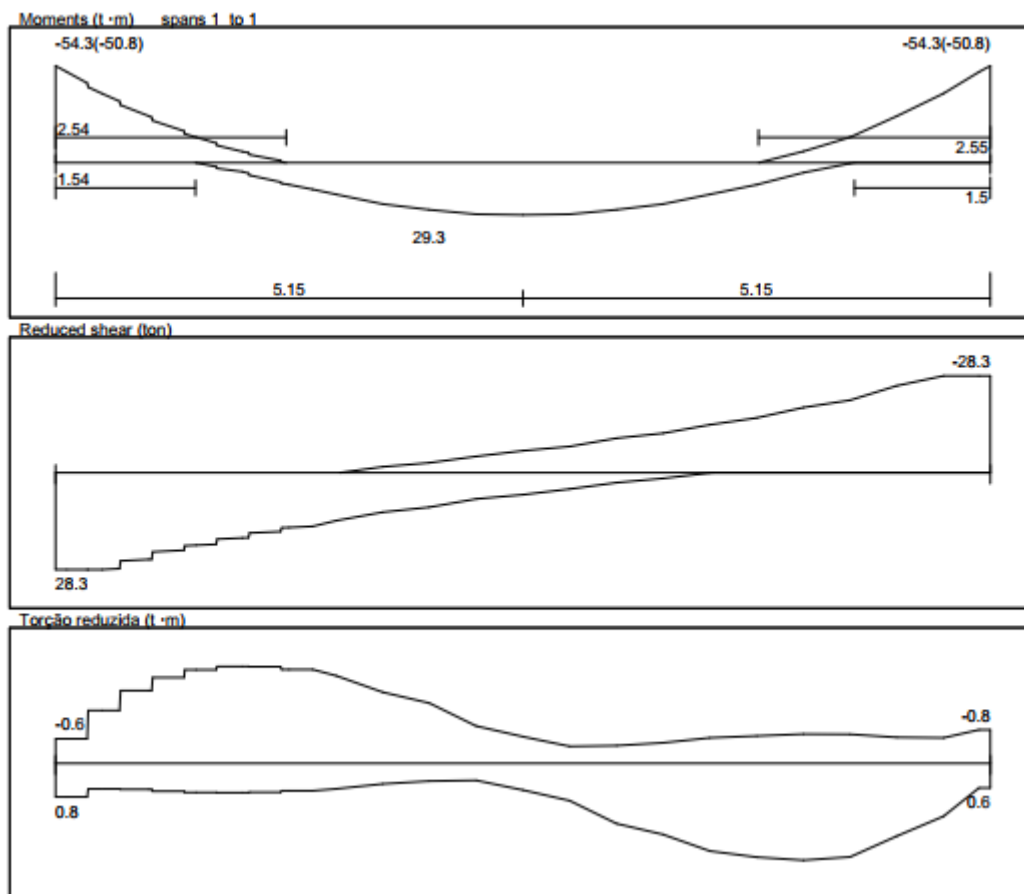


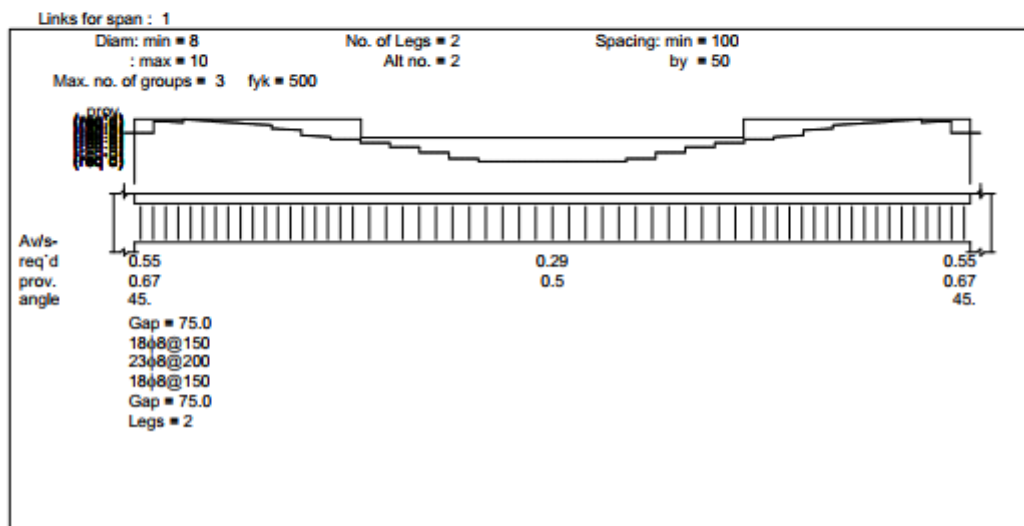
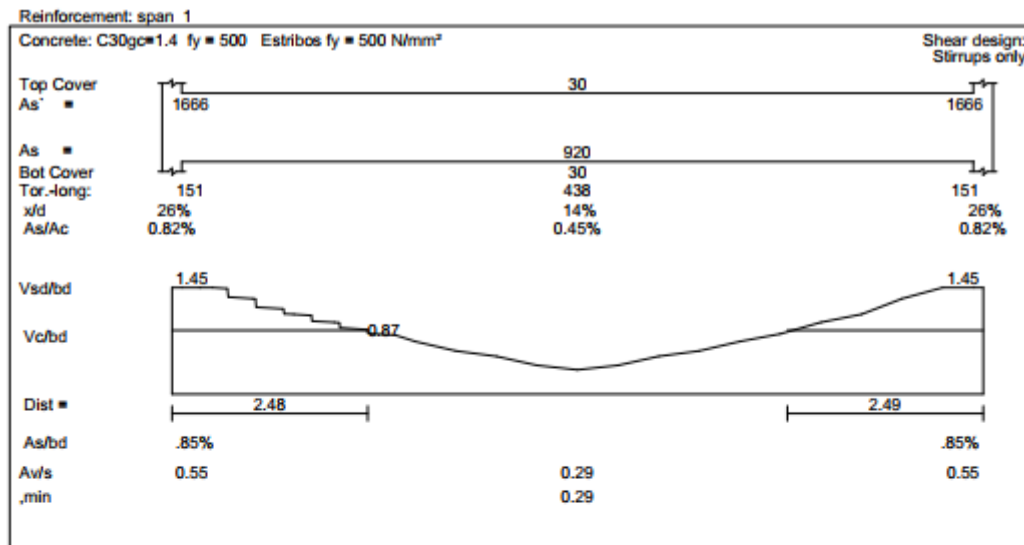
Figura 26 – Solicitações nas Vigas – ELU



### 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

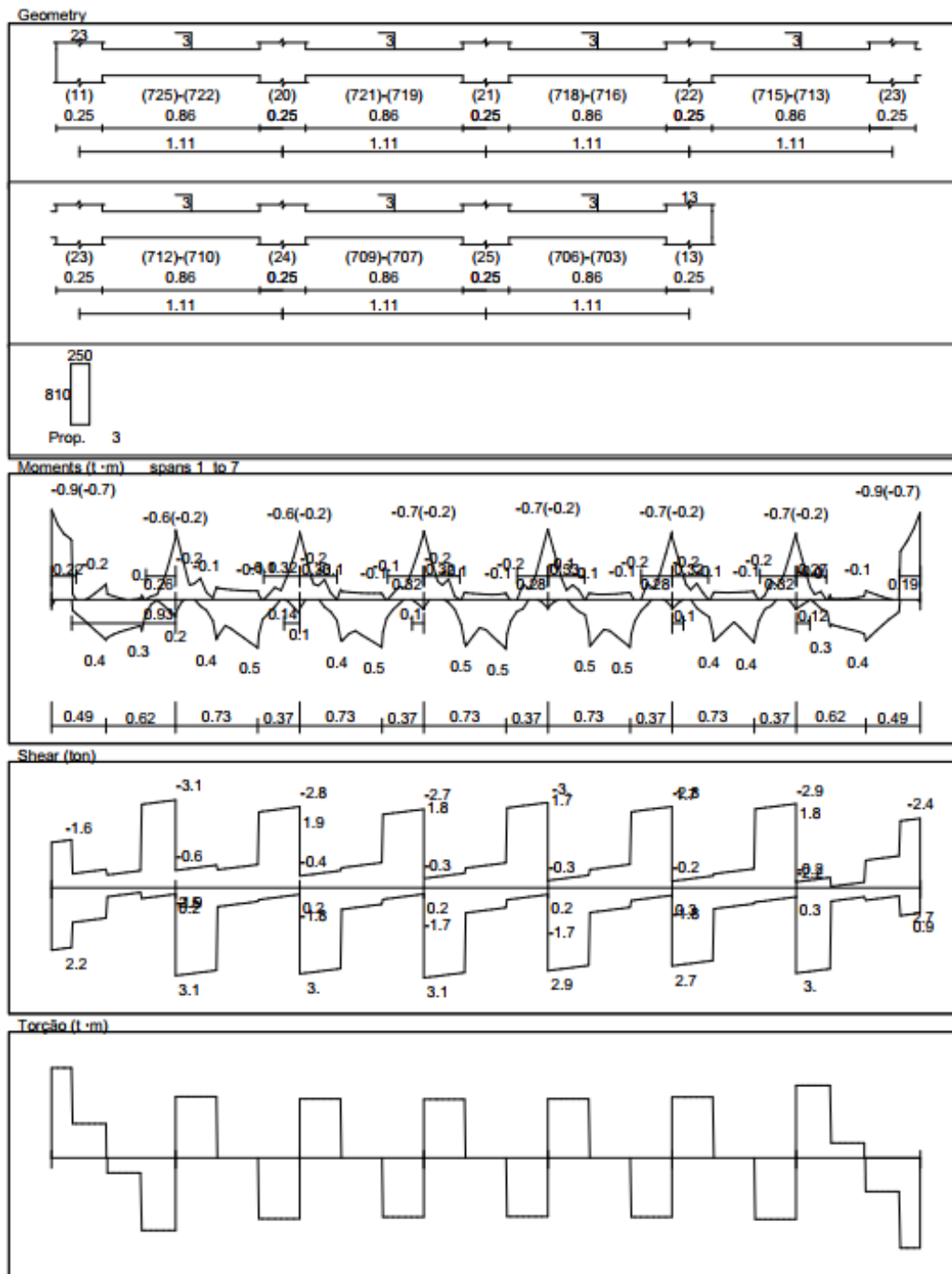
Deformação imediata: aplicar 100% de perm; 100% de acid  
 Deformação de longa duração:  
 - Longa duração : 100% de perm; 0 % de acid  
 - Duração da carga: 60 meses  
 Fat. de perm = 1.4 Fat. de acid = 1.6 Perm./Total = 0.8  
 fr = 0.29 Ec = 30672 Es = 210000

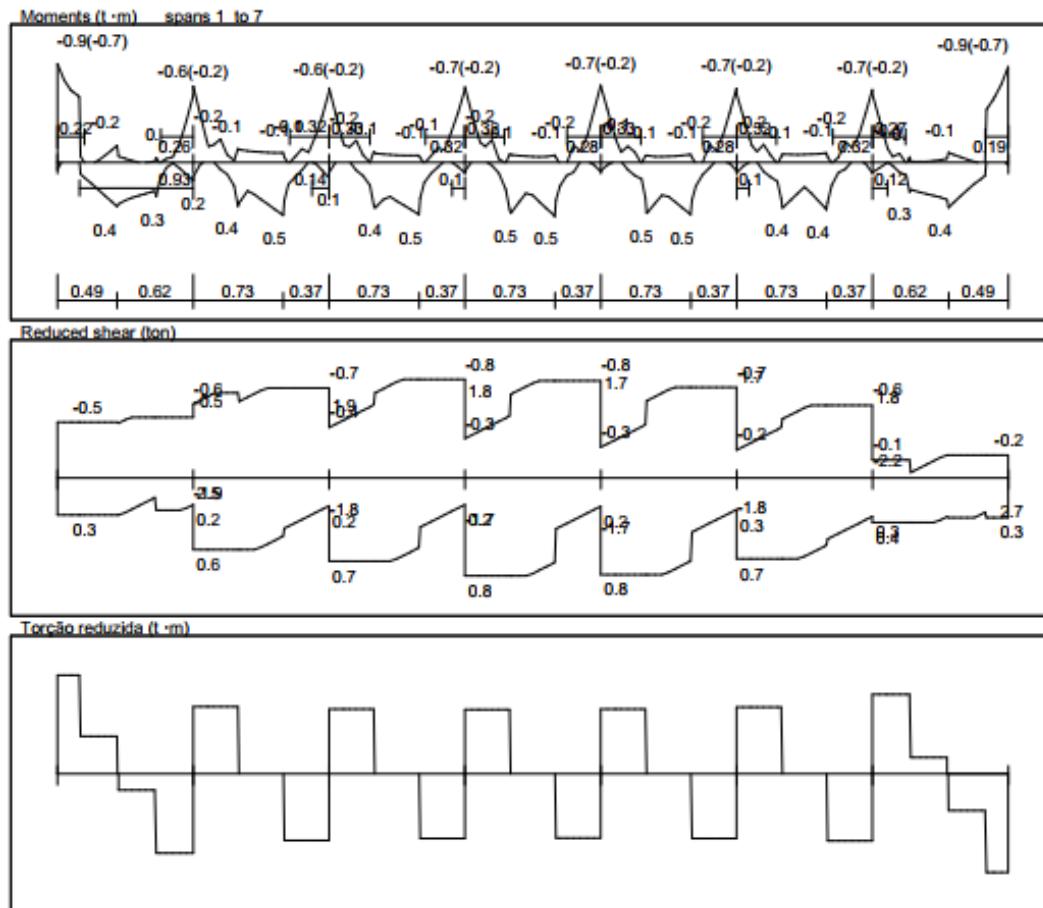
### 3.3.1.3 Armadura adotada

- 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







Reinforcement: spans 1 - 4

Concrete: C30gc=1.4  $f_y = 500$  Estribos  $f_y = 500$  N/mm<sup>2</sup>

Shear design: Stirrups only

Top Cover	30	30	30	30	30	30	30	30	30
As	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*	349*
Bot Cover	30	30	30	30	30	30	30	30	30
* = min. reinforcement									
Tor.-long:	597	597	461	349	349	328	328	326	315
x/d	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%
Vc/bd	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Vsd/bd	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
Dist									
As/bd	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%	.18%
Av/s	0.69	0.29	0.53	0.4	0.29	0.4	0.38	0.29	0.38
,min		0.29		0.29		0.29		0.29	0.36

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

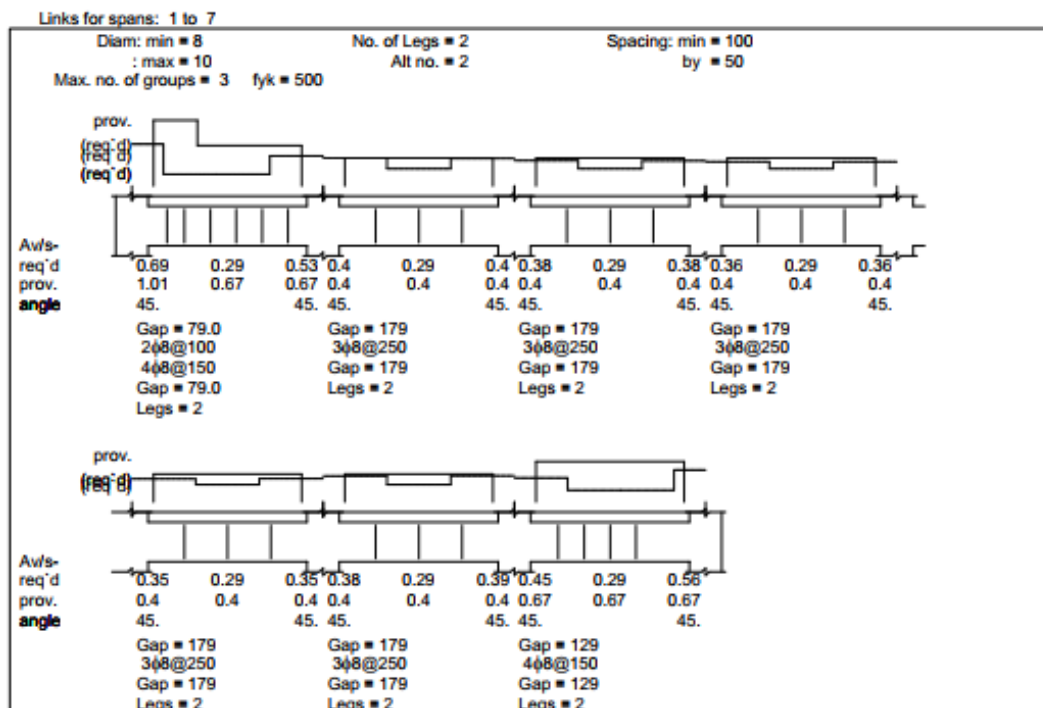
Reinforcement: spans 5 - 7

Concrete: C30gc=1.4  $f_y = 500$  Estribos  $f_y = 500$  N/mm<sup>2</sup>

Shear design: Stirrups only

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

\*\* 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
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
  - $A_{s\text{apoio e vão}} = 2 \text{ ramos } \phi 10,0\text{mm } c/ 10,0\text{cm}$

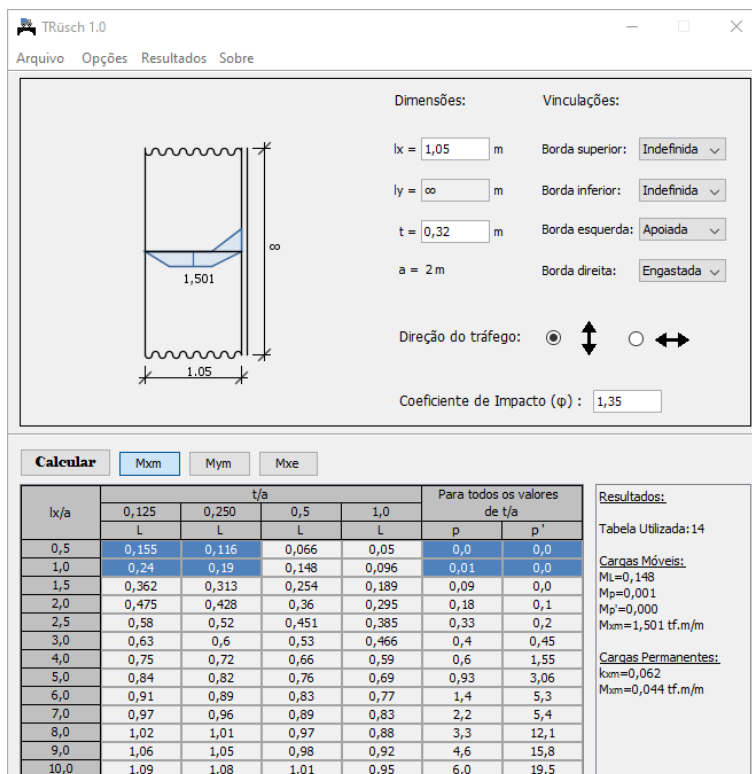
### 3.3.3 Laje principal

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:** ☒  $\updownarrow$  ☐  $\leftrightarrow$

**Coefficiente de Impacto ( $\phi$ ):** 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.

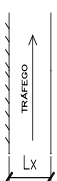
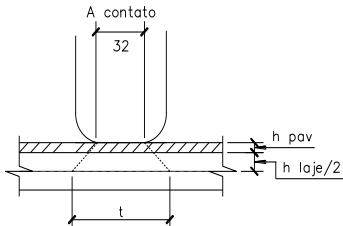
O programa possui uma saída gráfica para os diagramas de momentos fletores, onde são indicados os diagramas devidos aos carregamentos móvel e permanente.

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.

<b>DADOS DE ENTRADA:</b>	$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$	
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

$$M_p = 0$$

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

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

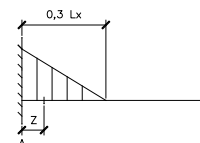
$$M_{xeA} = -2,531 \text{ tm/m}$$

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

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

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

$$K_f = 1,343$$

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

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

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



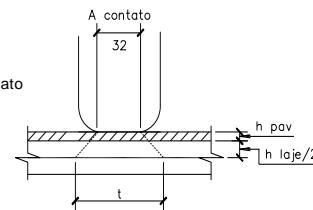
### 3.3.4 Laje de transição

<b>DADOS DE ENTRADA:</b>	$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$	
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**

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

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

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

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

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

<b>Mxm</b> →	d = 0,219 m	b <sub>w</sub> = 1,00 m	
	M <sub>xmd</sub> = 5,16 tm		
	A <sub>s</sub> ' = 5,59 cm <sup>2</sup> /m		
	K <sub>f</sub> = 1,000		
	A <sub>s</sub> = 5,59 cm <sup>2</sup> /m	Ø 12,5mm C/ 22,00cm	*longitudinal
<b>Mym</b> →	d = 0,206 m	b <sub>w</sub> = 1,00 m	
	M <sub>ymd</sub> = 2,45 tm		
	A <sub>s</sub> ' = 2,78 cm <sup>2</sup> /m		
	K <sub>f</sub> = 1,011		
	A <sub>s</sub> = 2,81 cm <sup>2</sup> /m	Ø 12,5mm C/ 44,0cm	*transversal
<b>Mxr</b> →	d = 0,22 m	b <sub>w</sub> = 1,00 m	
	M <sub>xmd</sub> = 5,28 tm		
	A <sub>s</sub> ' = 5,73 cm <sup>2</sup> /m		
	K <sub>f</sub> = 1,000		
	A <sub>s</sub> = 5,73 cm <sup>2</sup> /m	Ø 12,5mm C/ 22,0cm	*longitudinal

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

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

#### Altura da linha neutra

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

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

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

#### Área de Aço

$$As = \frac{Md}{fyd * (d - 0,4 * x)}$$

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

#### Armadura mínima

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

#### Armadura de pele

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

10 x 6,3mm

#### Armação Adotada

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

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

## 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.

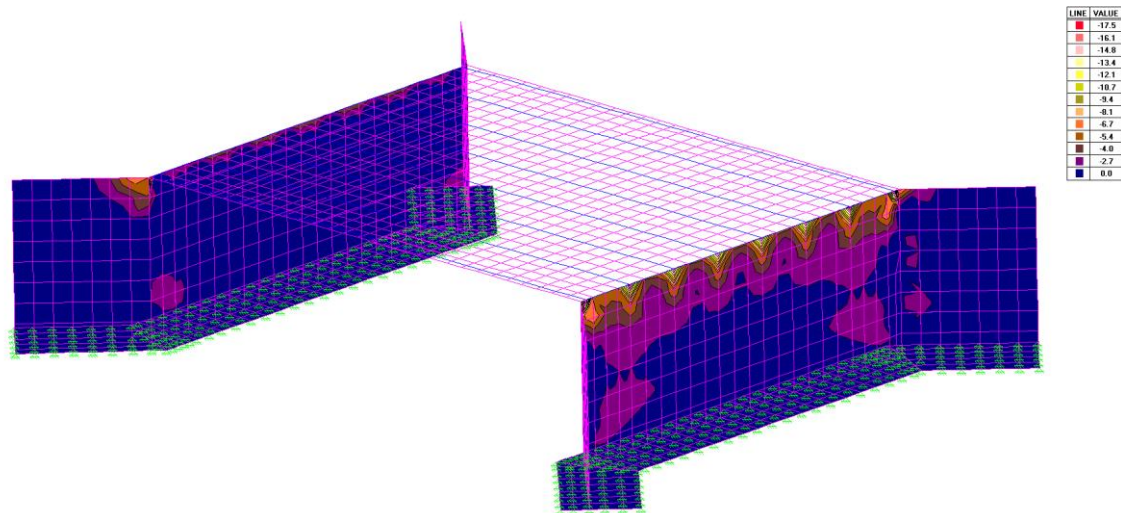


Figura 28 – Momento fletor MX, face +Z (tf.m/m)

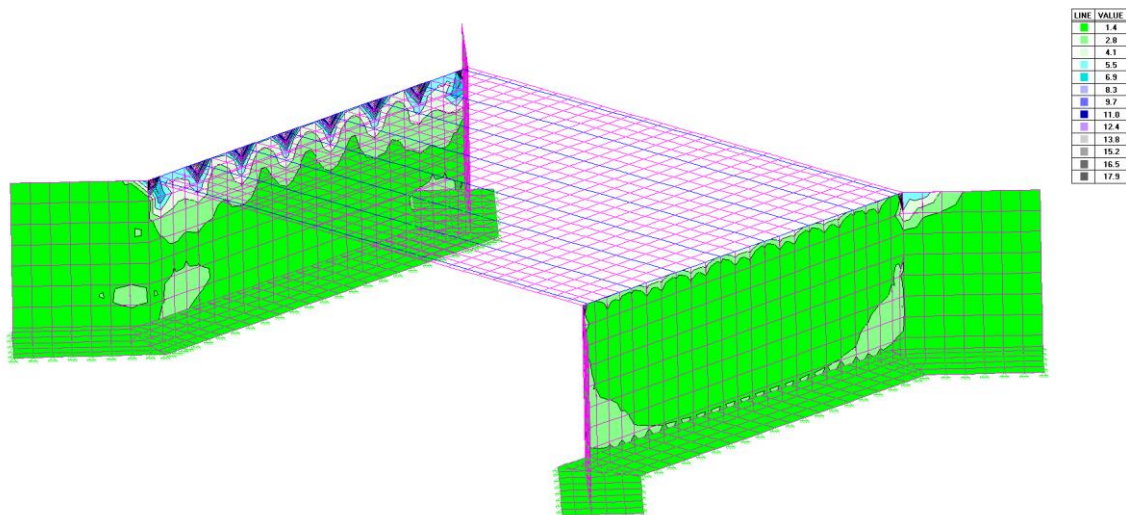


Figura 29 – Momento fletor MX, face -Z (tf.m/m)

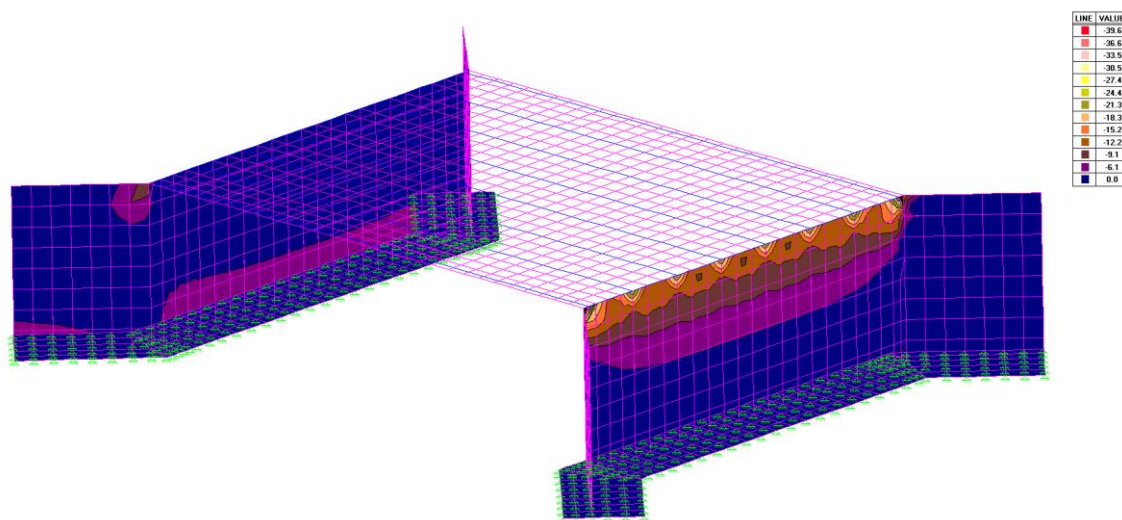


Figura 30 – Momento fletor MY, face+-Z (tf.m/m)

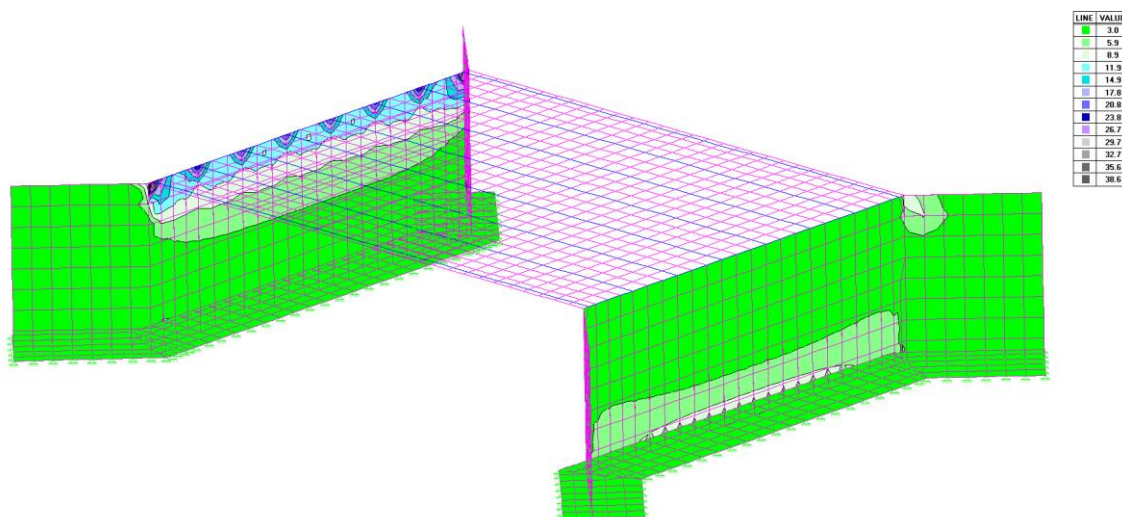


Figura 31 – Momento fletor MY, face--Z (tf.m/m)

### 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 ( $N_c$ ,  $N_\gamma$  e  $N_q$ ) e de forma ( $S_c$ ,  $S_\gamma$  e  $S_q$ ), que expressam:

- Influência da profundidade de assentamento da fundação ( $d_c$ ,  $d_\gamma$  e  $d_q$ );
- Influência da inclinação da carga aplicada em relação à normal ao plano do elemento de fundação ( $i_c$ ,  $i_\gamma$  e  $i_q$ );
- Influência da inclinação do terreno adjacente ao elemento de fundação ( $g_c$ ,  $g_\gamma$  e  $g_q$ );
- Influência da inclinação da base do elemento de fundação em relação a horizontal ( $b_c$ ,  $b_\gamma$  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:

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

Onde:

$q$ : tensão efetiva na cota de assentamento;

$B$ : menor dimensão da fundação;

$\gamma$ : peso específico do solo;

$N_c$ ,  $N_\gamma$ ,  $N_q$ : fatores de capacidade de carga;

$S_c$ ,  $S_\gamma$ ,  $S_q$ : fatores de forma;

$d_c$ ,  $d_\gamma$ ,  $d_q$ : fatores de profundidade;

$i_c$ ,  $i_\gamma$ ,  $i_q$ : fatores de inclinação da carga em relação à base do elemento de fundação;

$g_c$ ,  $g_\gamma$ ,  $g_q$ : fatores de inclinação do terreno adjacente à fundação;

$b_c$ ,  $b_\gamma$ ,  $b_q$ : fatores de inclinação da fundação em relação à horizontal.

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

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

Onde:

$S_u$ : resistência não-drenada do solo;

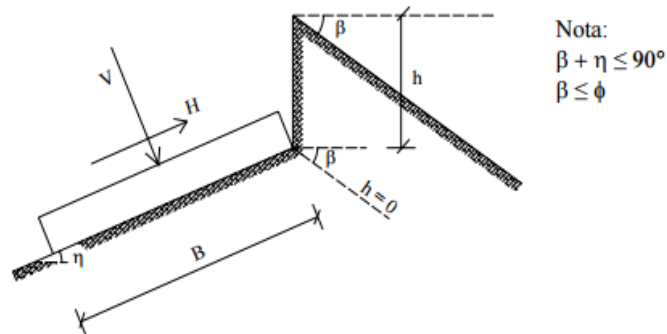


Figura 3.10 – Configuração geral para aplicação do método de Vésic (1974)

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 ( $N_\gamma$ ,  $N_q$ ,  $N_c$ ):

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

- 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:

$\beta$ : 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:

$\eta$ : inclinação da base da fundação em relação à horizontal, conforme indicado na Figura 3.10



**Tabela 2 - Parâmetros do Solo**

Solo	Peso específico $\gamma$ em $t/m^3$	Ângulo de atrito interno $\phi$	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	$\phi$ (°)
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

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

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

**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**

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

**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

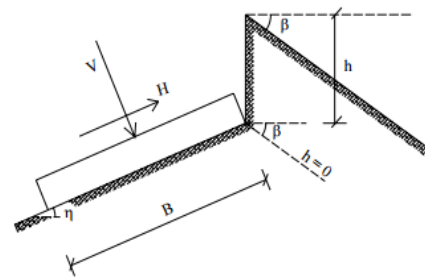
$H \Rightarrow$  Componente tangente à base  
 $V \Rightarrow$  Componente normal à base  
 $A_f \Rightarrow$  Área efetiva de Contato  
 $c_a \Rightarrow$  Coef. de Adesão base – solo

**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.



### 3.5.2 Dimensionamento das sapatas

#### SAPATA E1 E E2 - 140X1300X40

Esforços no pilar		
N =	100.000,00	kgf
M <sub>x</sub> =	1.000,00	kgf.m
M <sub>y</sub> =	5.000,00	kgf.m

Pilar		
a <sub>0</sub> =	1.300,00	cm
b <sub>0</sub> =	30,00	cm
Ø <sub>ARM</sub> =	16,00	mm

Concreto		
f <sub>ck</sub> =	30,00	Mpa
γ <sub>c</sub> =	1,40	

Sapata		
c =	5,00	cm
h =	40,00	cm
h <sub>0</sub> =	40,00	cm
a =	1300,00	cm
b =	140,00	cm

Solo		
σ <sub>ADM</sub>	172,00	kgf/cm <sup>2</sup>

Aço		
f <sub>y</sub> =	500,00	Mpa
γ <sub>s</sub> =	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:

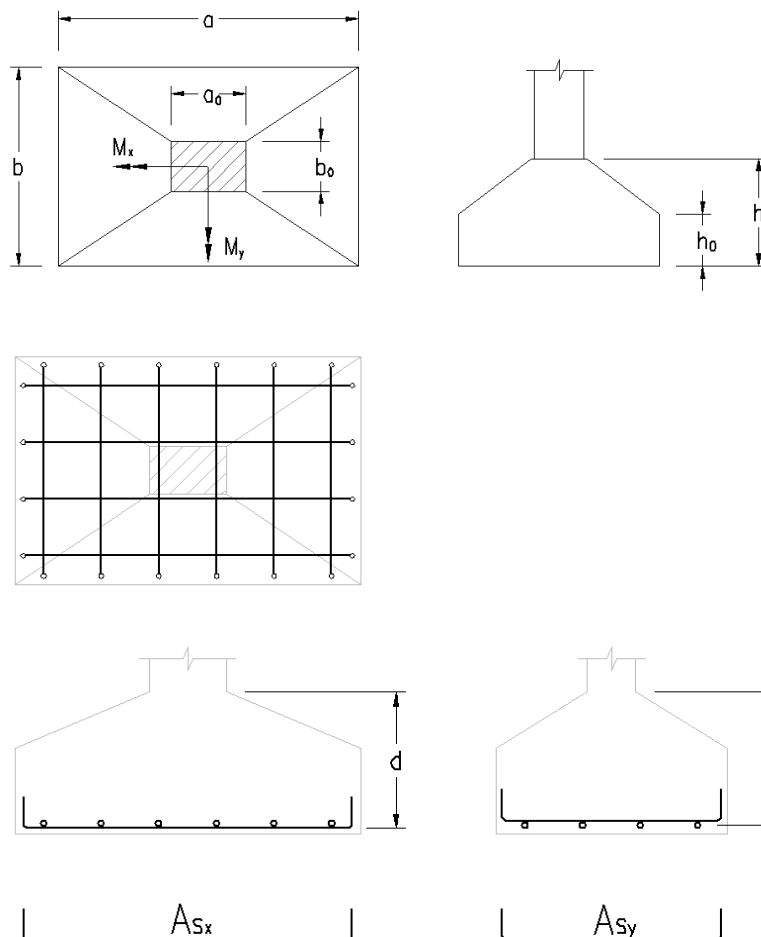
$$d \geq 39,9 \text{ cm}$$

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 “ $\alpha$ ” para os solos

SOLO	$\alpha$
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	$\mu$
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

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

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.

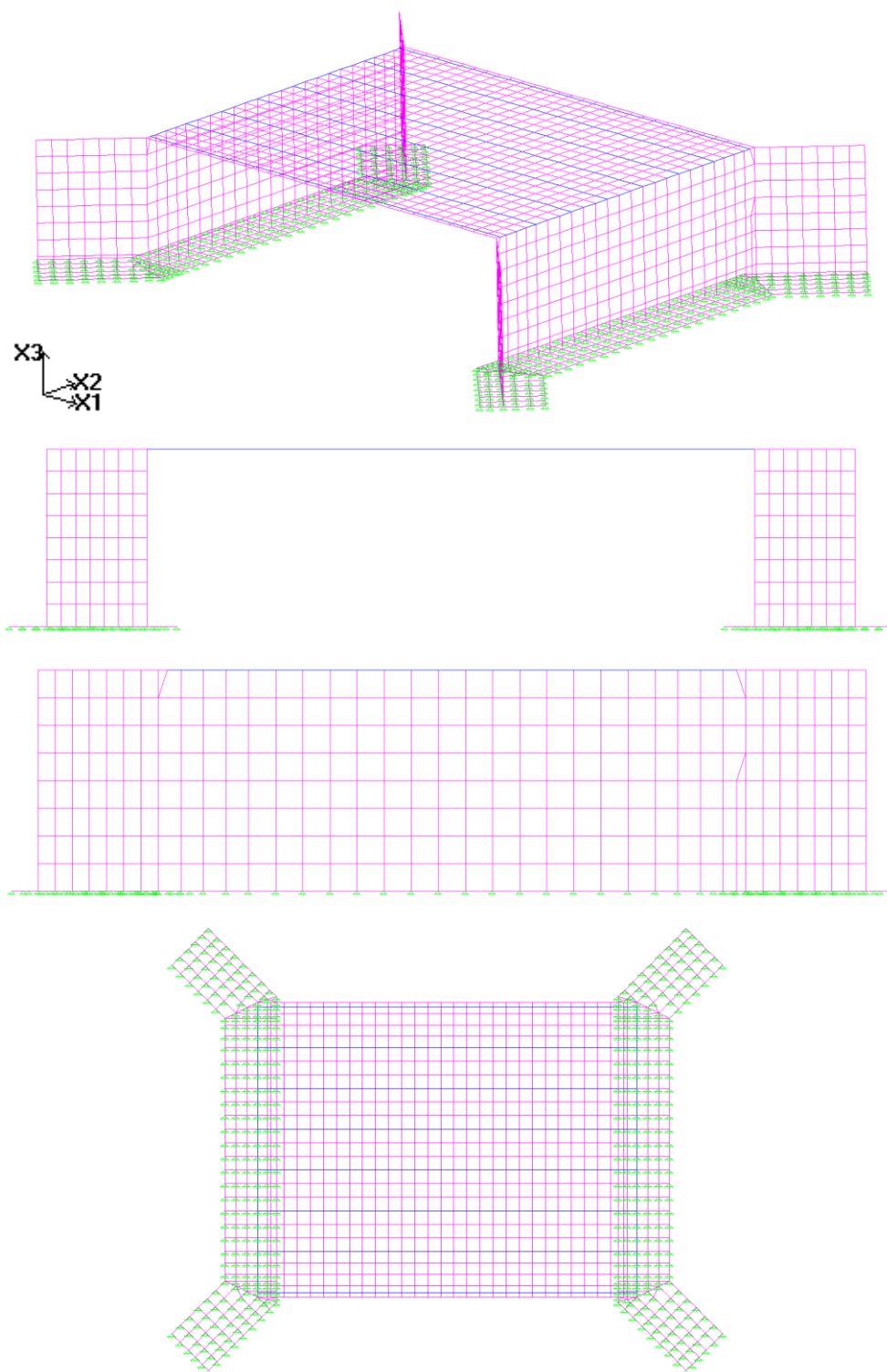


Figura 32 – Modelo de barras e elementos de placa

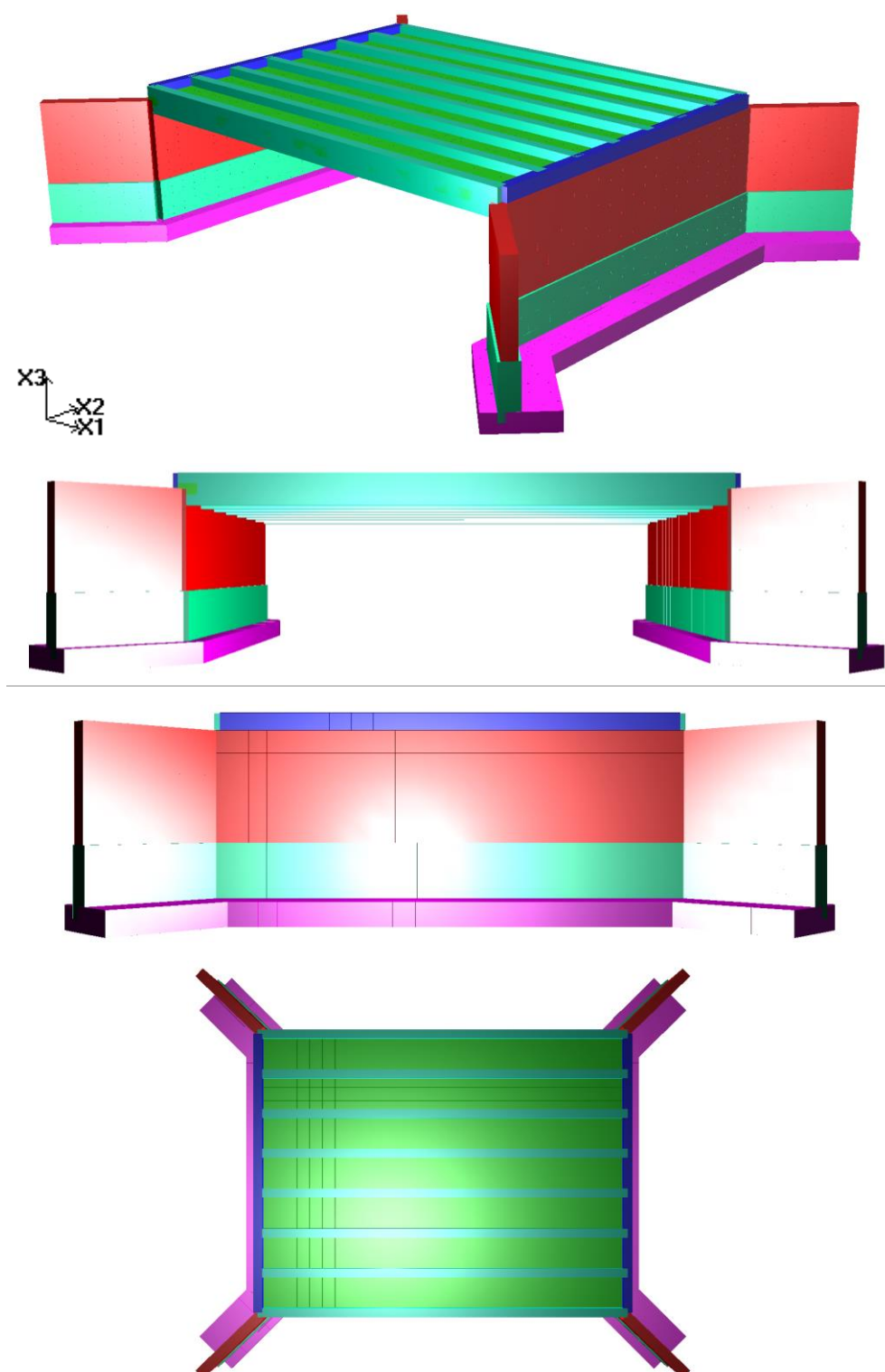


Figura 33 – Modelo de barras e elementos de placa renderizado



#### 4.2.1.1 Geometria do modelo

**Figura 35 – Modelo computacional em planta baixa da superestrutura**

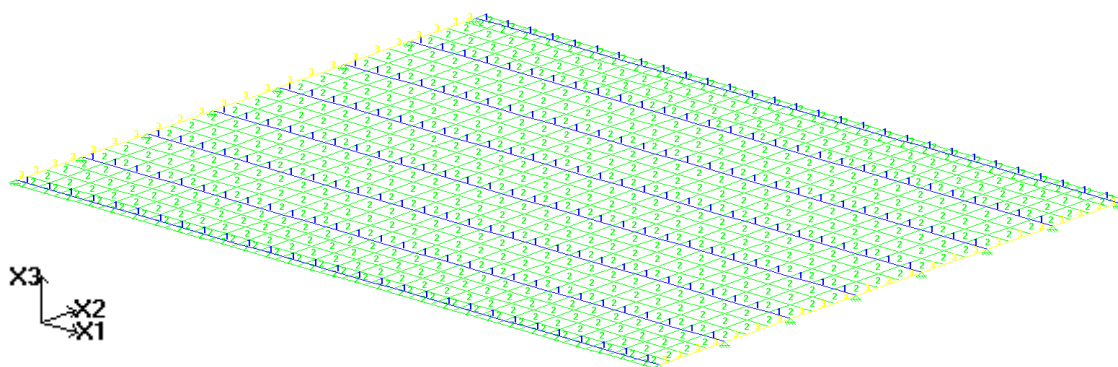
A Ponte sobre o Rio PINHALZINHO possui 10,60m de comprimento, que é a distância entre o início e fim da obra. Para o cálculo da obra o vão teórico adotado é de 10,00m.

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**

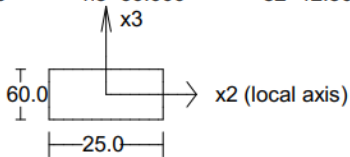
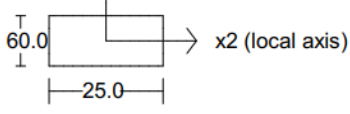
A seguir apresentamos algumas propriedades geométricas das seções:



**Figura 36 – Visualização das propriedades geométricas da OAE**





SECTION PROPERTY TABLE (units - cm.)					
PROPERTY NO. 1					
A=0.1500E+04	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		
					



#### 4.2.1.3 Apoios do modelo

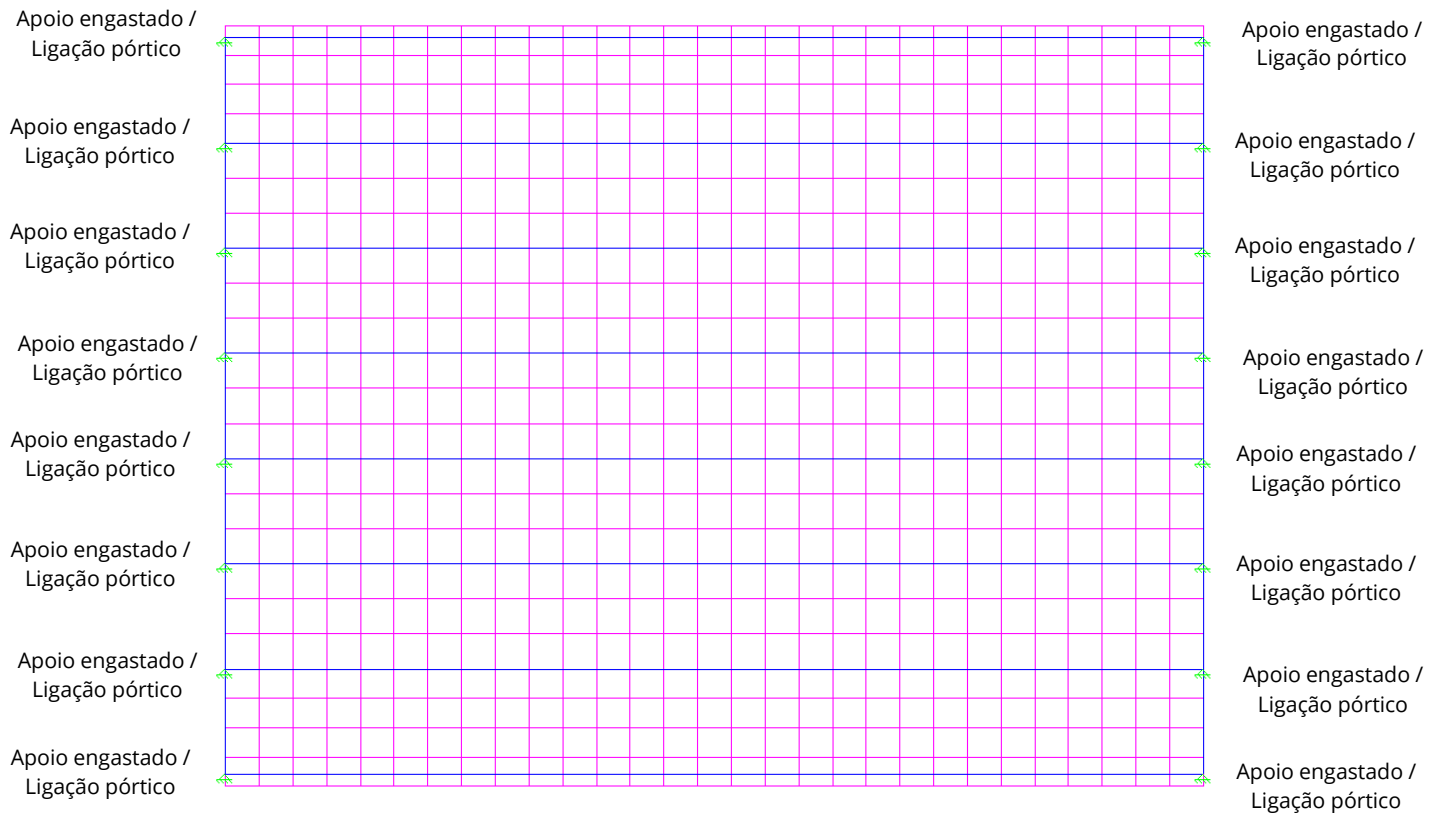


Figura 37 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da superestrutura

#### 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

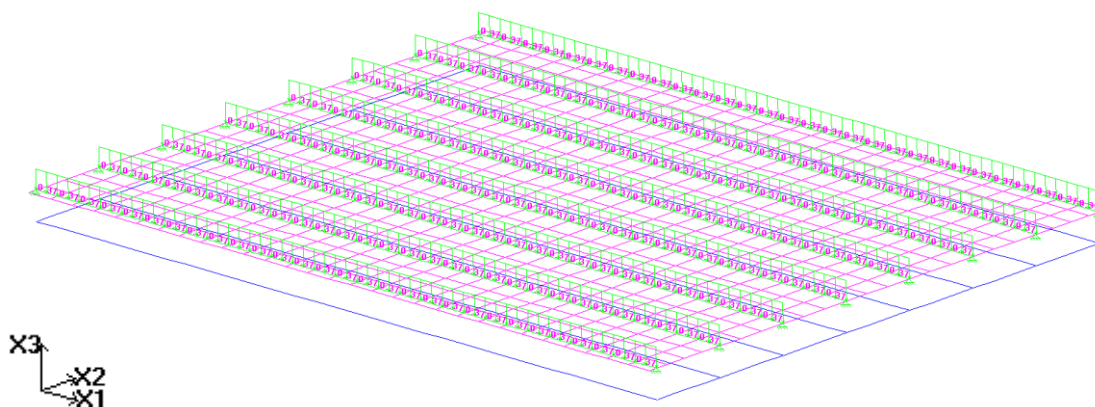


Figura 38 – Módulo de Cargas: Peso próprio das vigas

##### 4.2.1.5.2 Peso próprio das transversinas

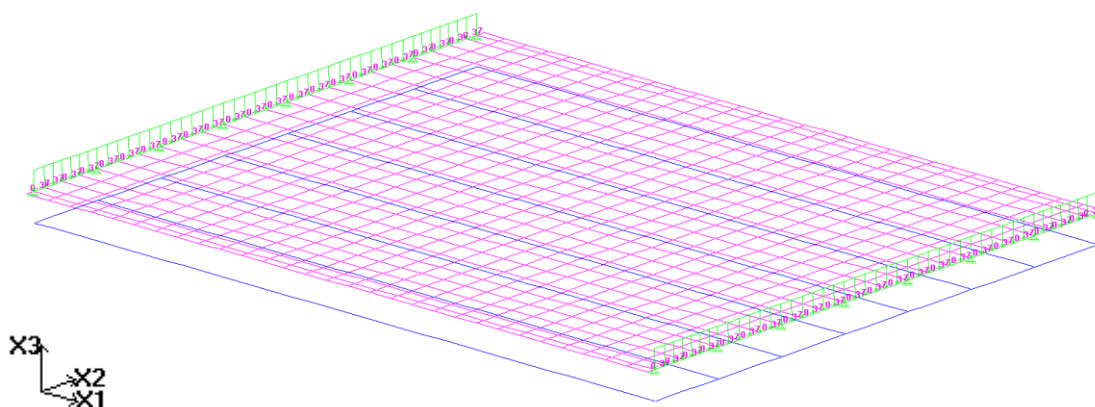


Figura 39 – Módulo de Cargas: Peso próprio das transversinas

#### 4.2.1.5.3 Peso próprio da laje principal

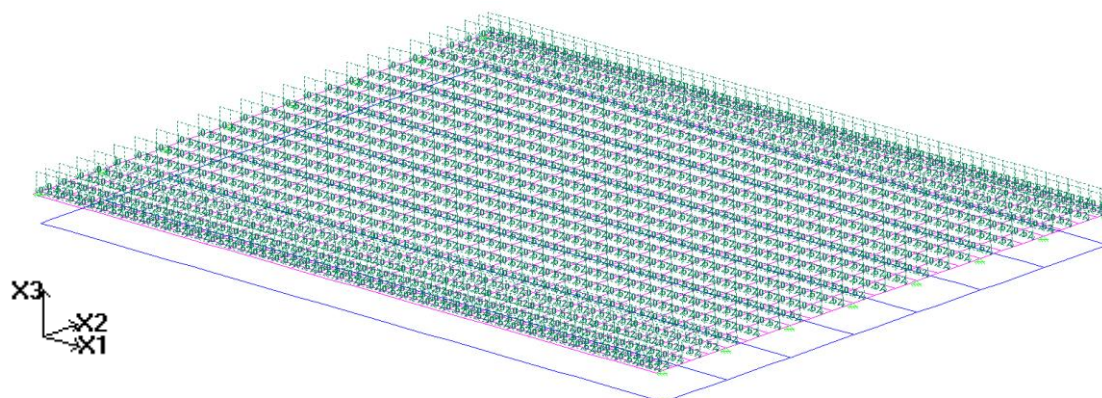


Figura 40 – Módulo de Cargas: Peso próprio da laje principal

#### 4.2.1.5.4 Peso próprio da pavimentação

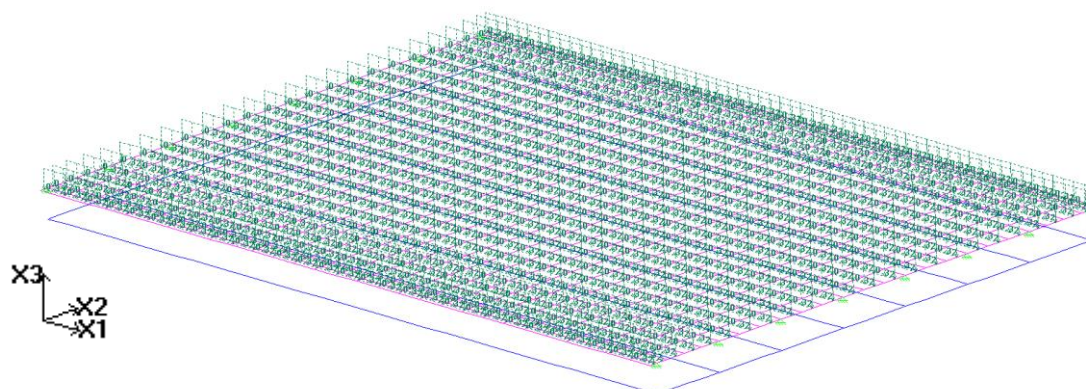


Figura 41 – Módulo de Cargas: Peso próprio da pavimentação

#### 4.2.1.5.5 Peso próprio da barreira rígida “New Jersey”

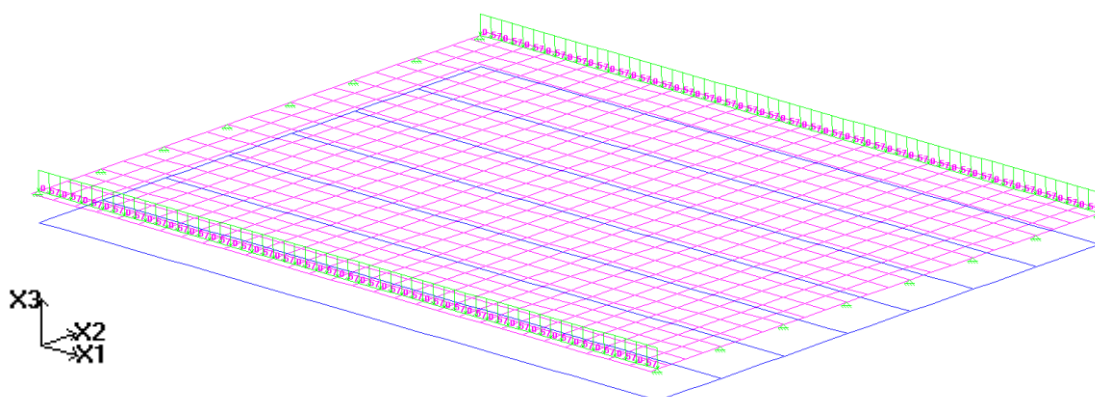


Figura 42 – Módulo de Cargas: Peso próprio da barreira rígida

#### 4.2.1.5.6 Frenagem e aceleração

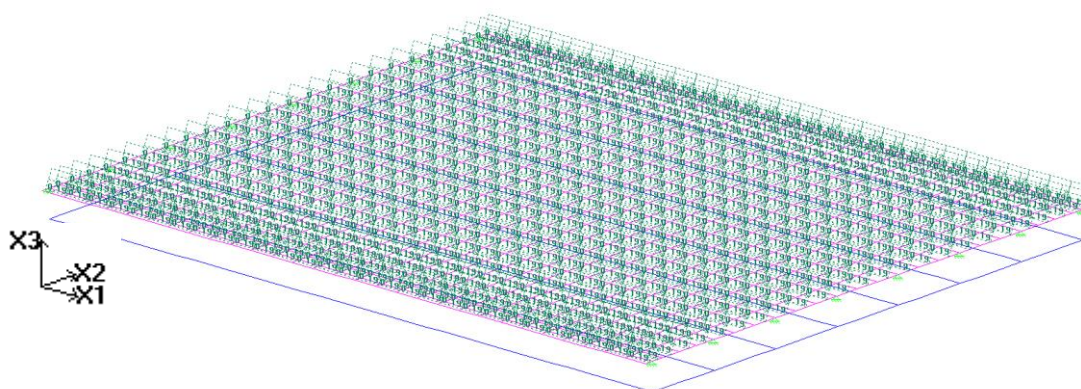


Figura 43 – Módulo de Cargas: Frenagem e aceleração



#### 4.2.1.5.7 Vento

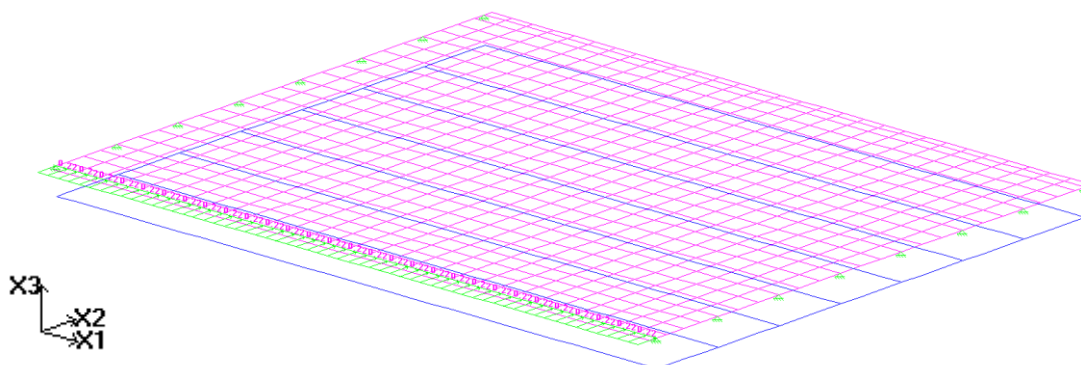


Figura 44 – Módulo de Cargas: Vento

#### 4.2.1.5.8 Temperatura

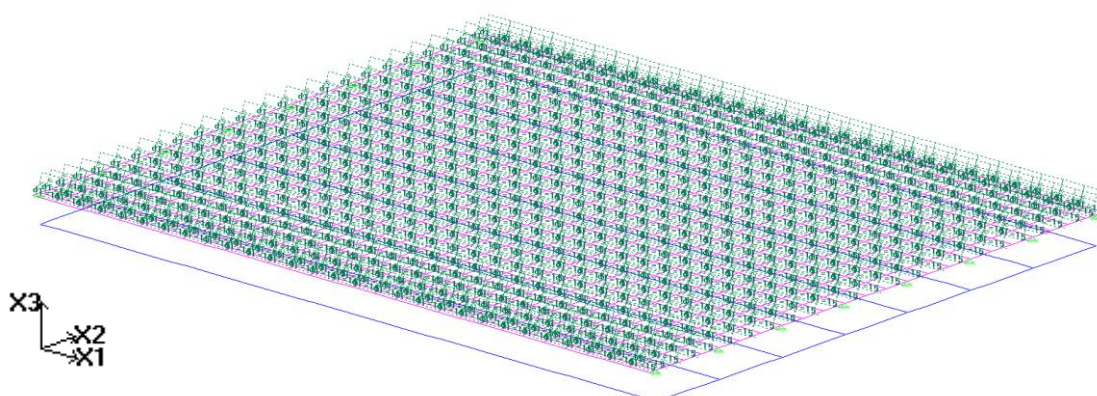


Figura 45 – Módulo de Cargas: Temperatura

#### 4.2.1.5.9 Retração e fluência

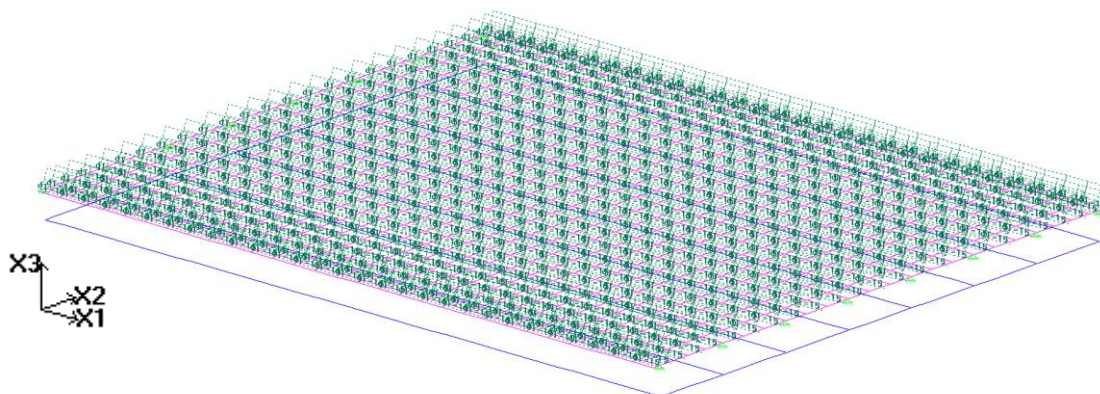


Figura 46 – Módulo de Cargas: Retração e fluência

#### 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:



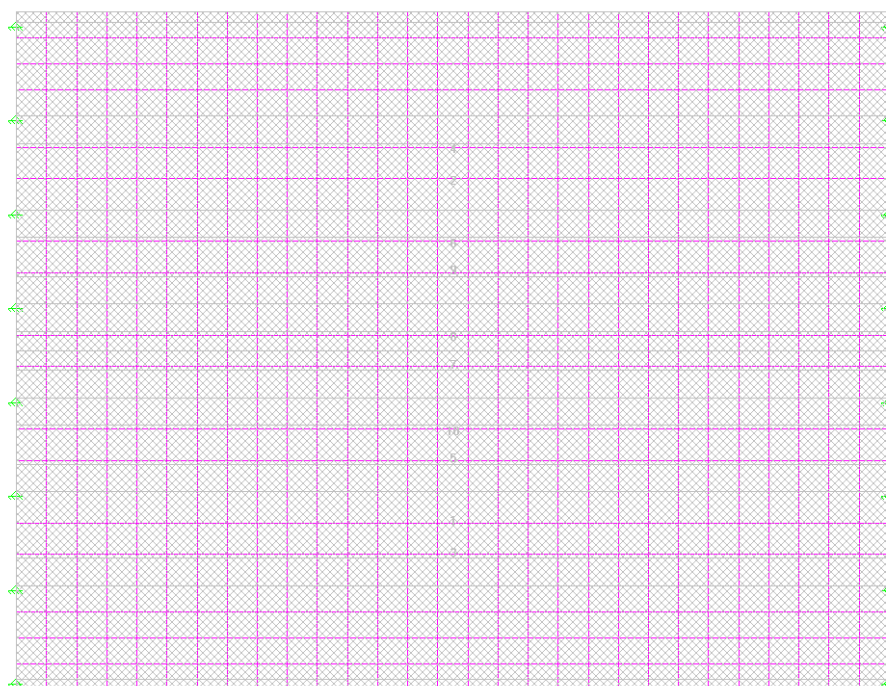
- Primeiramente o usuário define o modelo geométrico no STRAP, carrega o modelo com todas as cargas (como peso próprio, vento, recapeamento etc.), exceto cargas de veículo e multidão e o calcula estaticamente;
- Só depois de calcular as cargas permanentes, entre no Módulo de Pontes para definir: faixas, 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

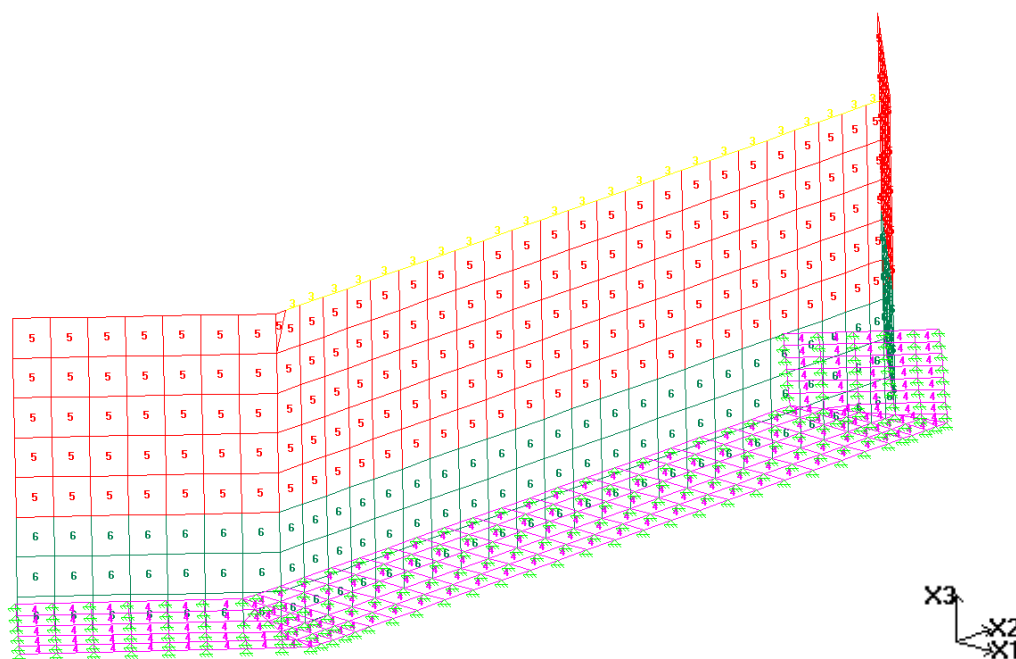


Figura 49 – Modelo computacional da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2

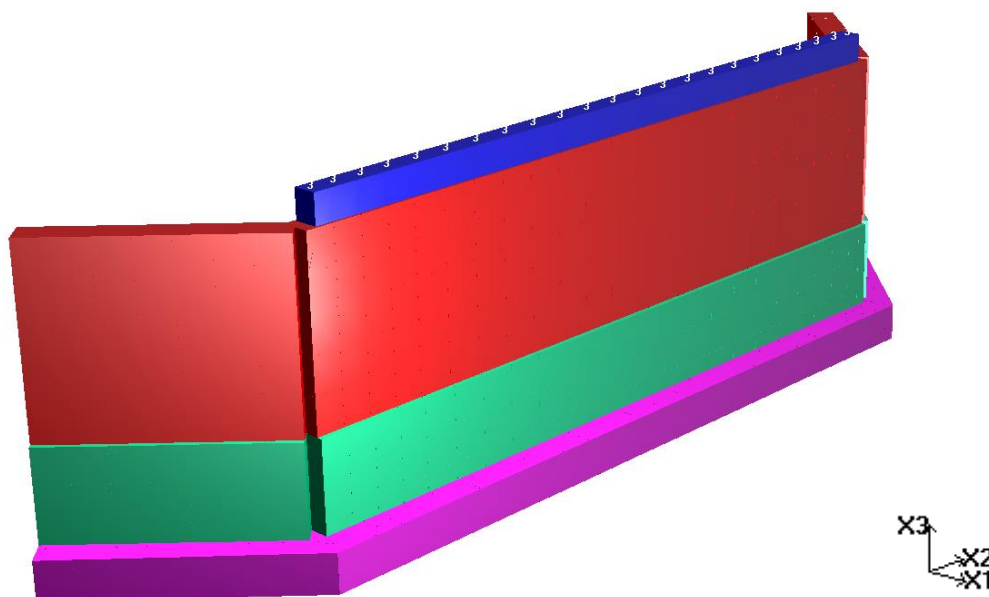
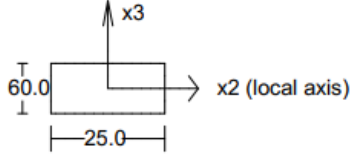
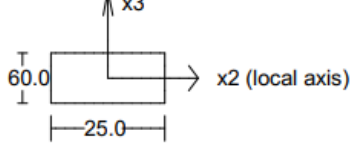


Figura 50 – Modelo computacional renderizado da meso e infraestrutura – Apoio E1 e E2



#### 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 = 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

### 4.2.2.3 Apoios do modelo

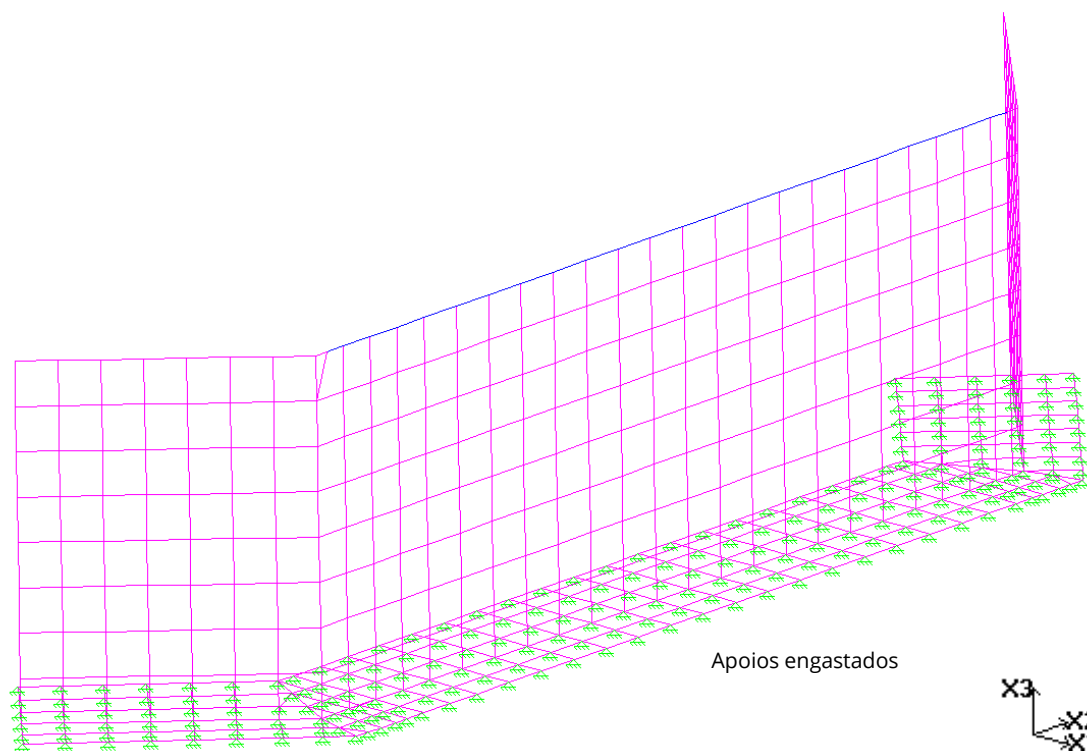


Figura 51 – Restrição dos apoios no modelo de cálculo da mesoestrutura

### 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

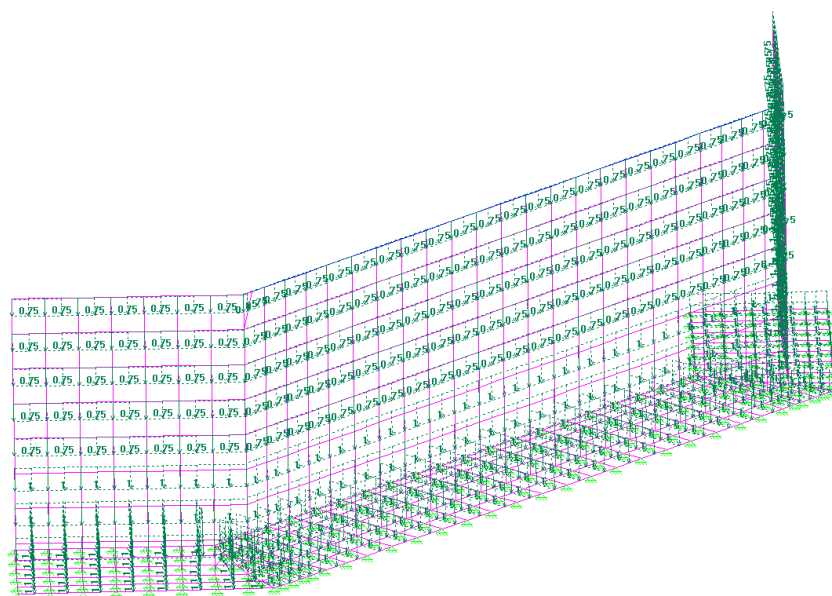


Figura 52 – Módulo de Cargas: Peso próprio da mesoestrutura e infraestrutura.

##### 4.2.2.5.2 Empuxo de terra

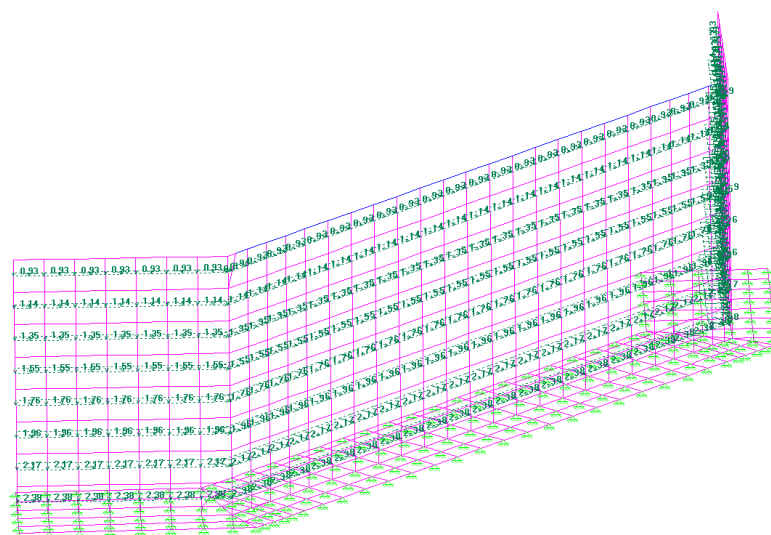


Figura 53 – Módulo de Cargas: Empuxo de terra

## 4.3 Superestrutura

### 4.3.1 Vigas

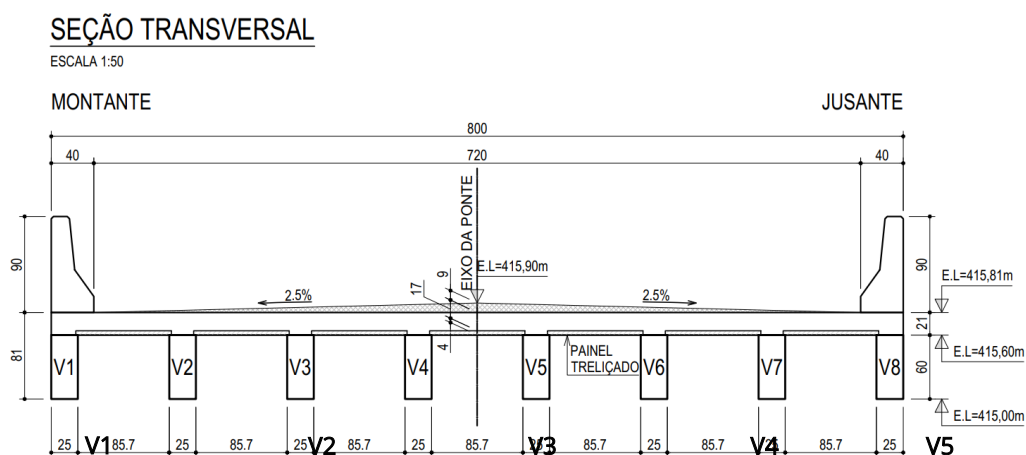
O valor do módulo de elasticidade do concreto foi obtido na tabela apresentada abaixo:

**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
$\alpha_i$	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

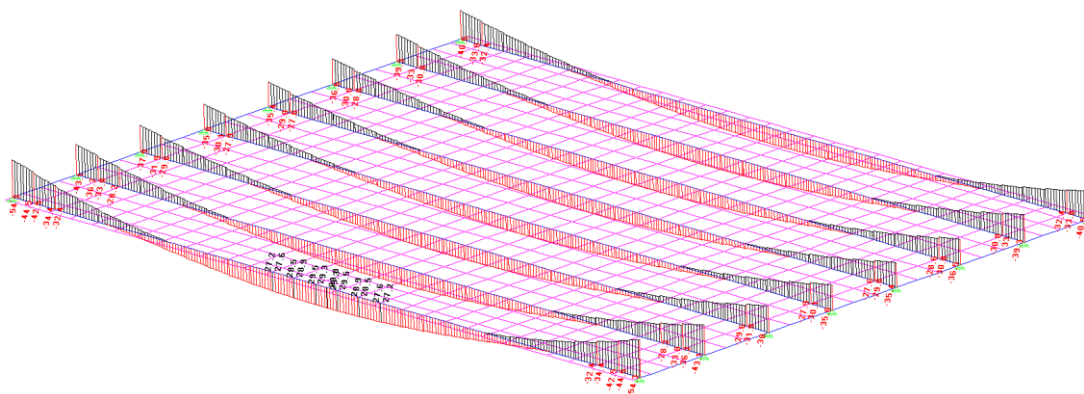


Figura 55 – Momento Fletor M2 – ELU

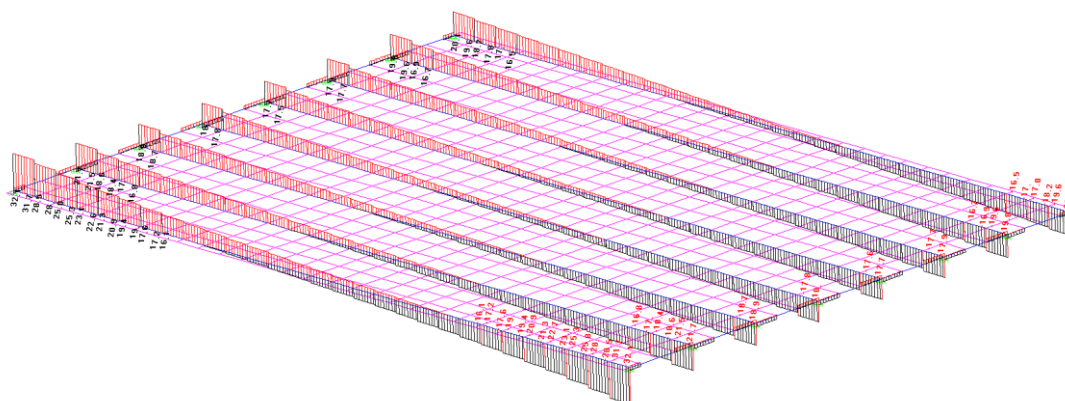


Figura 56 – Esforço Cortante V3 – ELU

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.



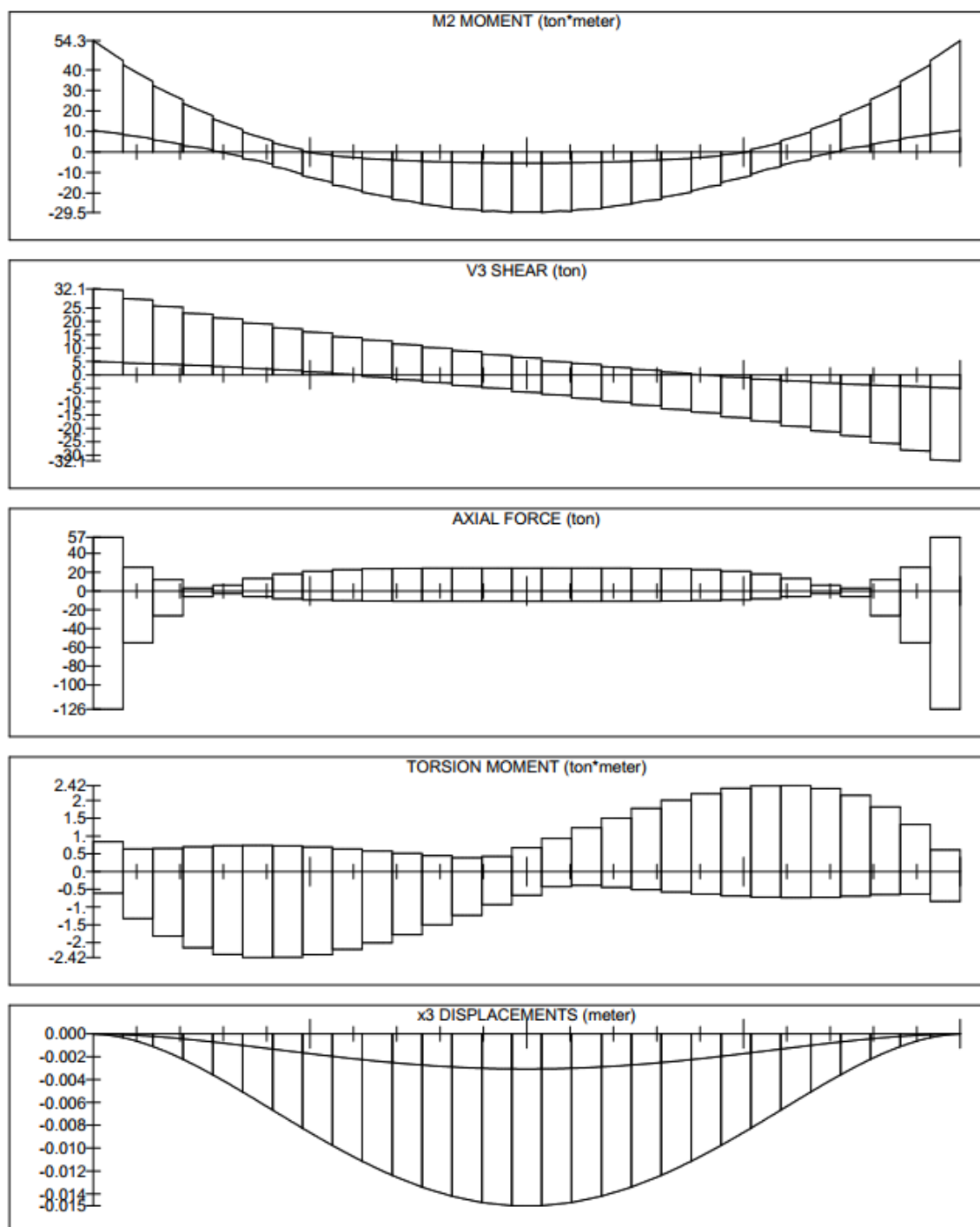
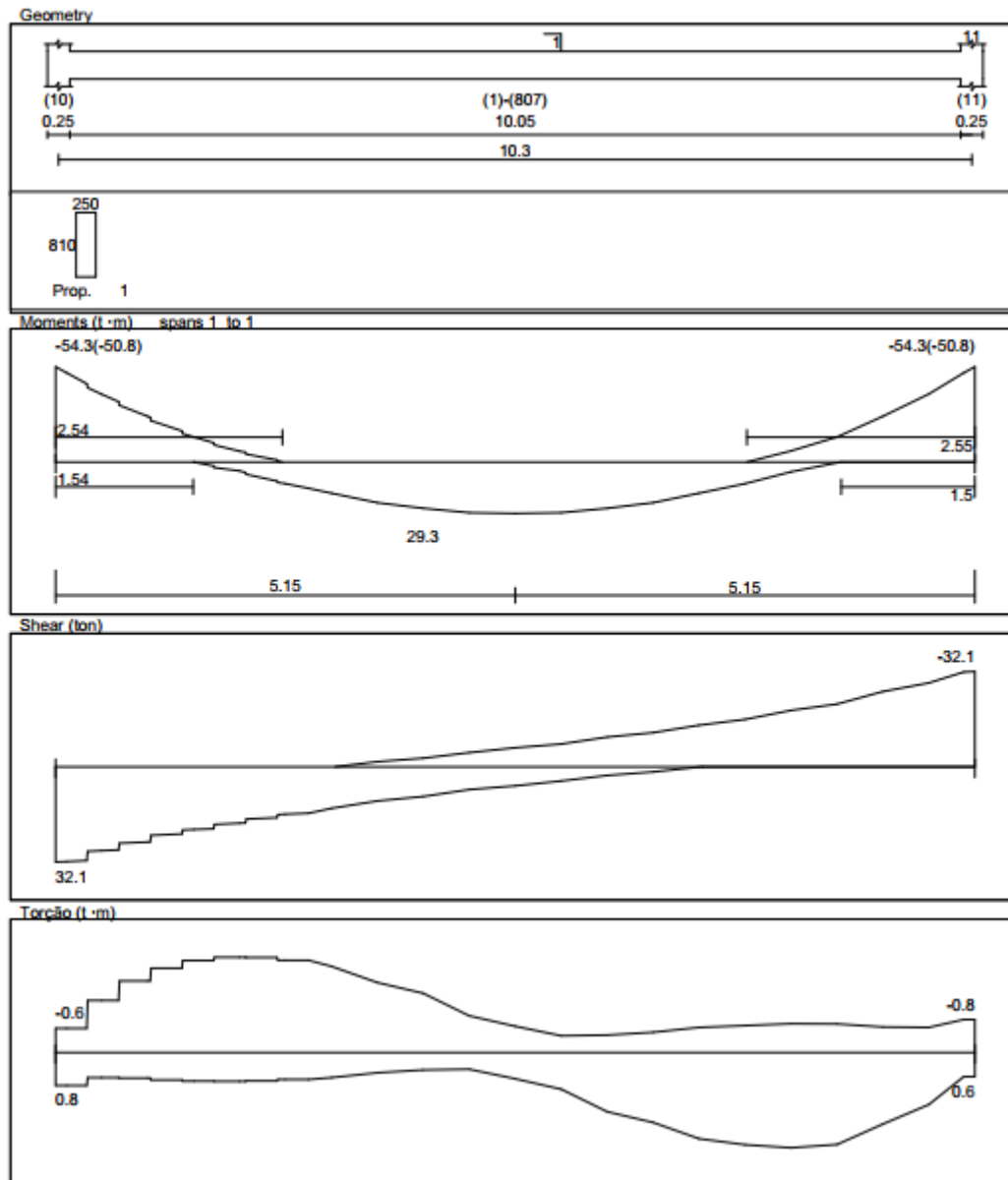
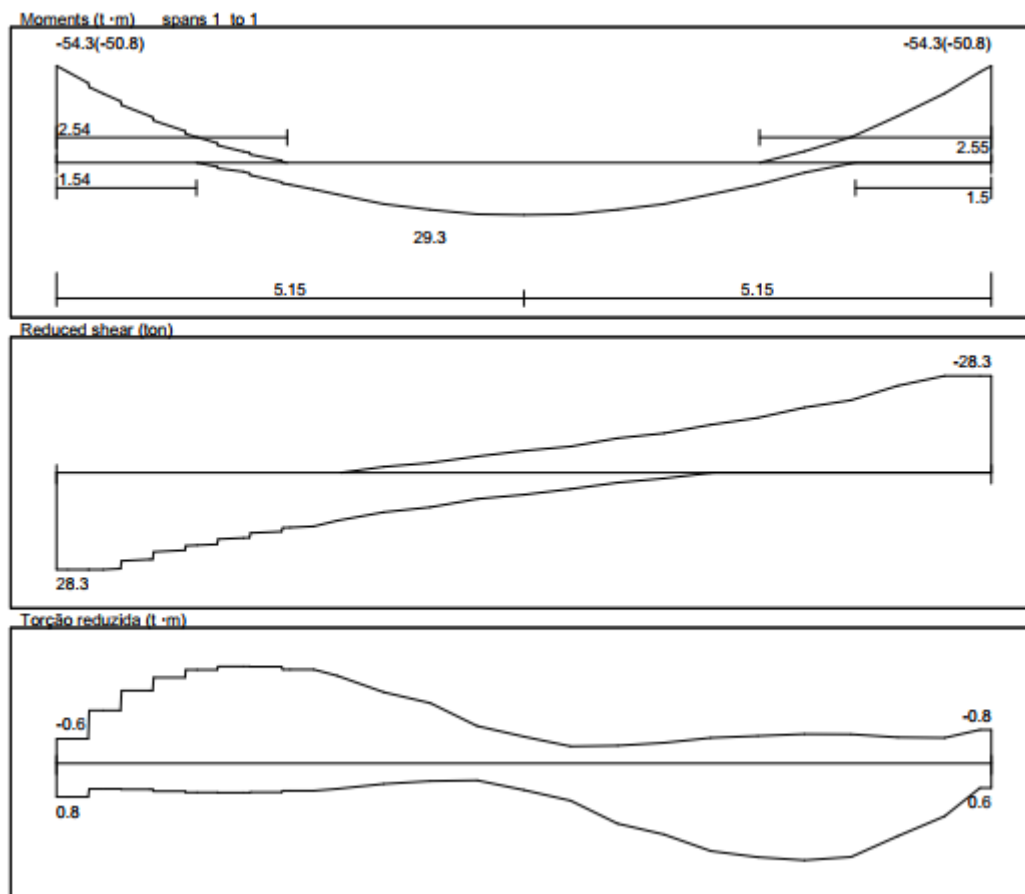


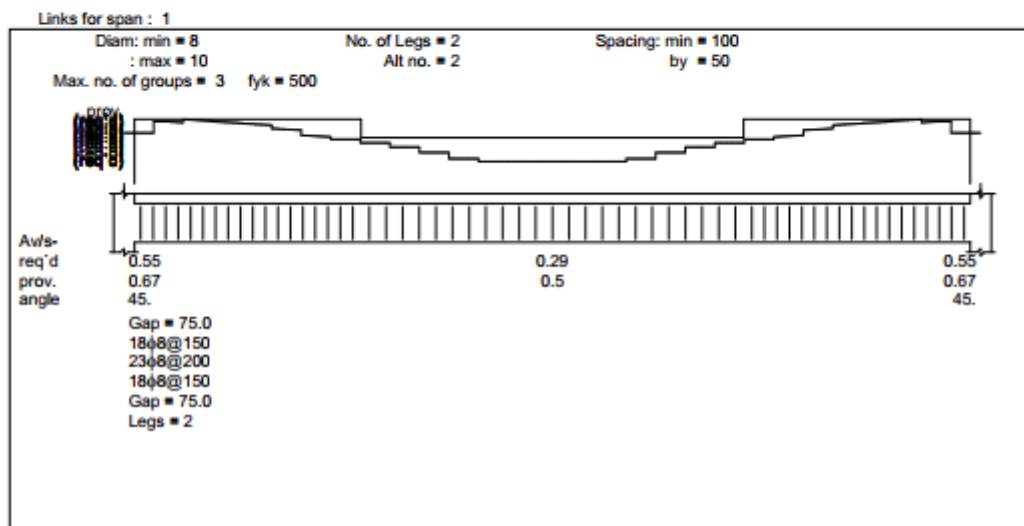
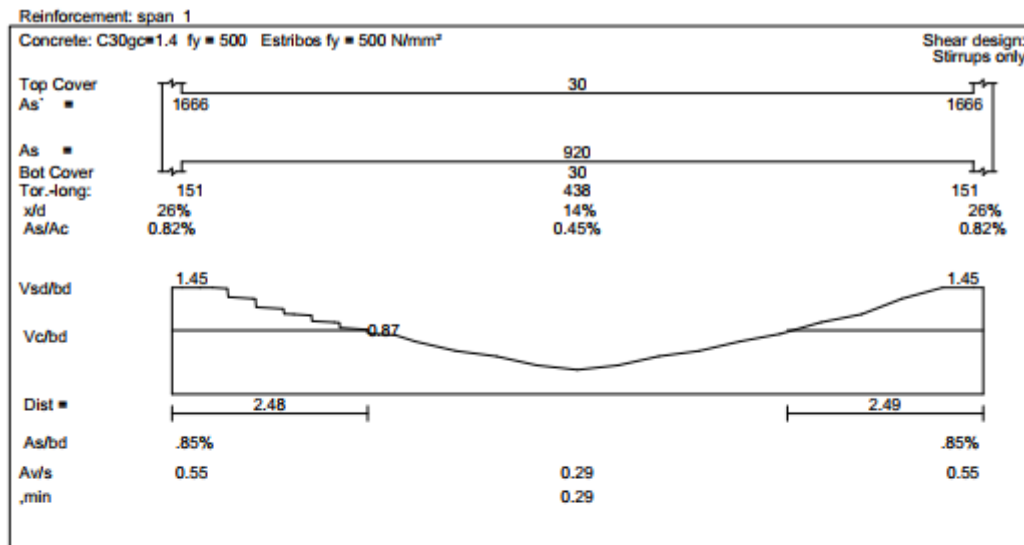
Figura 57 – Solicitações nas Vigas – ELU



#### 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

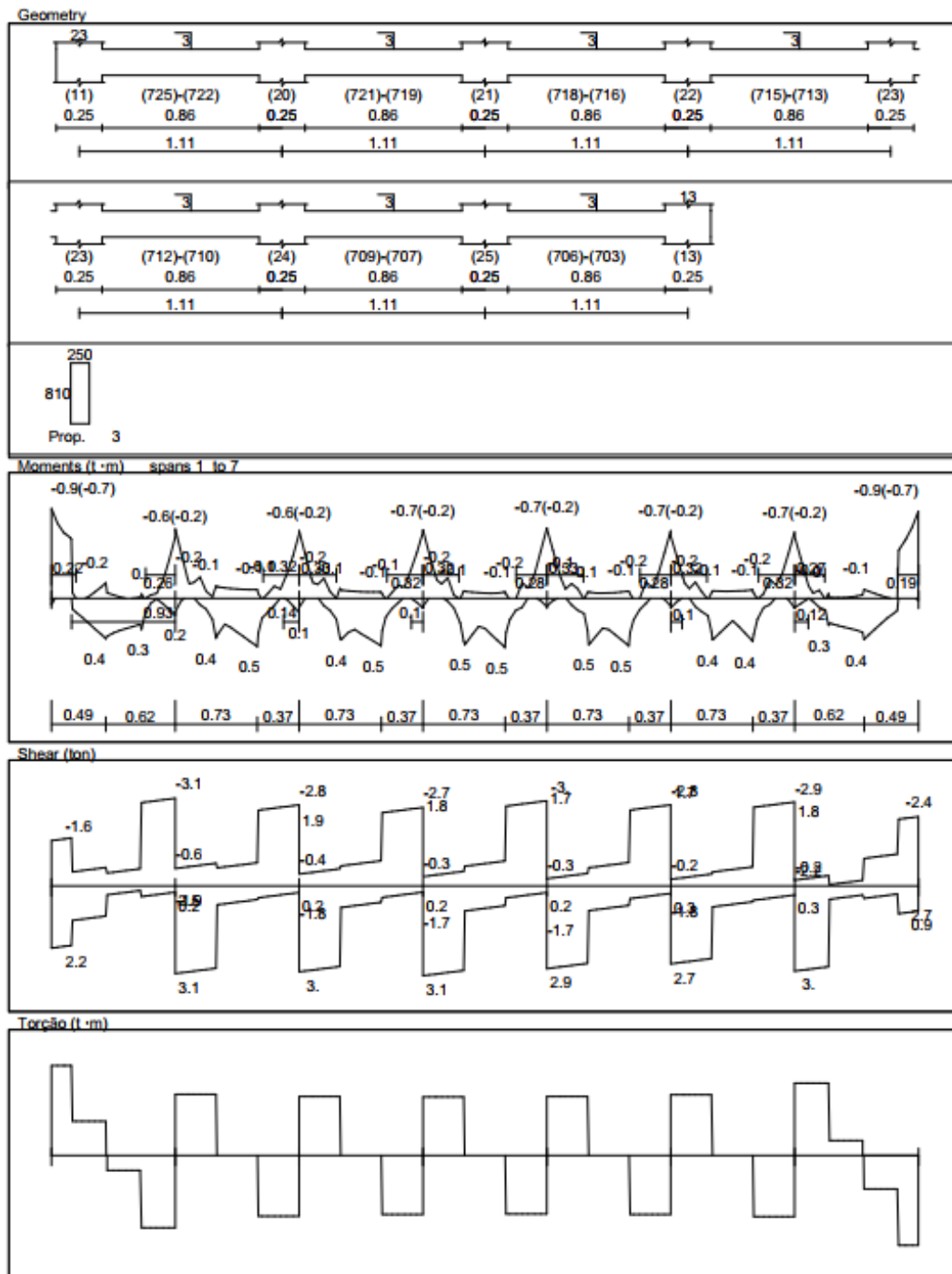
Deformação imediata: aplicar 100% de perm; 100% de acid  
 Deformação de longa duração:  
 - Longa duração : 100% de perm; 0 % de acid  
 - Duração da carga: 60 meses  
 Fat. de perm = 1.4 Fat. de acid = 1.6 Perm./Total = 0.8  
 fr = 0.29 Ec = 30672 Es = 210000

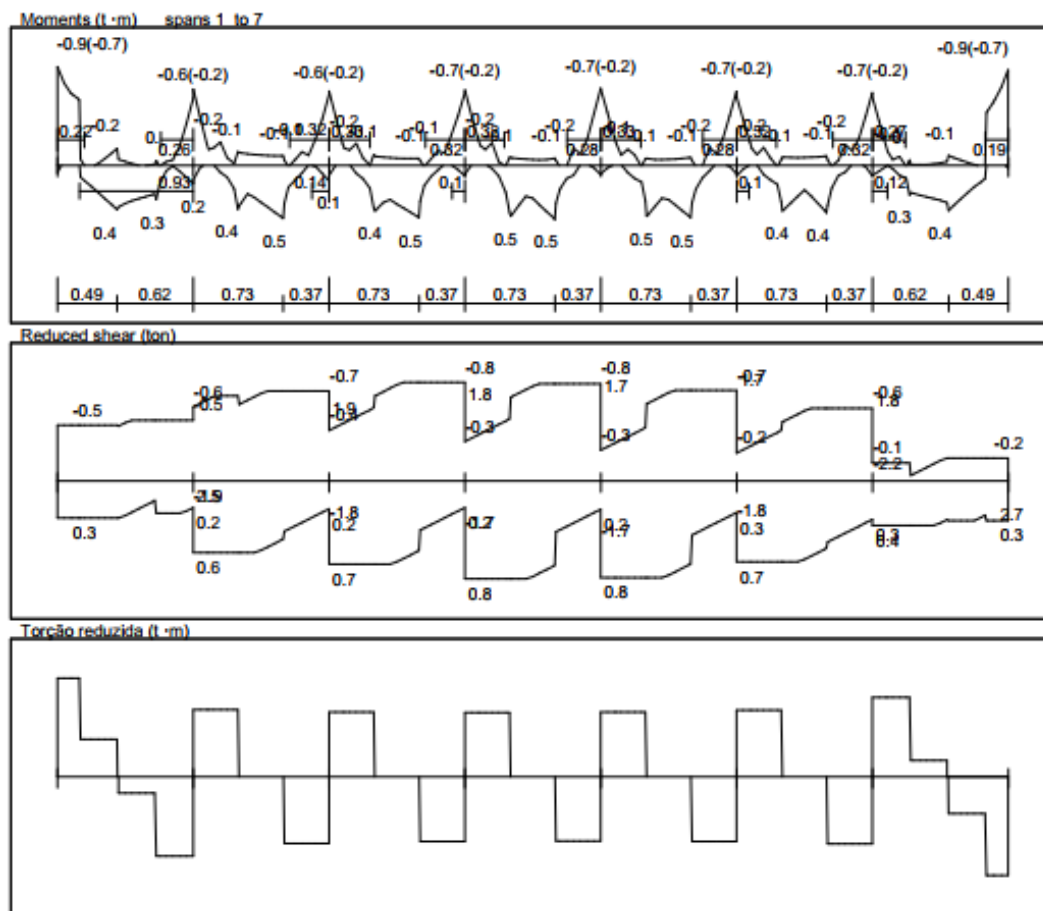
#### 4.3.1.3 Armadura adotada

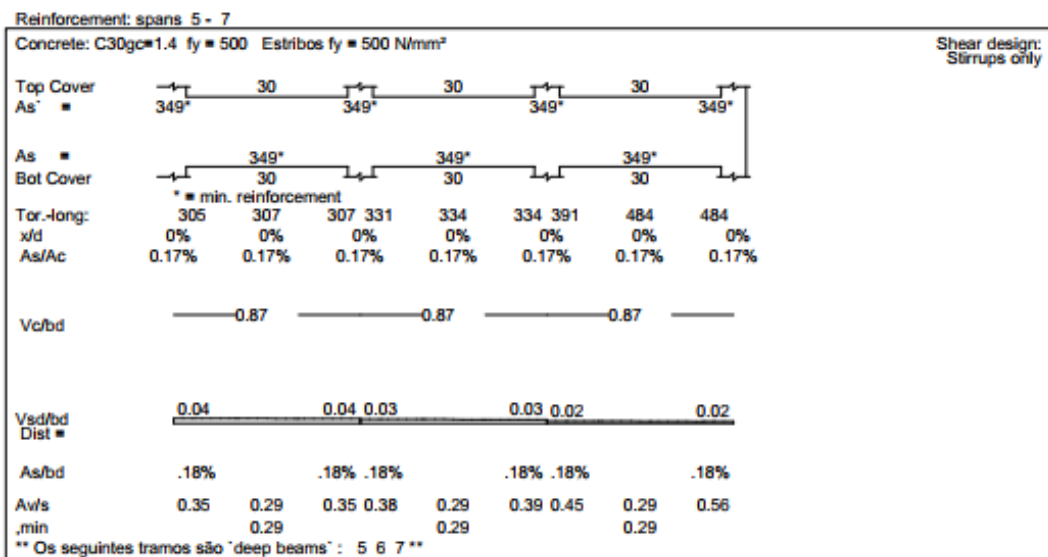
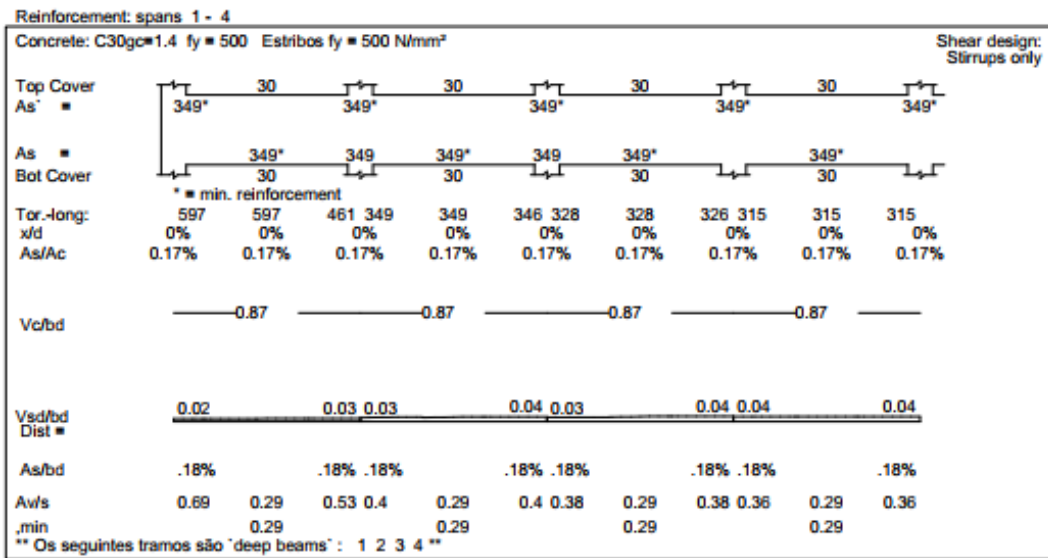
- Armadura longitudinal
  - $A_{s \text{ superior apoio e vão}} = 3 \varphi 12,50 \text{ mm}$
  - $A_{s \text{ inferior apoio e vão}} = 6 \varphi 20,0 \text{ mm} + 2 \varphi 16,0 \text{ mm}$
- Armadura transversal
  - $A_{s \text{ apoio e vão}} = 2 \text{ ramos } \varphi 8,0 \text{ mm c/ } 20,0 \text{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



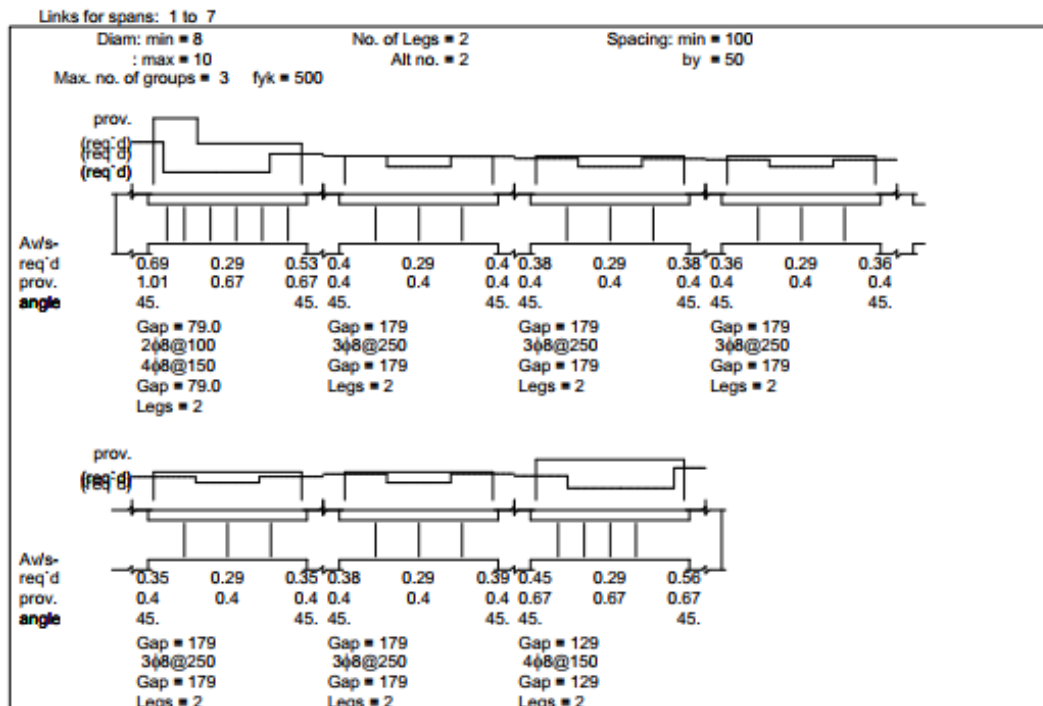
### 4.3.2 Transversinas











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

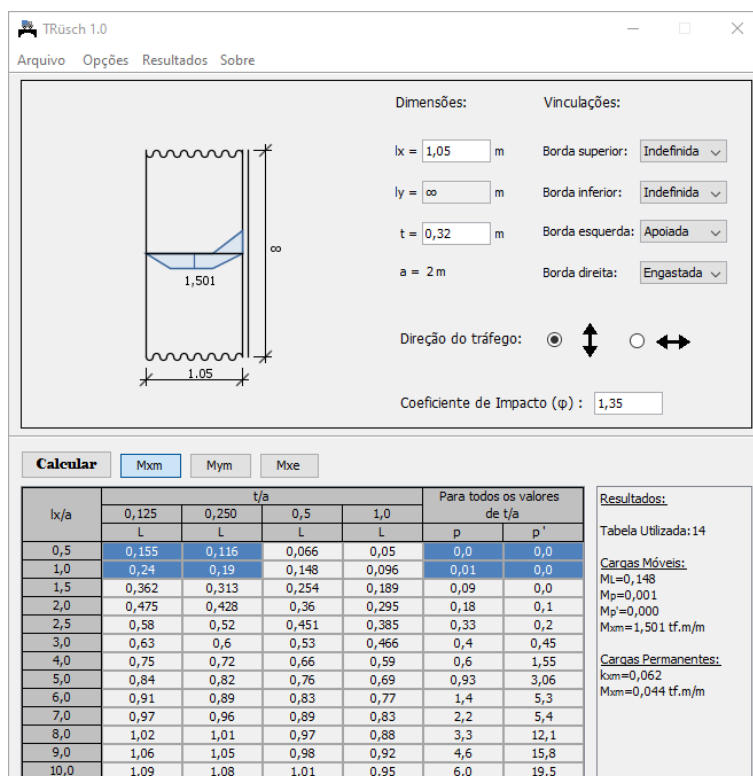
### 4.3.3 Laje principal

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

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 ( $\phi$ ): 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.

<b>DADOS DE ENTRADA:</b>	$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$	
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)
	$co_{br} = 2,5 \text{ cm}$	(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)  
 $CNF = 1 - 0,05x(n-2) > 0,9$   
 $CNF = 1,00$   
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**

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

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

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

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

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

**Mxm** →  $d = 0,180 \text{ m}$   $b_w = 1,00 \text{ m}$

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

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

$$K_f = 1,350$$

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

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

**Mym** →  $d = 0,170 \text{ m}$   $b_w = 1,00 \text{ m}$

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

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

$$K_f = 1,380$$

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

$$\varnothing 10,0\text{mm} \quad C/ 25,00\text{cm}$$

**1.2) Cálculo para o Mxe**

$$L_x = 1,05 \text{ m} \quad n_{\text{pistas}} = 2$$



$$L_y / L_x = \infty$$

$$L_x / a = 0,53$$

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

$$t = 0,630$$

$$t / a = 0,315$$

**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** →  $K = -0,125$

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

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

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

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

**b) Carga Móvel**

**Rüsch** : **Mxe** →  $ML = 0,243$   $M_p = 0$   $M_{p'} = 0,105$

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

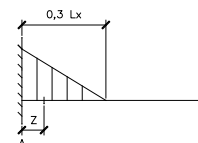
$$M_{xeA} = -2,531 \text{ tm/m}$$

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



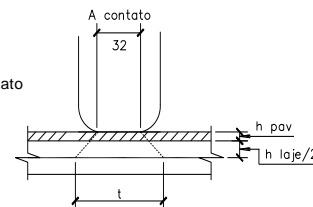
#### 4.3.4 Laje de transição

<b>DADOS DE ENTRADA:</b>	$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$	
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**

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

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

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

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

$$A_s = A_s' \cdot K_f$$

<b>Mxm</b> →	d = 0,219 m	b <sub>w</sub> = 1,00 m	
	M <sub>xmd</sub> = 5,16 tm		
	A <sub>s</sub> ' = 5,59 cm <sup>2</sup> /m		
	K <sub>f</sub> = 1,000		
	A <sub>s</sub> = 5,59 cm <sup>2</sup> /m	Ø 12,5mm C/ 22,00cm	*longitudinal
<b>Mym</b> →	d = 0,206 m	b <sub>w</sub> = 1,00 m	
	M <sub>ymd</sub> = 2,45 tm		
	A <sub>s</sub> ' = 2,78 cm <sup>2</sup> /m		
	K <sub>f</sub> = 1,011		
	A <sub>s</sub> = 2,81 cm <sup>2</sup> /m	Ø 12,5mm C/ 44,0cm	*transversal
<b>Mxr</b> →	d = 0,22 m	b <sub>w</sub> = 1,00 m	
	M <sub>xmd</sub> = 5,28 tm		
	A <sub>s</sub> ' = 5,73 cm <sup>2</sup> /m		
	K <sub>f</sub> = 1,000		
	A <sub>s</sub> = 5,73 cm <sup>2</sup> /m	Ø 12,5mm C/ 22,0cm	*longitudinal

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

**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	h <sub>médio</sub> =	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 <sub>yd</sub> =	2,07 ‰
Md=	52,20 kN.m	ρ <sub>min</sub> =	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

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

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

#### 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

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

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

## 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.

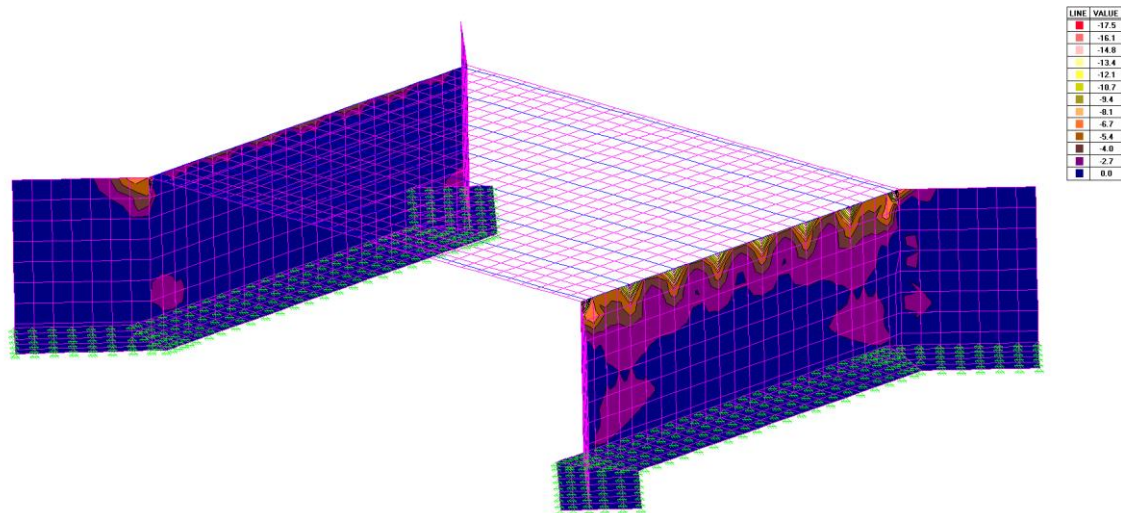


Figura 59 – Momento fletor MX, face +Z (tf.m/m)

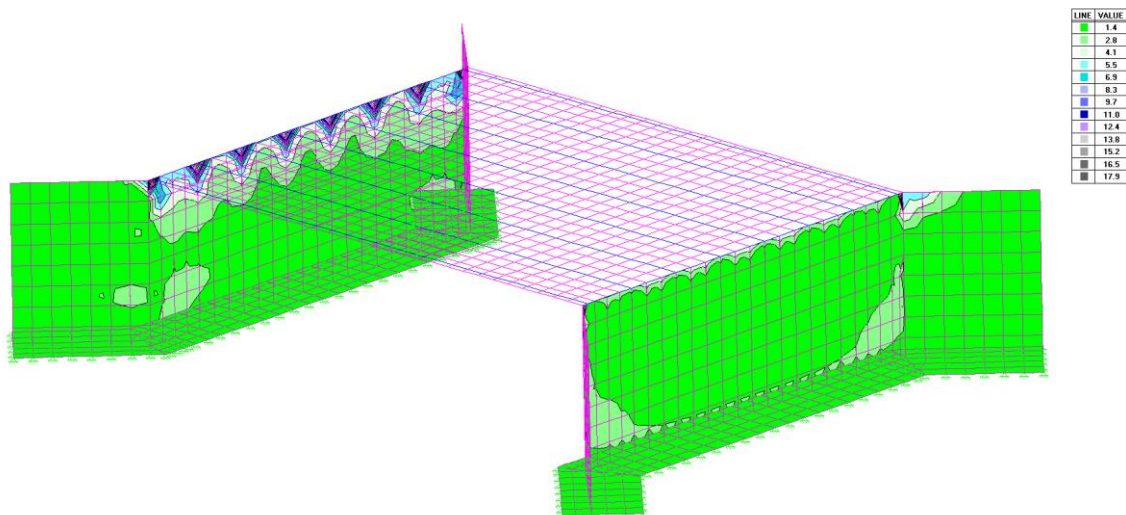


Figura 60 – Momento fletor MX, face -Z (tf.m/m)

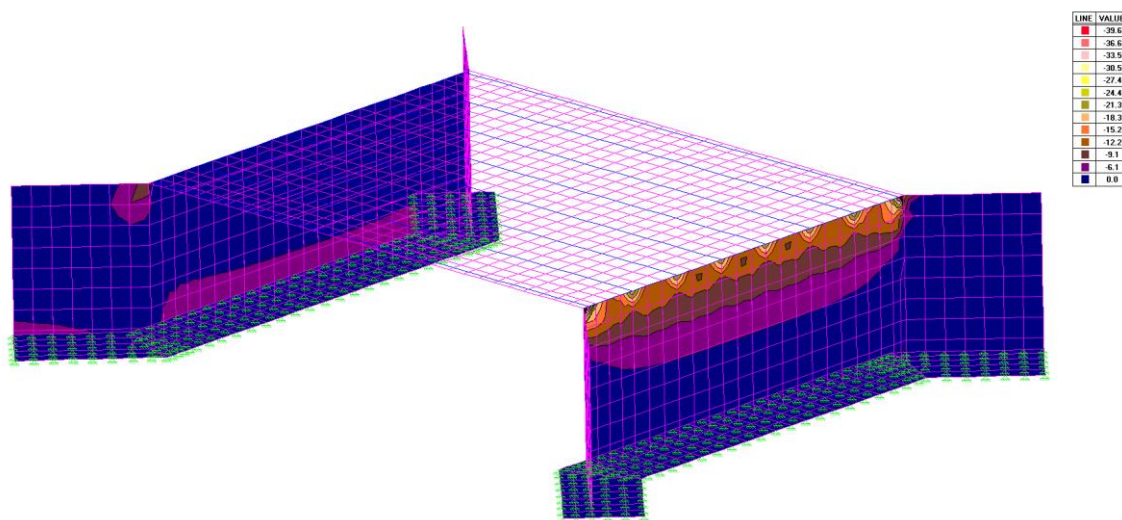


Figura 61 – Momento fletor MY, face+-Z (tf.m/m)

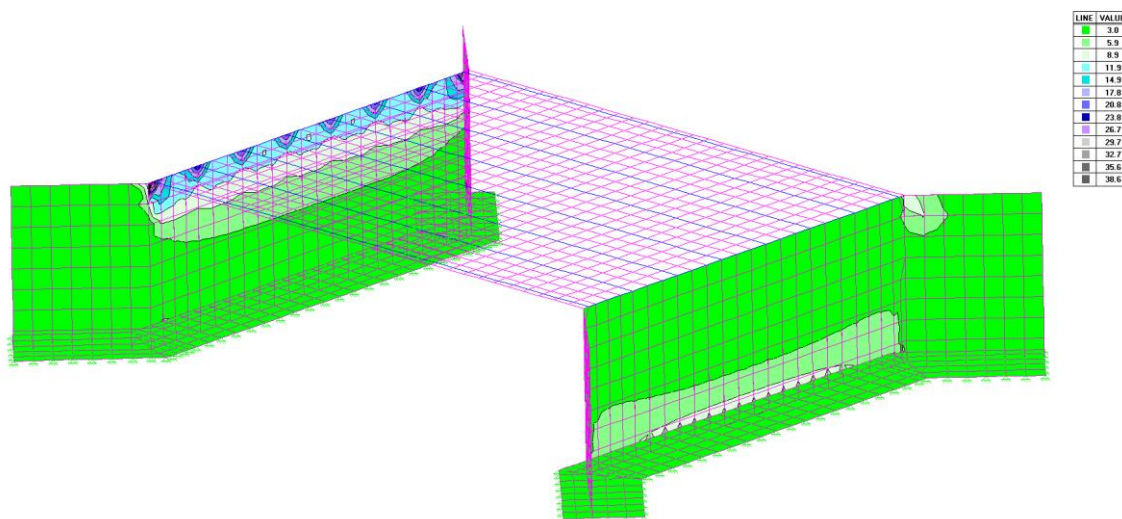


Figura 62 – Momento fletor MY, face--Z (tf.m/m)

#### 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 ( $N_c$ ,  $N_\gamma$  e  $N_q$ ) e de forma ( $S_c$ ,  $S_\gamma$  e  $S_q$ ), que expressam:

- Influência da profundidade de assentamento da fundação ( $d_c$ ,  $d_\gamma$  e  $d_q$ );
- Influência da inclinação da carga aplicada em relação à normal ao plano do elemento de fundação ( $i_c$ ,  $i_\gamma$  e  $i_q$ );
- Influência da inclinação do terreno adjacente ao elemento de fundação ( $g_c$ ,  $g_\gamma$  e  $g_q$ );
- Influência da inclinação da base do elemento de fundação em relação a horizontal ( $b_c$ ,  $b_\gamma$  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;

$\gamma$ : peso específico do solo;

$N_c$ ,  $N_\gamma$ ,  $N_q$ : fatores de capacidade de carga;

$S_c$ ,  $S_\gamma$ ,  $S_q$ : fatores de forma;

$d_c$ ,  $d_\gamma$ ,  $d_q$ : fatores de profundidade;

$i_c$ ,  $i_\gamma$ ,  $i_q$ : fatores de inclinação da carga em relação à base do elemento de fundação;

$g_c$ ,  $g_\gamma$ ,  $g_q$ : fatores de inclinação do terreno adjacente à fundação;

$b_c$ ,  $b_\gamma$ ,  $b_q$ : 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;

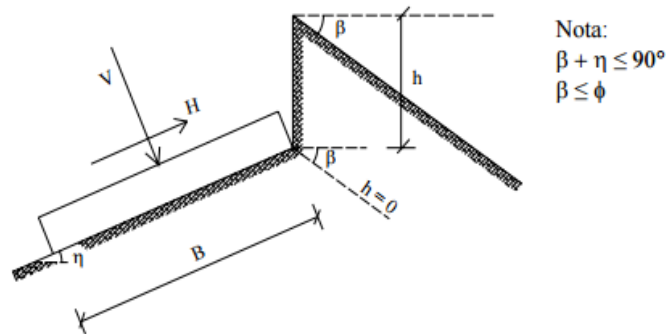


Figura 3.10 – Configuração geral para aplicação do método de Vésic (1974)

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 ( $N_\gamma$ ,  $N_q$ ,  $N_c$ ):

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

- 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

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

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

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:

$\beta$ : 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:

$\eta$ : inclinação da base da fundação em relação à horizontal, conforme indicado na Figura 3.10



**Tabela 4 - Parâmetros do Solo**

Solo	Peso específico $\gamma$ em $t/m^3$	Ângulo de atrito interno $\phi$	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	$\phi$ (°)
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**

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

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad 134,9$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi \quad 133,9$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi \quad 271,7$$

**Fatores de Forma**

$$S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L} \quad 1,11$$

$$S'_c = 0,2 \cdot \frac{B}{L} \quad (\text{para } \phi = 0) \quad 0,02$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan \phi \quad 1,11$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L} \quad 0,96$$

$B \rightarrow$  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

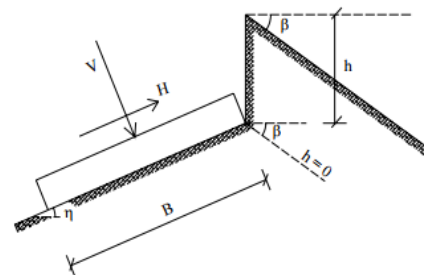
$H \Rightarrow$  Componente tangente à base  
 $V \Rightarrow$  Componente normal à base  
 $A_f \Rightarrow$  Área efetiva de Contato  
 $c_a \Rightarrow$  Coef. de Adesão base – solo

**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		
<b>N</b> =	100.000,00	kgf
<b>M<sub>x</sub></b> =	1.000,00	kgf.m
<b>M<sub>y</sub></b> =	5.000,00	kgf.m

Pilar		
<b>a<sub>0</sub></b> =	1.300,00	cm
<b>b<sub>0</sub></b> =	30,00	cm
<b>Ø<sub>ARM</sub></b> =	16,00	mm

Concreto		
<b>f<sub>ck</sub></b> =	30,00	Mpa
<b>γ<sub>c</sub></b> =	1,40	

Sapata		
<b>c</b> =	5,00	cm
<b>h</b> =	40,00	cm
<b>h<sub>0</sub></b> =	40,00	cm
<b>a</b> =	1300,00	cm
<b>b</b> =	140,00	cm

Solo		
<b>σ<sub>ADM</sub></b>	172,00	kgf/cm <sup>2</sup>

Aço		
<b>f<sub>y</sub></b> =	500,00	Mpa
<b>γ<sub>s</sub></b> =	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:

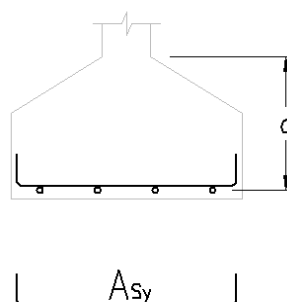
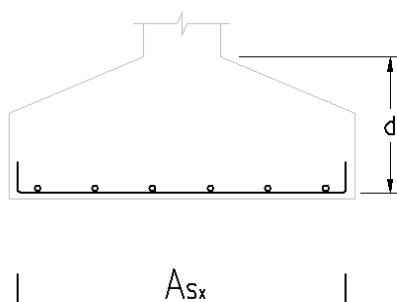
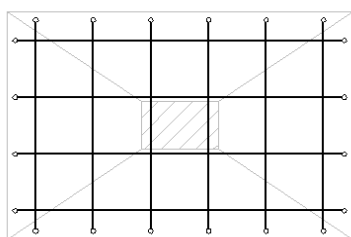
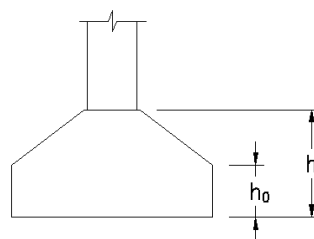
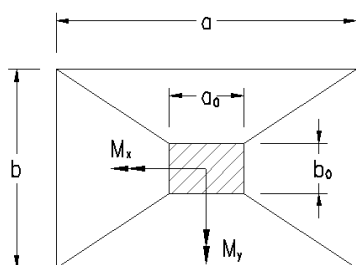
$$d \geq 39,9 \text{ cm}$$

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 “ $\alpha$ ” para os solos

SOLO	$\alpha$
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	$\mu$
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**

<b>Tipo:</b> PRESTAÇÃO DE SERVIÇO		<b>Participação Técnica:</b> INDIVIDUAL/PRINCIPAL	
<b>Convênio:</b> NÃO É CONVÊNIO		<b>Motivo:</b> NORMAL	
<b>Contratado</b>			
<b>Carteira:</b> RS187192	<b>Profissional:</b> ROBSON ALEX CASTRO SOARES	<b>E-mail:</b> engemost@gmail.com	
<b>RNP:</b> 2210505801	<b>Título:</b> Engenheiro Civil		
<b>Empresa:</b> ENGEMOST SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA		<b>Nr.Reg.:</b>	238354
<b>Contratante</b>			
<b>Nome:</b> MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA		<b>E-mail:</b> gabinete@novaramada.rs.gov.br	
<b>Endereço:</b> AVENIDA GUSTAVO KONIG 95	<b>Telefone:</b> 05533381022	<b>CPF/CNPJ:</b> 01611828000149	
<b>Cidade:</b> NOVA RAMADA	<b>Bairro:</b> CENTRO	<b>CEP:</b> 98758000	<b>UF:</b> RS
<b>Identificação da Obra/Serviço</b>			
<b>Proprietário:</b> MUNICÍPIO DE NOVA RAMADA		<b>CPF/CNPJ:</b> 01611828000149	
<b>Endereço da Obra/Serviço:</b> Avenida GUSTAVO KONIG 95		<b>CEP:</b> 98758000 <b>UF:</b> RS	
<b>Cidade:</b> NOVA RAMADA	<b>Bairro:</b> CENTRO		
<b>Finalidade:</b> OUTRAS FINALIDADES	<b>Vlr Contrato(R\$):</b> 45.567,20	<b>Honorários(R\$):</b>	
<b>Data Início:</b> 20/07/2022	<b>Prev.Fim:</b> 20/09/2022	<b>Ent.Classe:</b>	
<b>Atividade Técnica</b>	<b>Descrição da Obra/Serviço</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>
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:** ENGE MOST 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**



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 RODRIGUES**  
Assinado de forma digital por  
**TIAGO RODRIGUES**  
**BORGES:00725427051**  
BORGES:00725427051  
Dados: 2022.09.23 16:15:24 -03'00'

**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 ALEX  
CASTRO**  
SOARES:02052142070

Assinado digitalmente por ROBSON ALEX CASTRO  
SOARES:02052142070  
ND: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=31057526000131, OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, OU=RFB e-CPF A3, OU=(EM BRANCO), OU=Engenharia, CN=ROBSON ALEX CASTRO SOARES:02052142070  
Localização: Canoas/RS  
Data: 2022.09.23 16:19:22-03'00'  
Foxit PDF Reader Versão: 12.0.1

**Robson Soares**  
Responsável Técnico – CREA-RS 187.192

**TIAGO RODRIGUES  
BORGES:00725427051**

Assinado de forma digital por TIAGO RODRIGUES BORGES:00725427051  
Dados: 2022.09.23 16:15:50 -03'00'

**Tiago Borges**  
Responsável Técnico – CREA-RS 154.518