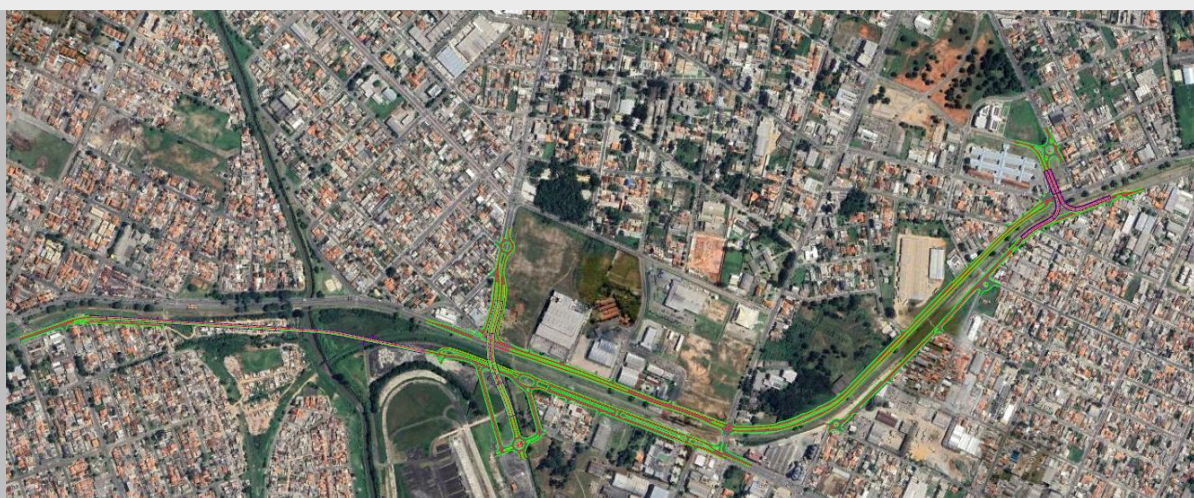


**PROJETO EXECUTIVO DO COMPLEXO VIÁRIO DE ACESSO  
AO TERMINAL DE ÔNIBUS E AUTÓDROMO - PINHAIS/PR**



**VOLUME 3C – MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS (TOMO 1)**  
**VIADUTO (TRECHO 01)**  
**REVISÃO R02**

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. MAPA DE SITUAÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. PROJETO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS E CONTENÇÕES .....</b>	<b>6</b>
1.1 NORMAS .....	6
1.2 SISTEMA DE UNIDADES .....	7
1.3 SOFTWARE .....	7
1.4 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS .....	7
1.5 CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS .....	8
1.6 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO .....	10
<b>2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS .....</b>	<b>11</b>
2.1 INFRAESTRUTURA .....	11
2.2 MESOESTRUTURA .....	13
2.3 SUPERESTRUTURA .....	18
<b>3. CARREGAMENTOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 CARGA PERMANENTE .....	23
3.1.1 <i>Peso Próprio (DEAD)</i> .....	23
3.1.2 <i>Pavimento - Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)</i> .....	23
3.1.3 <i>Guarda-Rodas</i> .....	23
3.1.4 <i>Guarda-Corpo Metálico</i> .....	23
3.1.5 <i>Laje pré-moldada</i> .....	24
3.2 SOBRECARGA .....	24
3.2.1 <i>Coefficiente de ponderação das cargas verticais</i> .....	24
3.2.2 <i>Frenagem e aceleração</i> .....	25
3.3 CARGA DE VENTO .....	25
3.4 TEMPERATURA .....	26
3.5 EMPUXO DE SOLO .....	26
<b>4. COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTOS .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 MODELO DE CÁLCULO .....</b>	<b>28</b>
4.2 DEFINIÇÃO DAS SEÇÕES .....	28
4.2.1 <i>Mesoestrutura</i> .....	29
4.2.2 <i>Superestrutura</i> .....	32
4.3 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS .....	33
4.4 CARREGAMENTOS .....	34
4.4.1 <i>Pavimento - Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)</i> .....	34

4.4.2	<i>Guarda-Rodas</i> .....	35
4.4.3	<i>Laje pré-moldada</i> .....	35
4.4.4	<i>Frenagem</i> .....	36
4.4.5	<i>Trem tipo</i> .....	37
4.4.6	<i>Vento</i> .....	40
4.4.7	<i>Temperatura</i> .....	40
4.4.8	<i>Empuxo do solo</i> .....	42
4.5	<b>ESFORÇOS</b> .....	43
4.5.1	<i>Lajes</i> .....	44
4.5.2	<i>Longarinas</i> .....	49
4.5.3	<i>Travessas</i> .....	50
4.5.4	<i>Pilares</i> .....	51
4.5.5	<i>Muros de Contenção</i> .....	52
4.6	<b>DIMENSIONAMENTO</b> .....	54
4.6.1	<i>Lajes</i> .....	54
4.6.2	<i>Travessas</i> .....	56
4.6.3	<i>Longarinas</i> .....	57
4.6.4	<i>Pilares</i> .....	77
4.6.5	<i>Capacidade de carga das estacas</i> .....	78
4.6.6	<i>Muros de Contenção</i> .....	79
3.1.	<b>OBRAS DE ARTES ESPECIAIS</b> .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
4.	<b>TERMO DE ENCERRAMENTO</b> .....	<b>80</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

A Unidec Engenharia Consultiva Ltda. apresenta o projeto de infraestrutura viária do Complexo Viário de Acesso ao Terminal de Ônibus e Autódromo do município de Pinhais, no Estado do Paraná, contemplando:

<b>Local:</b>	Curitiba/PR – Pinhais/PR
<b>Trecho de projeto:</b>	Trecho 1 - Conexão da Av. Prefeito Maurício Fruet e Av. Iraí Trecho 2 - Viaduto Rua 24 de Maio e Revitalização da Avenida Iraí (Autódromo-Avenida Camilo di Lellis) - Pinhais/PR. Trecho 3 - Avenida Ayrton Senna da Silva e Rua Carlos Drummond de Andrade - Pinhais/PR
<b>Ponto inicial:</b>	Avenida Prefeito Maurício Fruet
<b>Ponto final:</b>	Terminal de Pinhais
<b>Extensão:</b>	9,45 km
<b>Fase:</b>	<b>Projeto Executivo</b>
<b>Relatório:</b>	<b>Volume 3C – Memória de Cálculo de Estruturas (Tomo 1)</b>

QUADRO 1 - APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO

A Fase de Projeto Executivo é composta pelos seguintes volumes:

- Volume 1 - Relatório do Projeto;
- Volume 2 - Projeto de Execução;
- Volume 3 – Memória Justificativa;
- Volume 3A – Estudos Geotécnicos e Levantamentos de Campo;
- Volume 3B – Notas de Serviço e Memória de Cálculo de Volumes de Terraplenagem;
- **Volume 3C – Memória de Cálculo de Estruturas;**
- Volume 3E – Memória de Cálculo de Quantidades.
- Volume 4 - Orçamento das Obras.

O projeto contempla as disciplinas necessárias para a completa implantação do sistema viário componente deste Lote de Execução, incluindo: estudos topográficos, geotécnicos e hidrológicos, e os projetos geométrico, de terraplenagem, drenagem e pavimentação, obras de arte especiais, sinalização e obras complementares, calçadas e acessibilidade, e iluminação. Além das planilhas de quantidades e das considerações básicas para o planejamento e execução das obras.

O projeto foi desenvolvido de acordo com as especificações de serviços do DER/PR e DNIT, além das normativas técnicas dos municípios envolvidos, visando garantir parâmetros técnicos de qualidade, com soluções que atendam técnica e economicamente as necessidades e expectativas dos usuários, com foco na máxima eficiência de mobilidade, interação entre meios de transporte, segurança e

conforto dos agentes envolvidos, sobretudo pedestres e ciclistas, e na integração com o meio ambiente do entorno.



## 2. MAPA DE SITUAÇÃO

Os municípios de Curitiba e Pinhais estão localizados na região sudeste do Estado do Paraná, com latitudes 25°25'47" sul e longitude 49°16'19" oeste (Curitiba) e latitudes 25°26'41" sul e longitude 49°11'33" oeste (Pinhais) . Possuem respectivamente extensão territorial de aproximadamente 435 km<sup>2</sup> (Curitiba) e 61 km<sup>2</sup> (Pinhais) e população estimada em 1.948.626 hab. (Curitiba) e 132.157 hab. (Pinhais), de acordo com Censo IBGE/2020.

Segue mapa de situação com a localização do empreendimento:



FIGURA 1 – PINHAIS - VISÃO GERAL

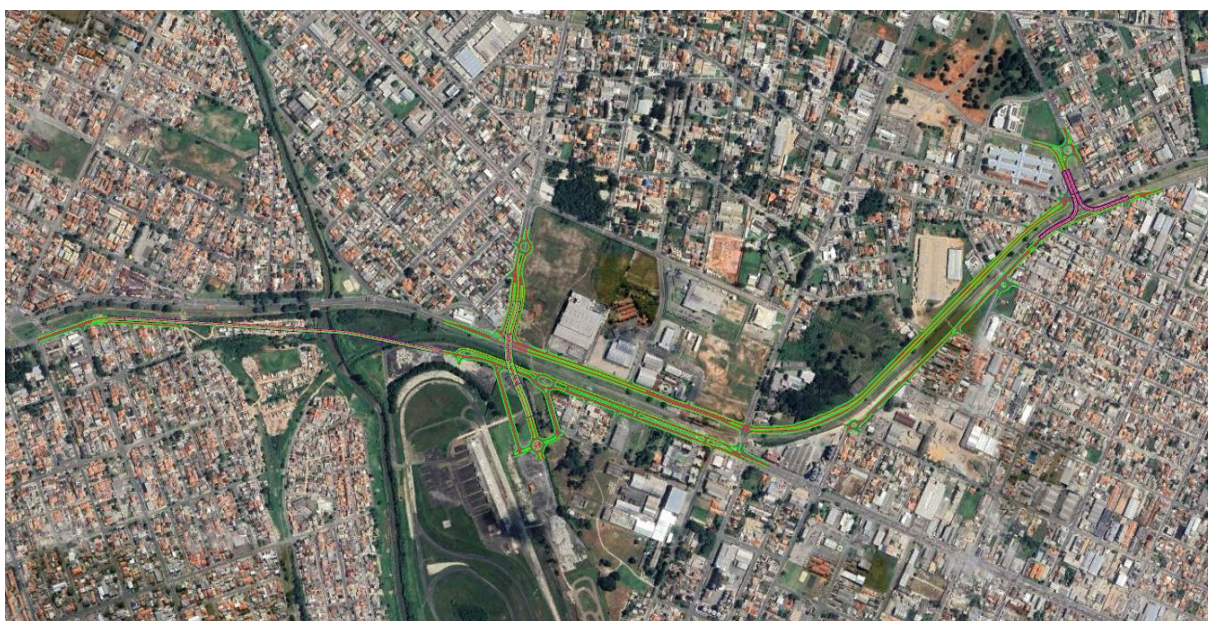


FIGURA 2 - TRECHO DE PROJETO

### 3. PROJETO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS E CONTENÇÕES

O objetivo deste memorial é apresentar e justificar os critérios, especificações técnicas e dimensionamentos correspondentes ao projeto executivo das estruturas da OAE (Obra de Arte Especial) do viaduto de conexão entre a Avenida Prefeito Maurício Fruet (Curitiba) E Avenida Irai localizado no município de Pinhais, no Paraná.

O viaduto, faz parte do complexo viário de acesso ao terminal de ônibus e autódromo de pinhais, terá como objetivo a melhoria do tráfego de veículos e acesso ao terminal de ônibus de pinhais.

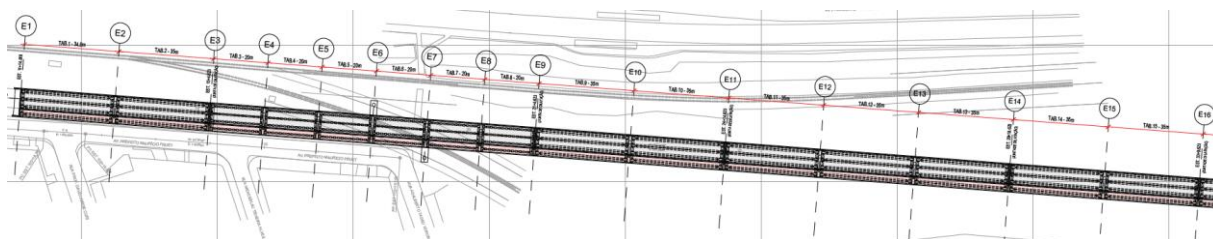


FIGURA 3 - IMPLANTAÇÃO - EIXOS E1 A E16

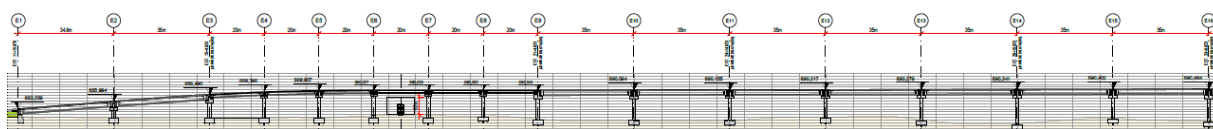


FIGURA 4 - ELEVÇÃO TRECHO 1 - EIXOS E1 A E16

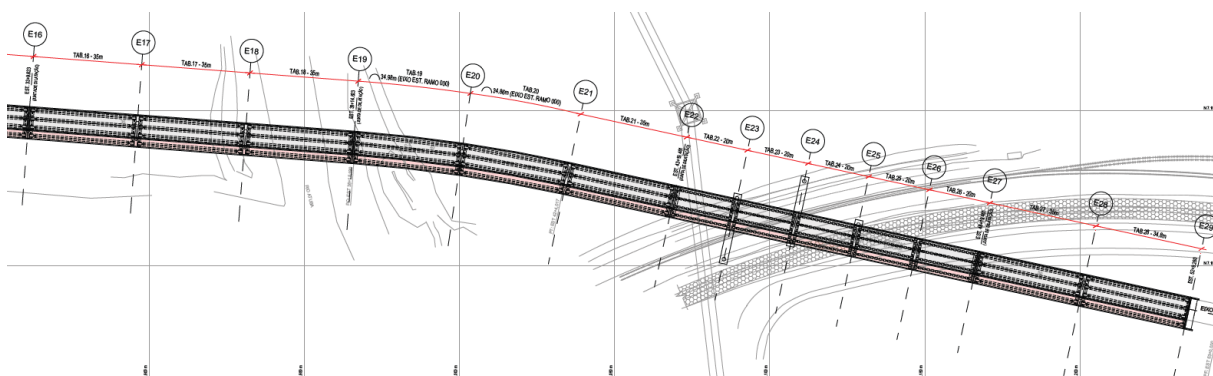


FIGURA 5 - IMPLANTAÇÃO - EIXOS E16 A E29

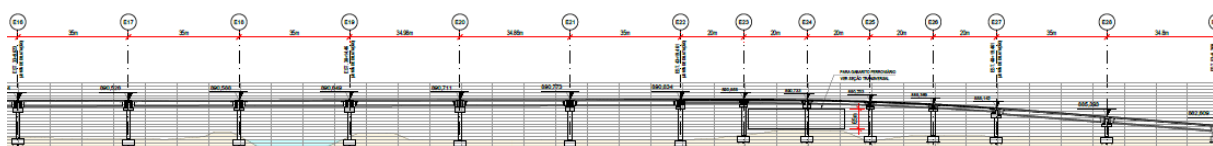


FIGURA 6 - ELEVÇÃO TRECHO 2 - EIXOS E16 A E29

#### 1.1 NORMAS

Para o dimensionamento da estrutura foram utilizadas as seguintes normas:

- NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto;
- NBR 6122:2022 – Projeto e execução de fundações;

- NBR 6123:2023 – Forças devido ao vento em edificações;
- NBR 7187:2021 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido;
- NBR 7188:2024 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas;
- NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;
- NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

## **1.2 SISTEMA DE UNIDADES**

Todas as unidades são apresentadas no Sistema Internacional de Unidades (SI), exceto quando indicado contrário.

## **1.3 SOFTWARE**

Para a análise da estrutura foram utilizados os softwares SAP 2000 v. 21, TQS, Calculadora de vigas protendidas V-Pro e, em cálculos auxiliares, foi utilizado o software MS Excel.

## **1.4 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS**

Os elementos estruturais em concreto armado foram desenvolvidos de forma a atender as recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2023).

Os parâmetros de resistência adotados para o concreto foram:

- Resistência característica a compressão ( $f_{ck}$ ) para vigas pré-moldadas, pré-lajes e laje  $\geq 40$  MPa;
- Resistência característica a compressão ( $f_{ck}$ ) para demais elementos estruturais  $\geq 30$  MPa;
- Cobrimento externo mínimo de 30 mm para lajes, vigas e pilares e de 50 mm para os demais elementos estruturais;
- Aço de armadura passiva do tipo CA-50 com resistência ao escoamento de 500MPa e módulo de elasticidade de 210GPa;
- Cordoalha para protensão CP190-RB com resistência de escoamento de 1700 MPa.

Os elementos estruturais em aço foram desenvolvidos de forma a atender as recomendações da NBR 8800 (ABNT, 2008).

- Estacas metálicas HP310x79 - Aço ASTM 572 GR50 – Tensão limite de escoamento 345 MPa;



## 1.5 CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS

A definição das condições geotécnicas foi realizada de acordo com os boletins de sondagens SPT, desenvolvidos pela CCL Serviços em Rodovias.

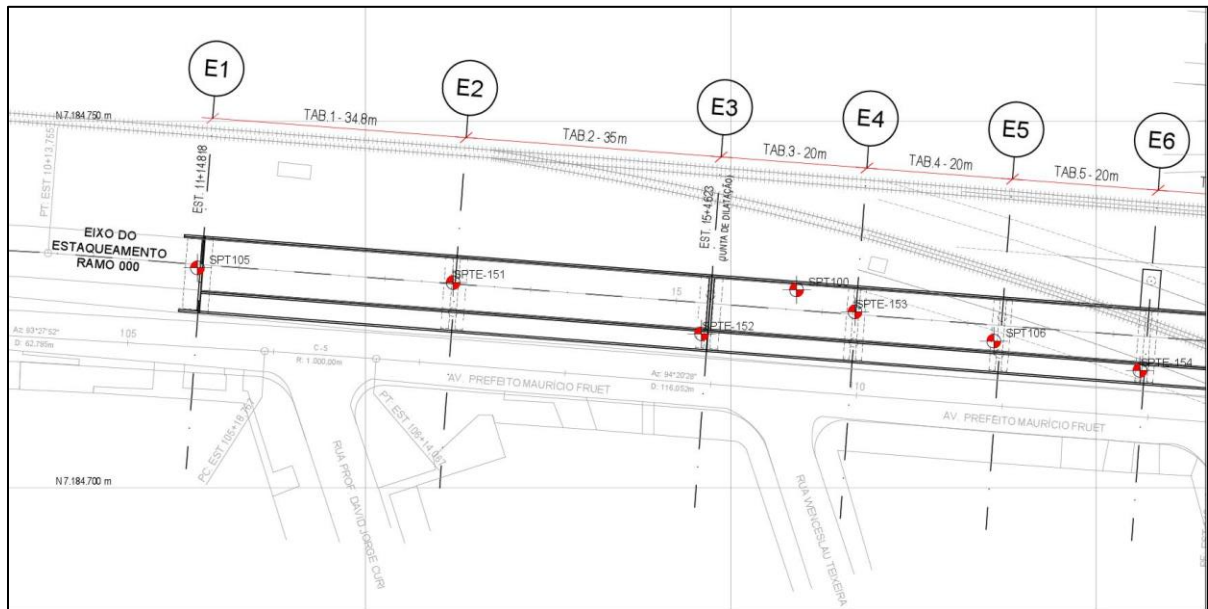


FIGURA 7 - SONDAGENS 01/06

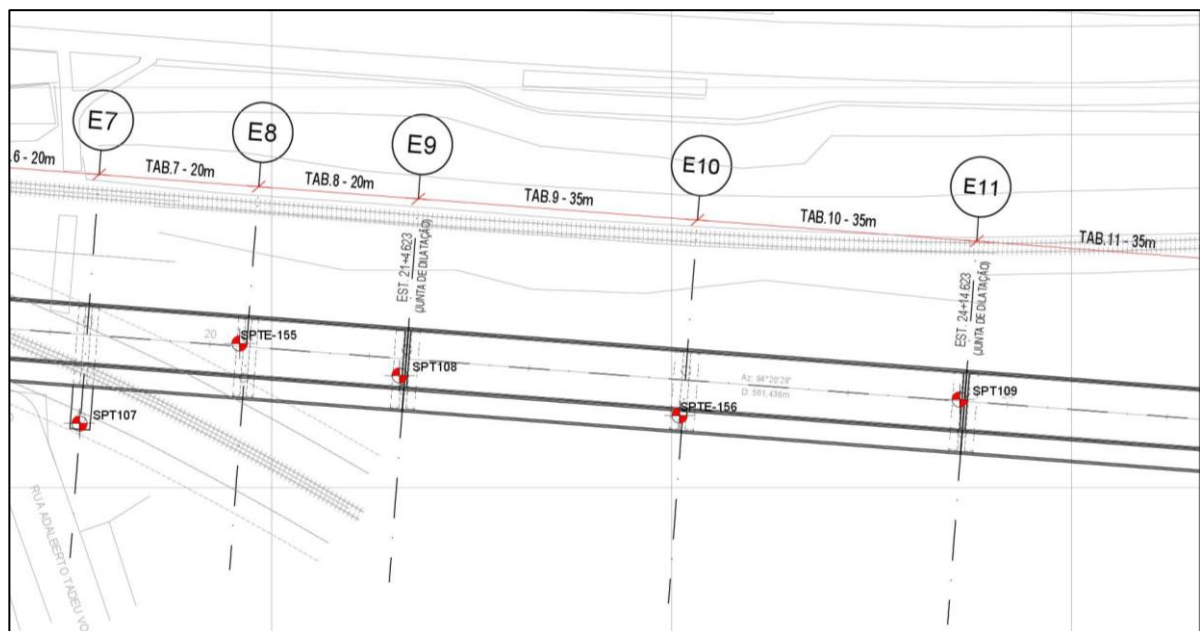


FIGURA 8 - SONDAGENS 02/06

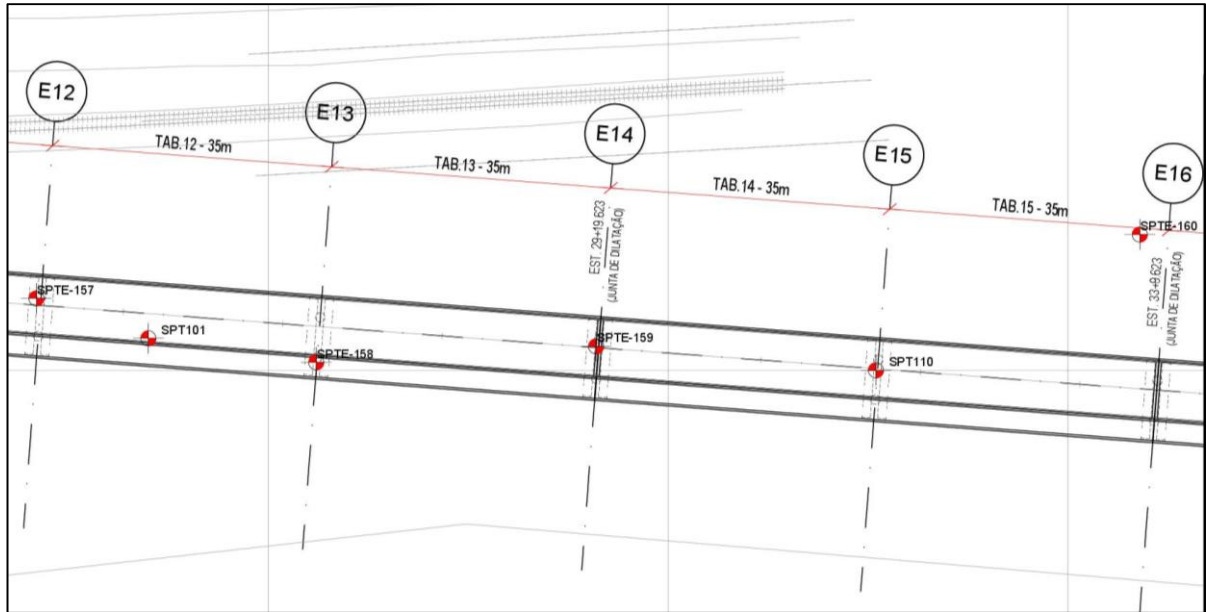


FIGURA 9 - SONDAGENS 03/06

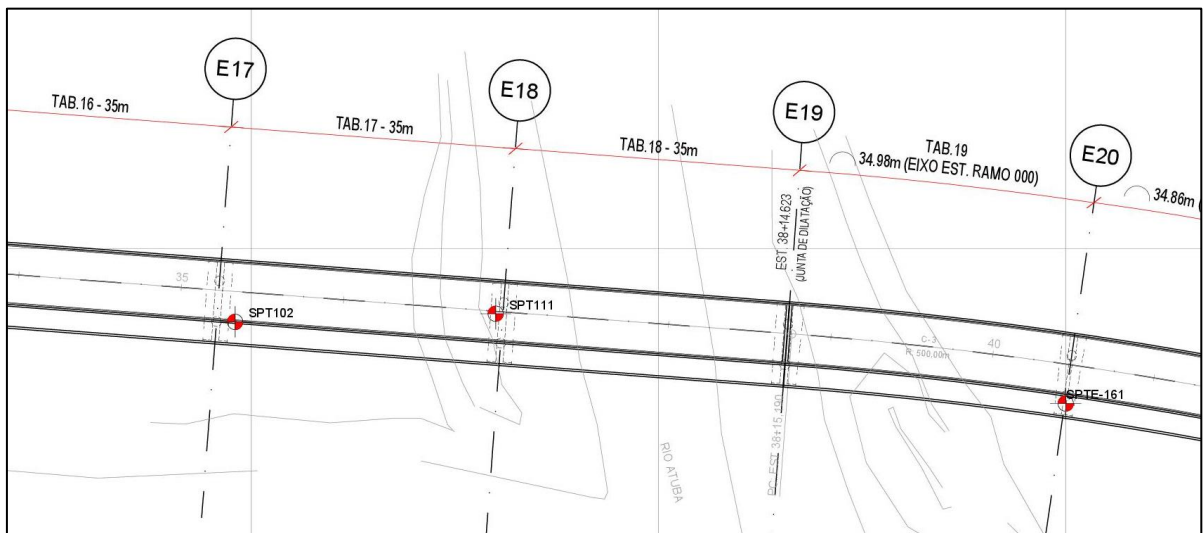


FIGURA 10 - SONDAGENS 04/06

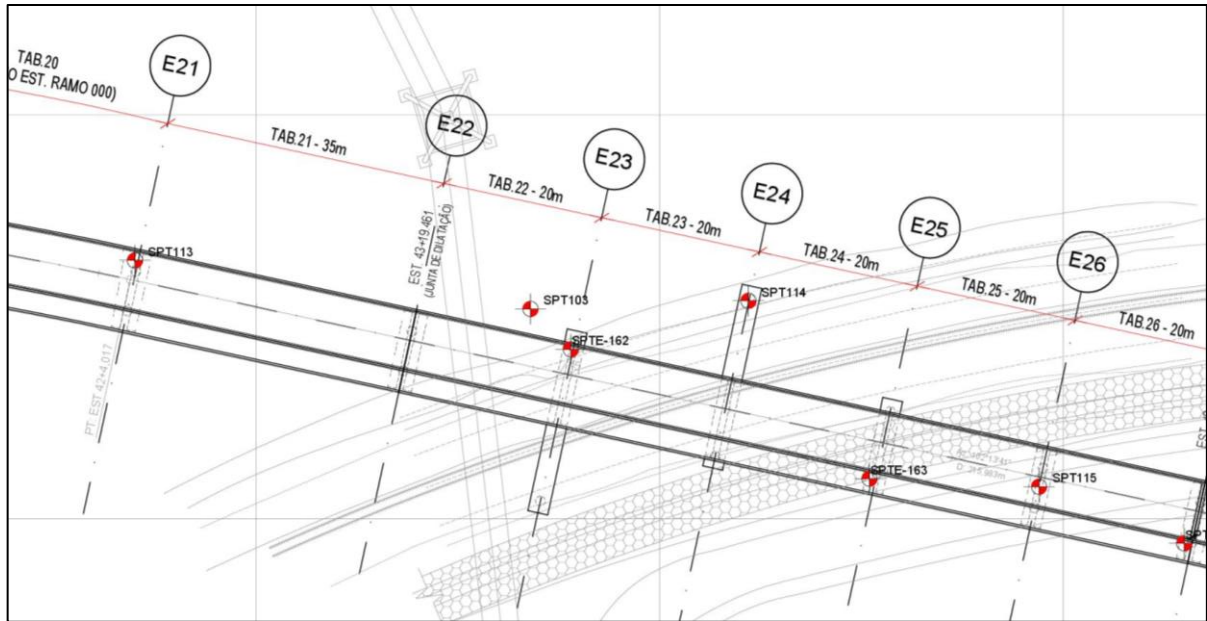


FIGURA 11 - SONDAGENS 05/06

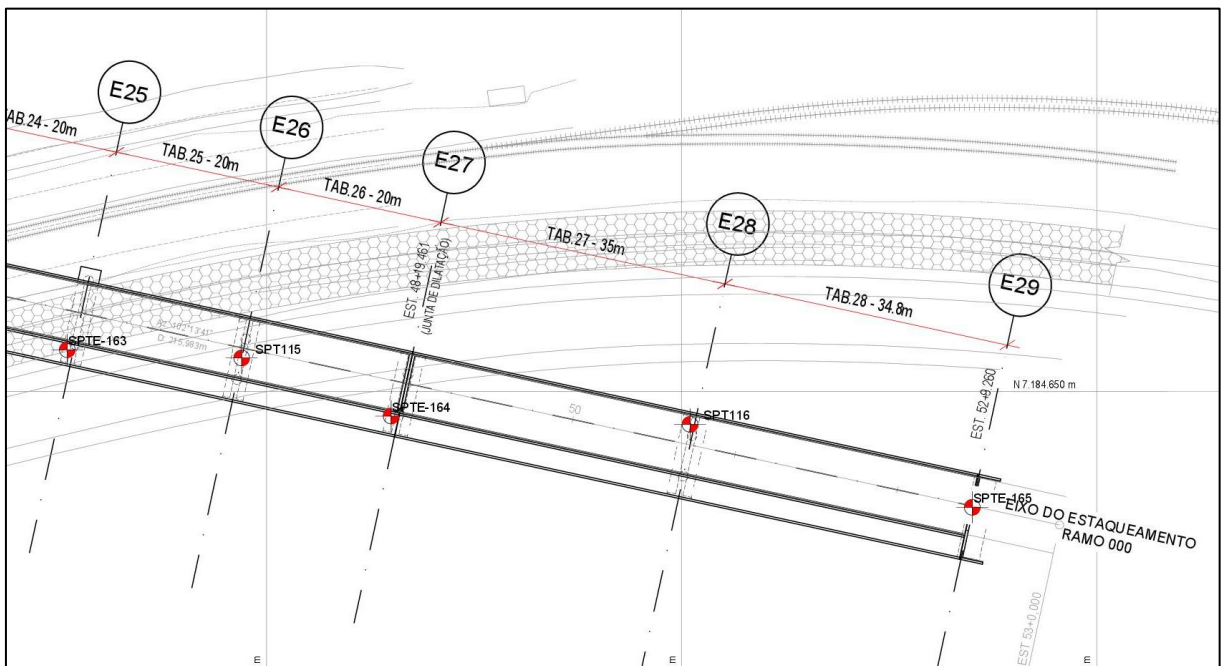


FIGURA 12 - SONDAGENS 06/06

## 1.6 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

Todas as estruturas foram dimensionadas segundo o método dos estados limites últimos (ELU) e verificadas para atendimento aos estados limites de serviço (ELS).

## 2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

### 2.1 INFRAESTRUTURA

A infraestrutura é composta pelas estacas metálicas e os blocos de fundação. Como solução para a estrutura foram adotados um conjunto de 468 estacas de perfil metálico HP 310x79, distribuídos em 56 blocos de fundação.

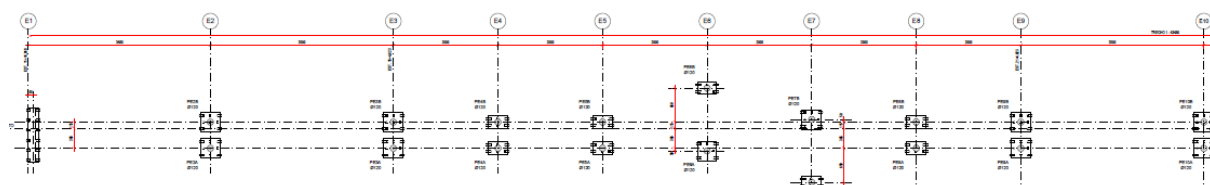


FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FUNDAÇÃO (EIXOS E1 AO E10)

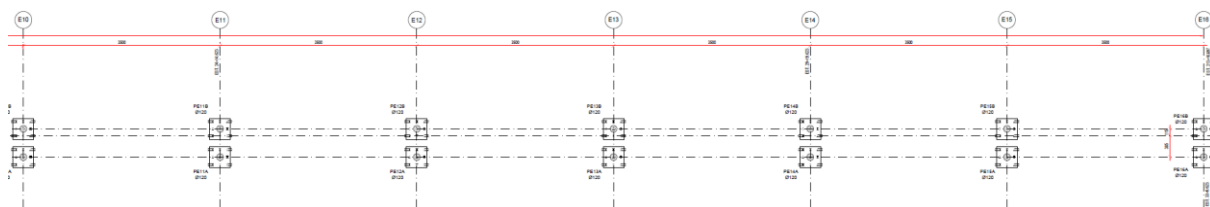


FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FUNDAÇÃO (EIXOS E10 AO E16)

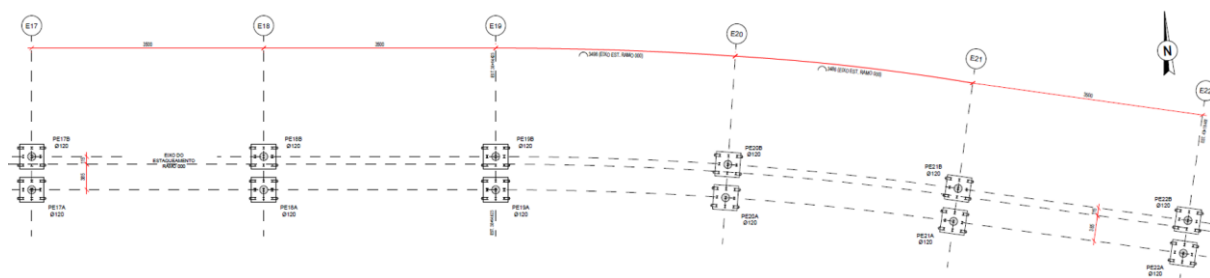


FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FUNDAÇÃO (EIXOS E17 AO E22)

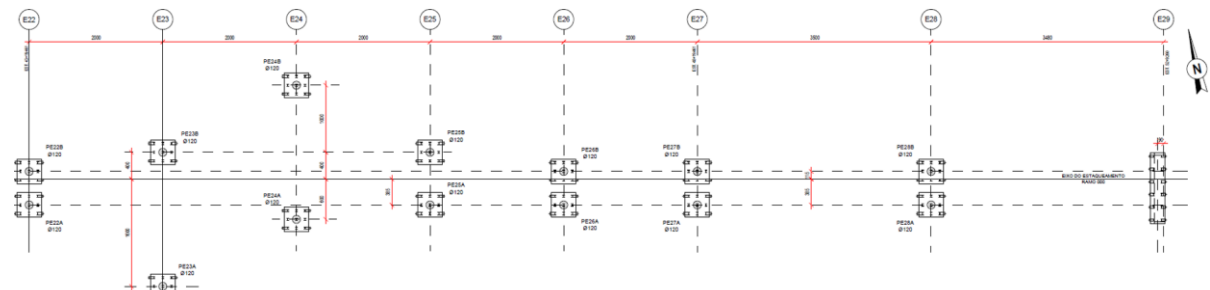


FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FUNDAÇÃO (EIXOS E22 AO E29)

O conjunto de blocos de fundação é dividido entre três distintos, sendo para os Eixo E1 e E29 adotado um bloco com dimensões de 10,50 m x 2,10 m em planta e 1,50 m de altura, com 12 estacas metálicas, por eixo.

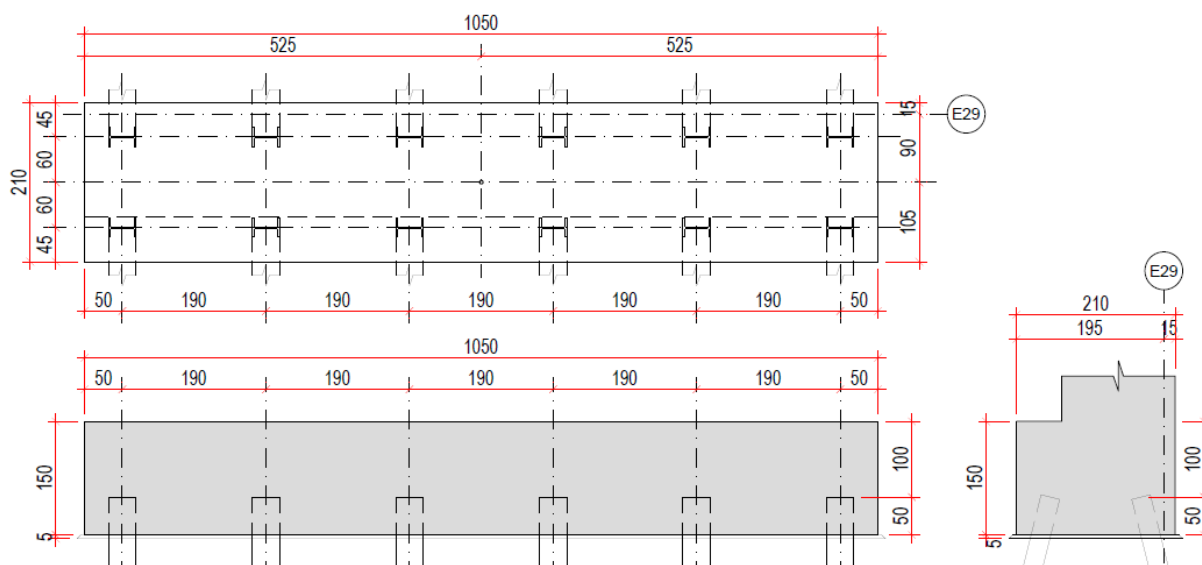


FIGURA 17 – DETALHES DO BLOCO DE FUNDAÇÃO EIXO E1 E E29

Para os pilares PE2A-B, PE3A-B, PE6A, PE7B, PE9A-B ao PE22A-B, PE23B, PE24A, PE27A-B e PE28A-B os blocos têm 3,70 m x 3,70 m em planta e 1,65m de altura com 9 estacas metálicas.

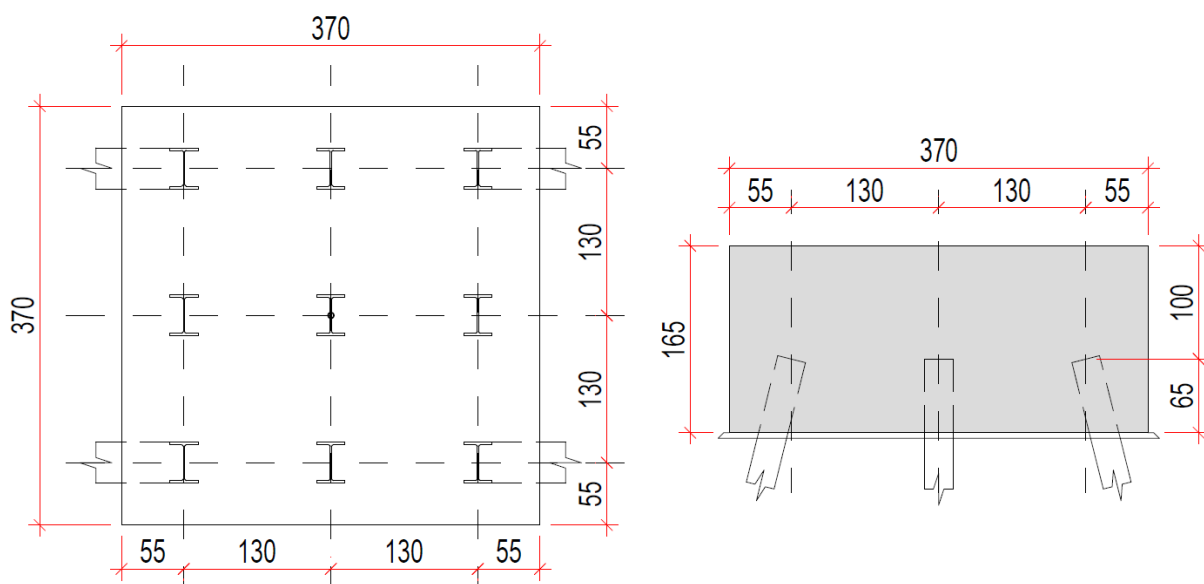


FIGURA 18 – DETALHES DOS BLOCOS DE FUNDAÇÃO (3,70M X 3,70M)

Para os pilares PE4A-B, PE5A-B, PE6B, PE7A, PE8A-B, PE23A, PE24B, PE25A-B, PE26A-B blocos têm 3,70 m x 2,40 m em planta e 1,65m de altura com 6 estacas.

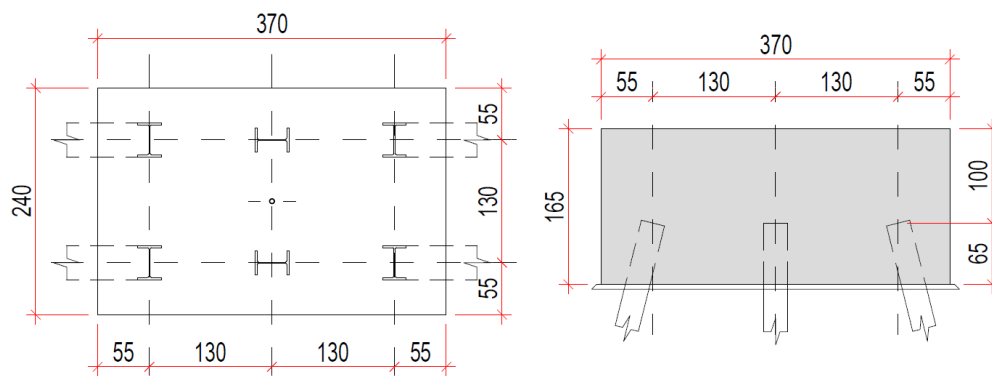


FIGURA 19 – DETALHES DOS BLOCOS DE FUNDAÇÃO (3,70M X 2,40M)

## 2.2 MESOESTRUTURA

A mesoestrutura é composta pelos pilares e vigas travessas. A estrutura é formada por 32 pilares circulares com 1,2m de diâmetro, distribuídos em pares do eixo E2 ao E28.

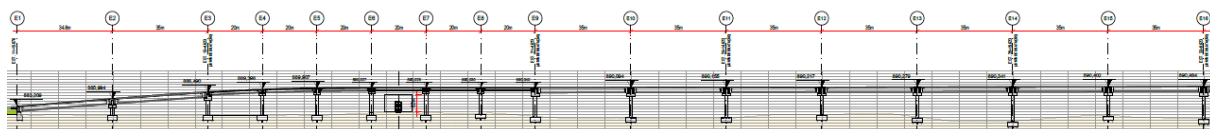


FIGURA 20 ELEVÇÃO VIADUTO (EIXOS E1 AO E16)

Para os encontros nos eixos E1 e E29 foi detalhada uma parede de concreto com 30 cm de espessura, com um consolo para apoio da laje de transição e tem formato de U, para suportar as cargas do aterro. Cada apoio extremo conta com uma camada de solo-cimento, cuja principal função é garantir transição de rigidez do pavimento sobre o solo e sobre a estrutura, bem como evitar fuga de material – visando mitigar manifestações patológicas na região inicial da OAE. Patologias essas comuns nas regiões de transições, tais como degraus na pista.

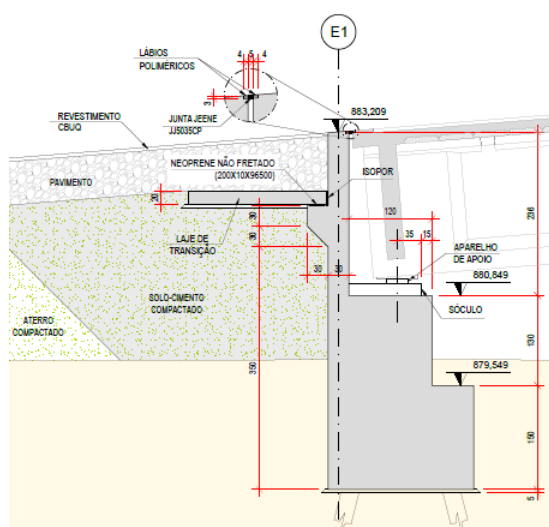


FIGURA 21 – SEÇÃO EIXO E1 E E29



Sobre os pilares foram detalhadas vigas travessas equipadas com aparelhos de apoio em Neoprene fretado onde serão apoiadas as longarinas do tabuleiro.

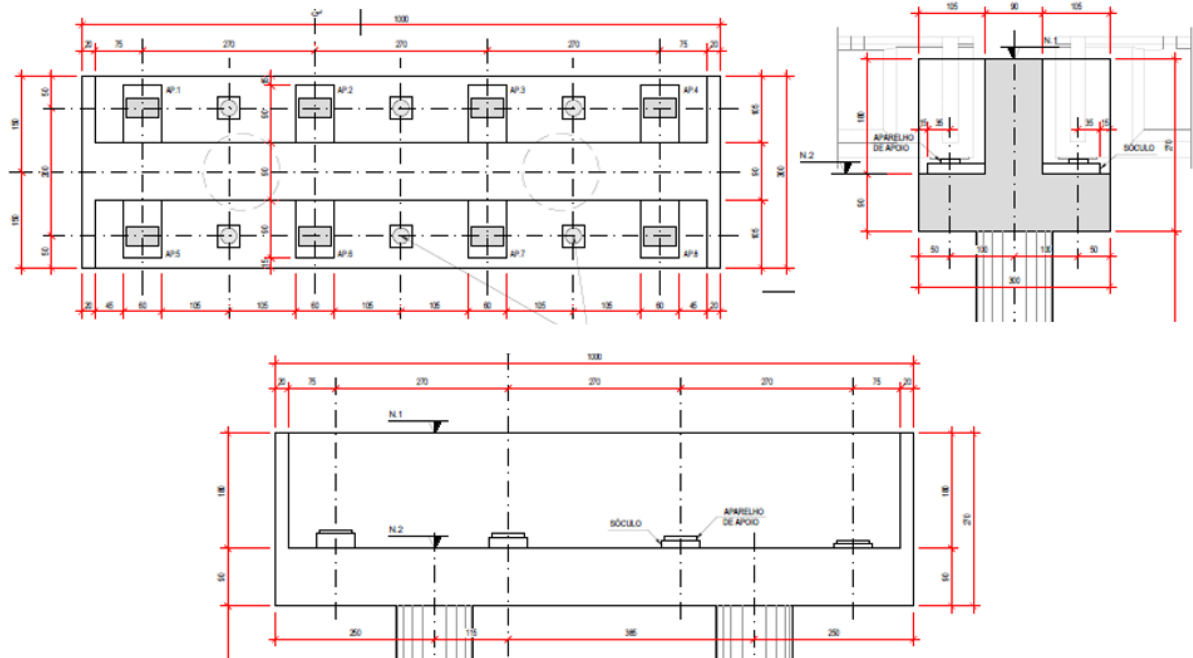


FIGURA 22 – SEÇÕES TRAVESSAS (EIXOS E2, E10 AO E18)

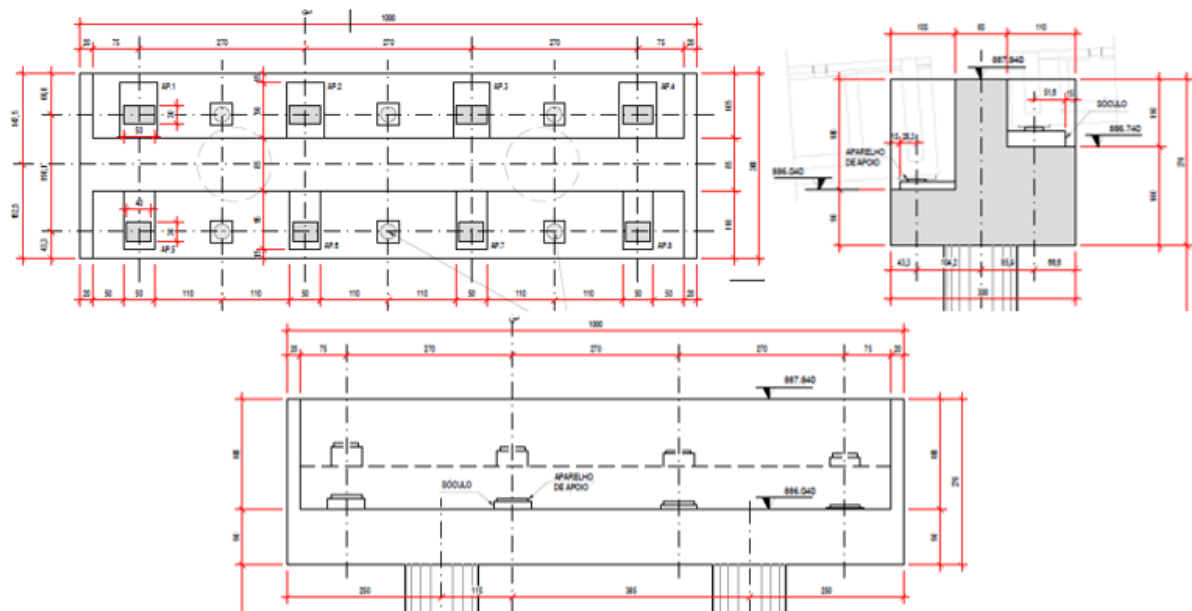


FIGURA 23 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E3 E E22)

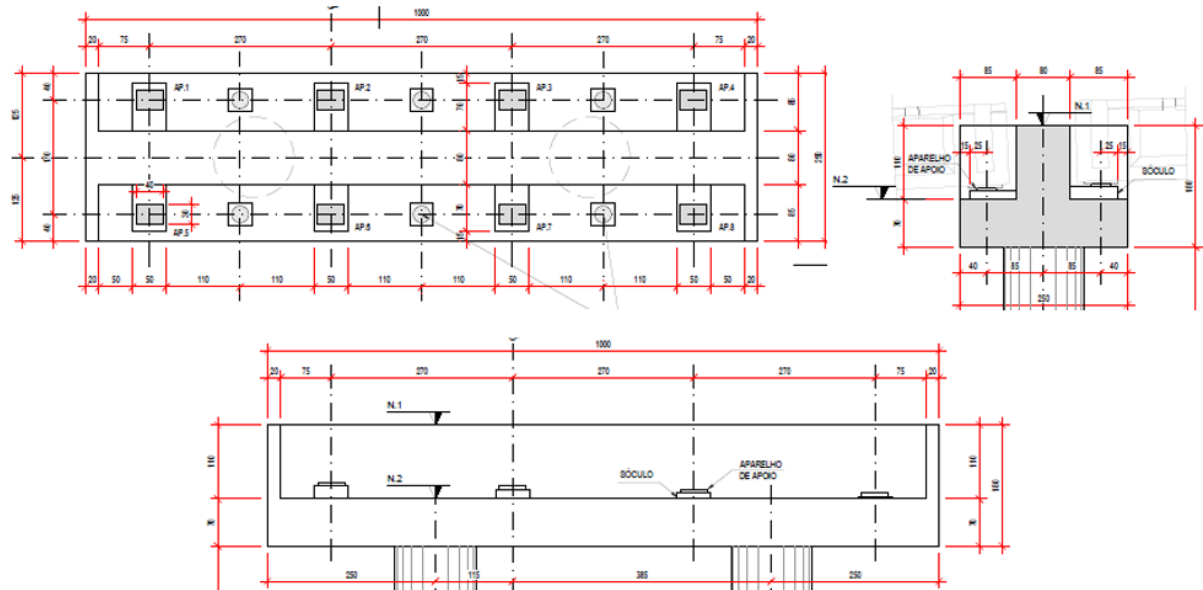


FIGURA 24 – SEÇÕES TRAVESSAS (EIXOS E4, E5, E8 E E26)

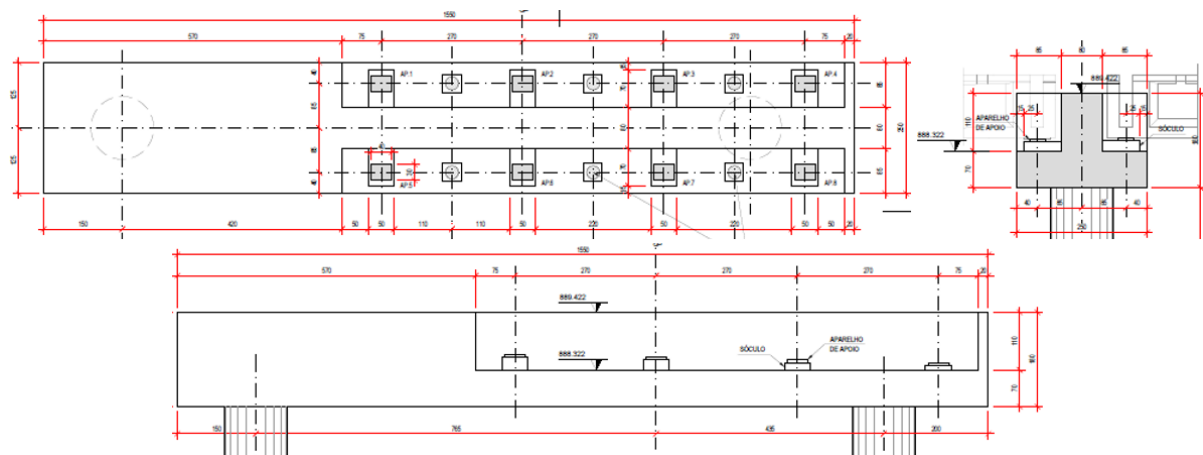


FIGURA 25 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E6)

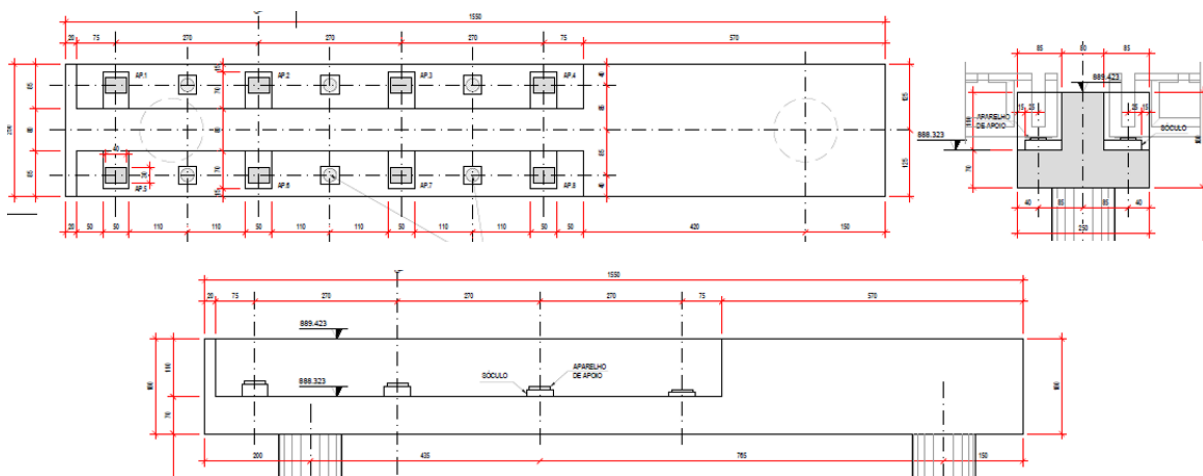


FIGURA 26 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E7)

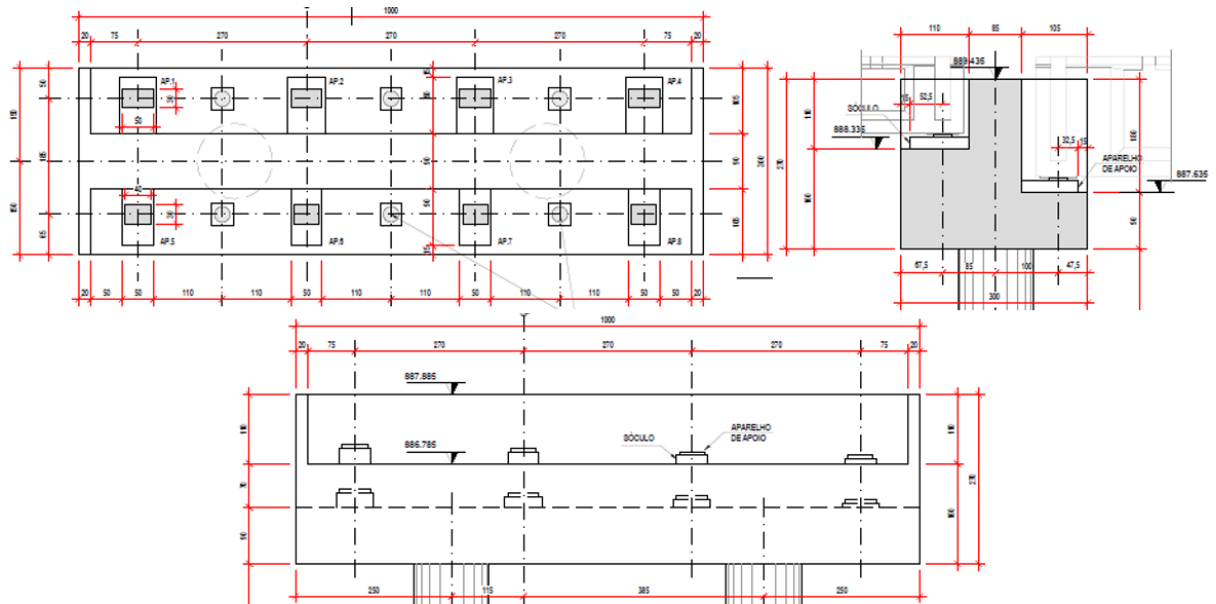


FIGURA 27 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E9 E E27)

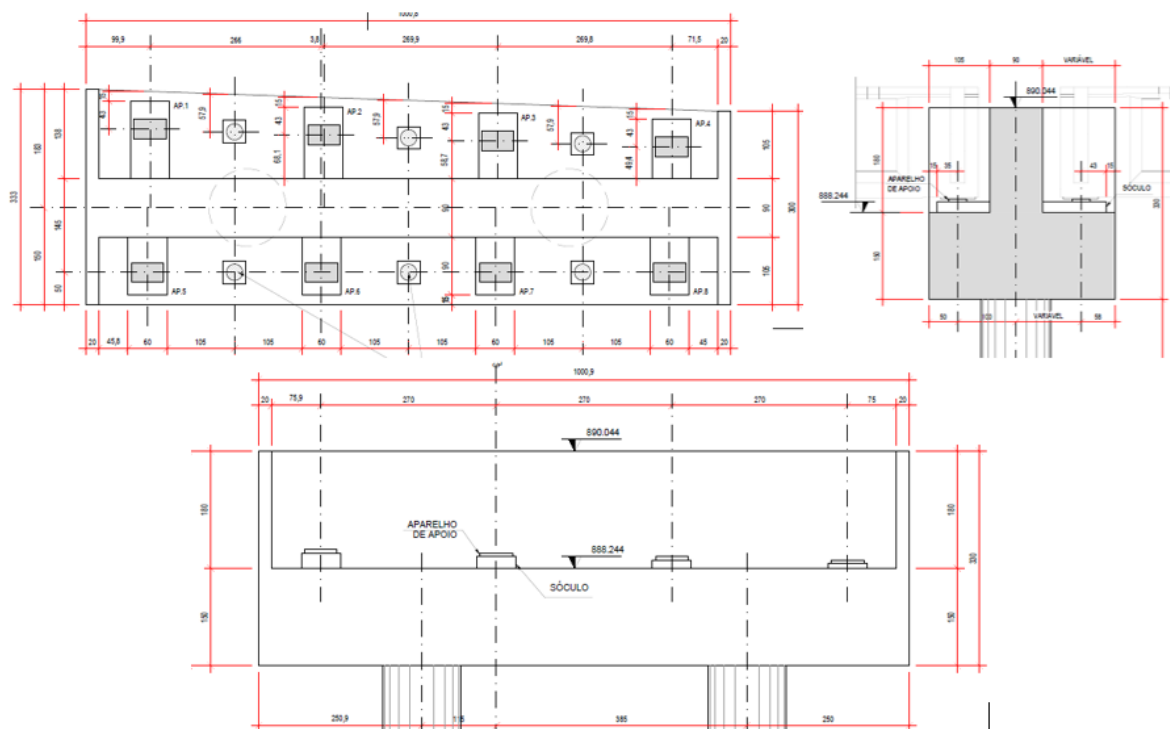


FIGURA 28 - SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E19)

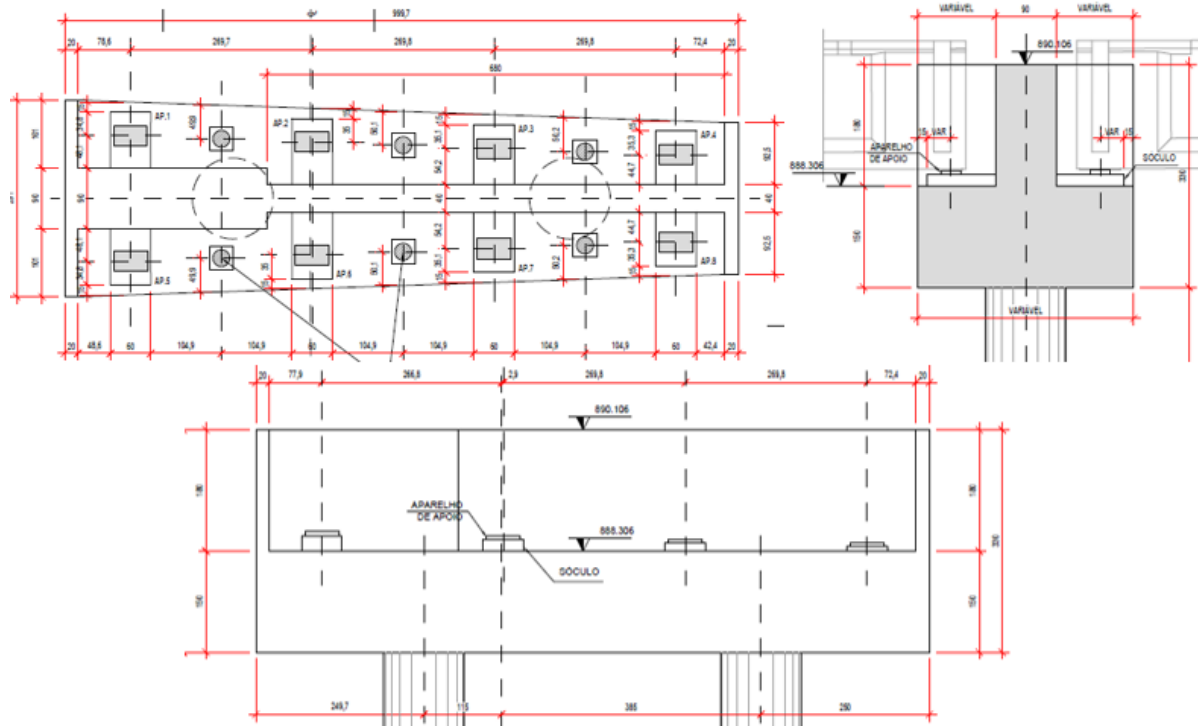


FIGURA 29 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E20)

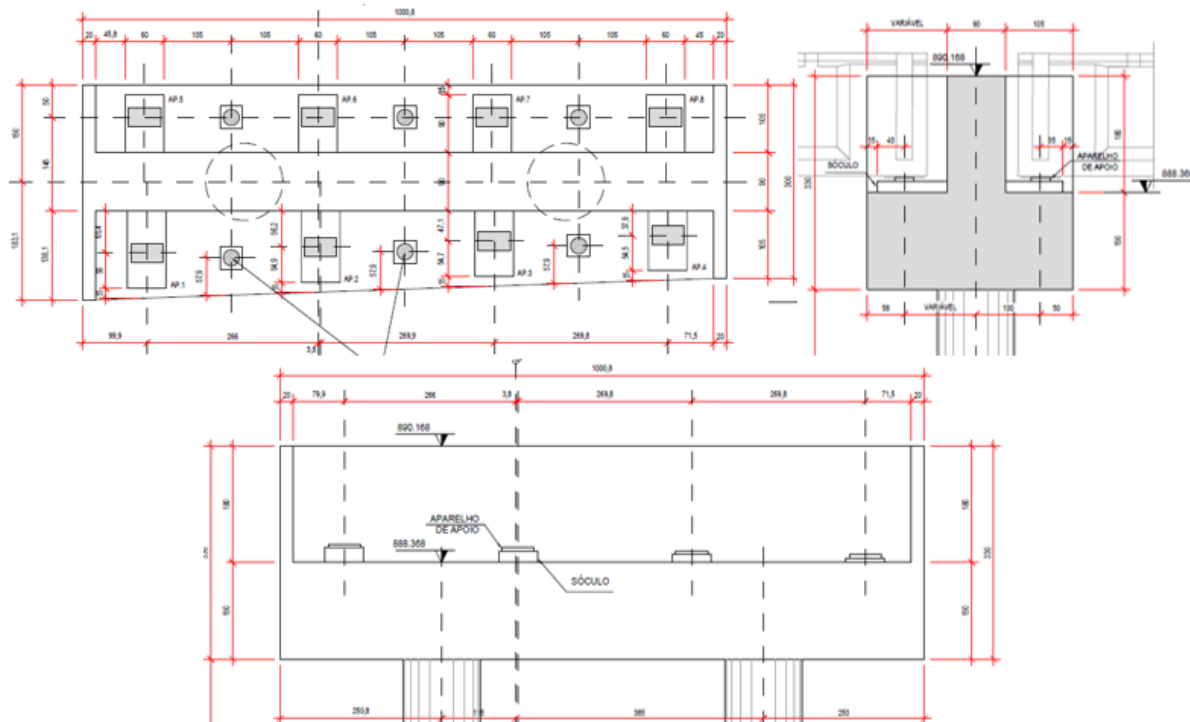


FIGURA 30 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E21)

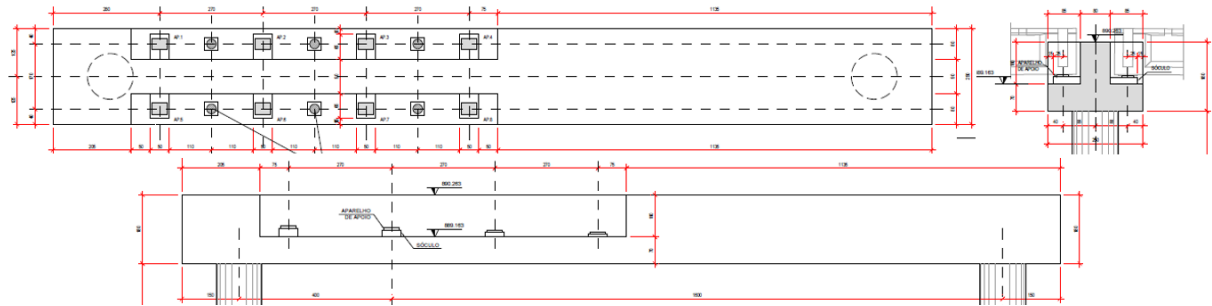


FIGURA 31 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E23)

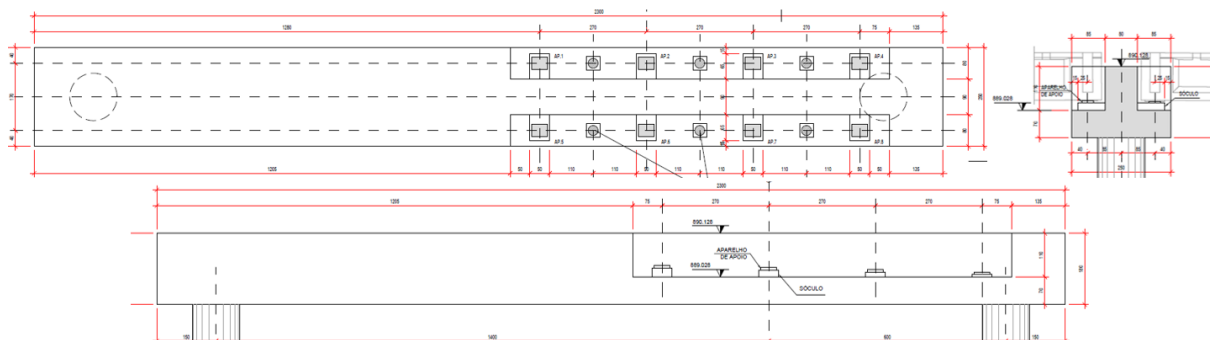


FIGURA 32 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E24)

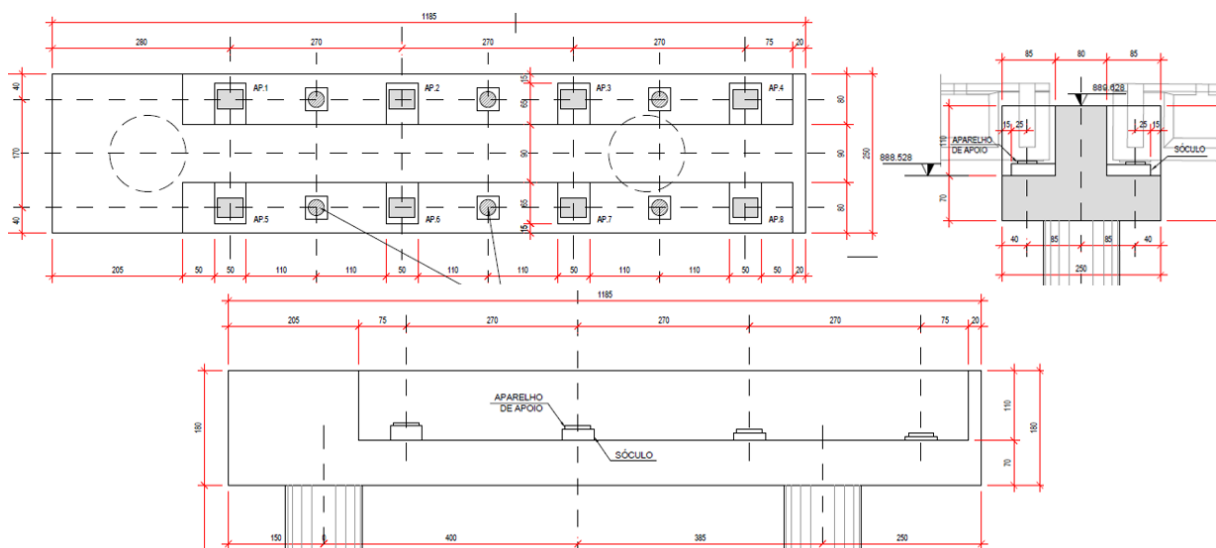


FIGURA 33 – SEÇÕES TRAVESSA (EIXO E25)

## 2.3 SUPERESTRUTURA

A superestrutura é formada pelas longarinas e as lajes dos tabuleiros. Para a estrutura foram adotadas duas diferentes larguras, sendo 35 m e 20 m. Para o tabuleiro com 35,00 m foram detalhadas longarinas com 33,70 m de comprimento, 1,10 m de largura e 1,90 m de altura.

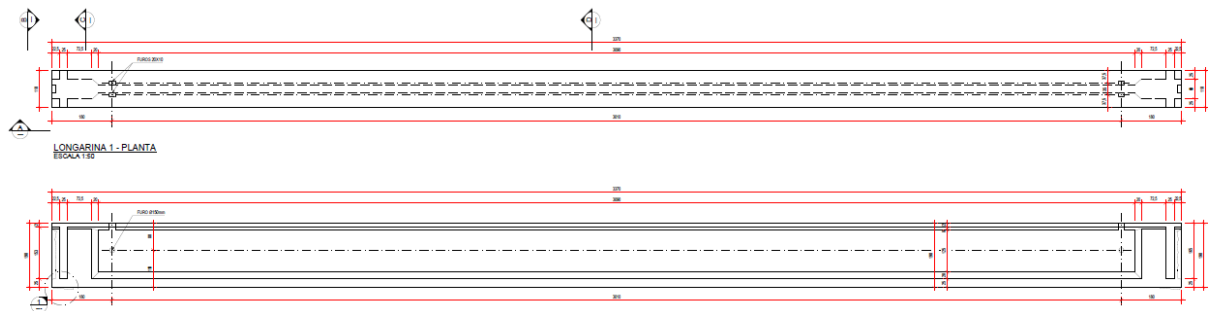


FIGURA 34 – LONGARINA 1

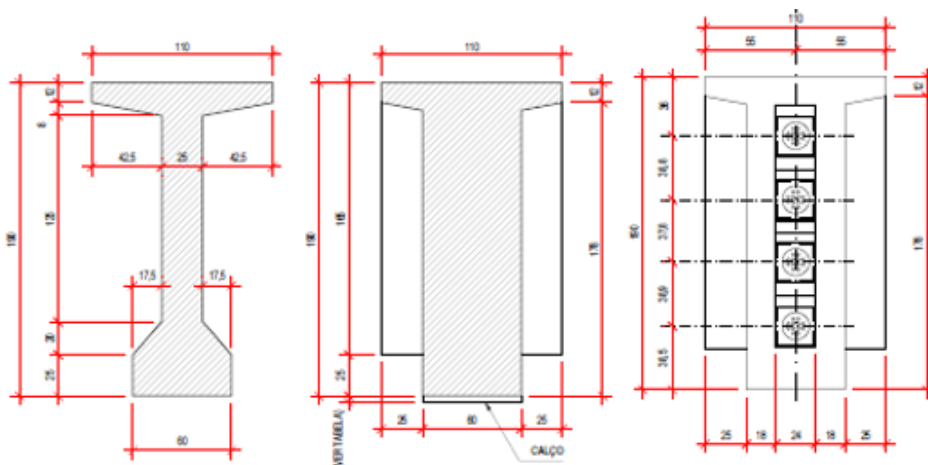


FIGURA 35 – SEÇÕES TRANSVERSAIS (LONGARINA 1)

Para o tabuleiro com 20,00 m, foram detalhadas longarinas com 19,00 m de comprimento, e dimensões de 0,65 m de largura e 1,20 m de altura.

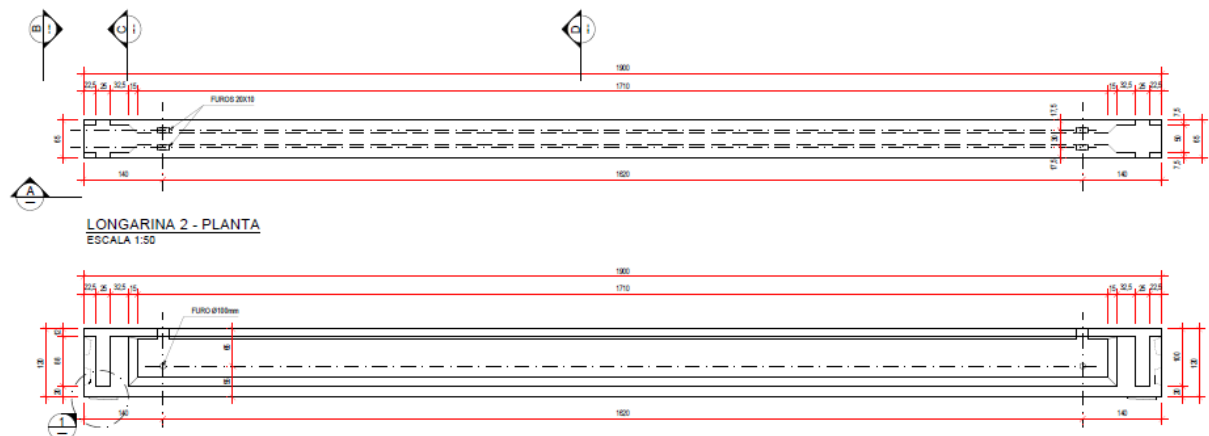


FIGURA 36 – LONGARINA 2



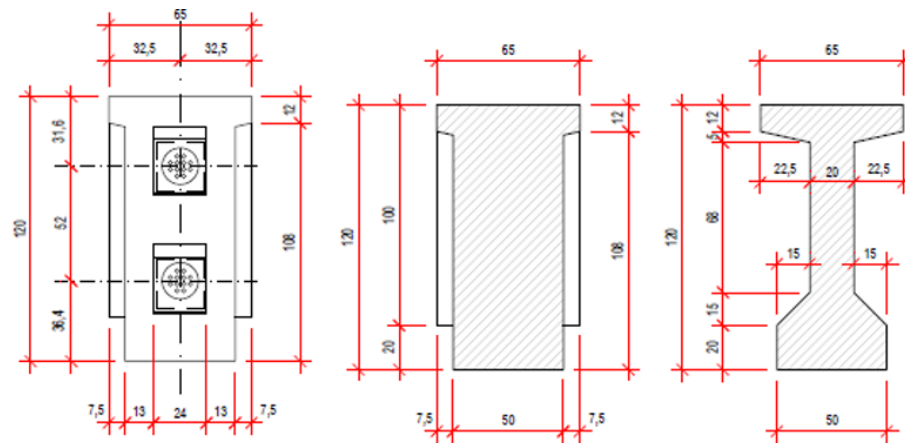


FIGURA 37 – SEÇÕES TRANSVERSAIS (LONGARINA 2)

Sobre as longarinas serão apoiadas placas pré-laje, com tamanhos variados de acordo com a longarina utilizada.

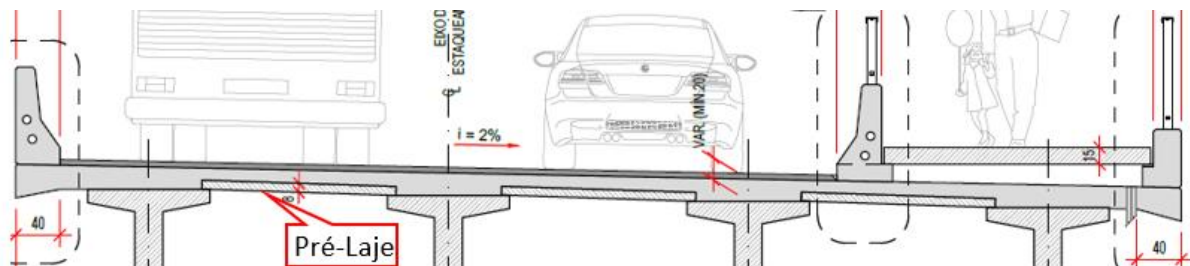


FIGURA 38 – SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA

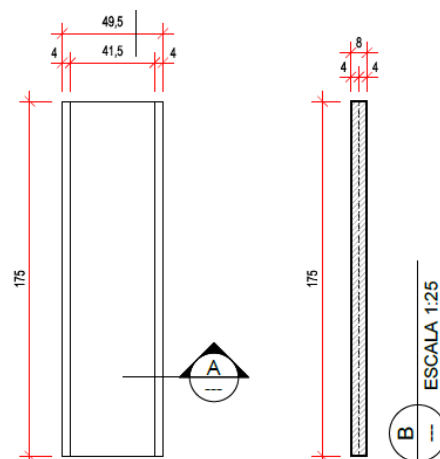


FIGURA 39 – FORMA PRÉ-LAJE P/ LONGARINA 1

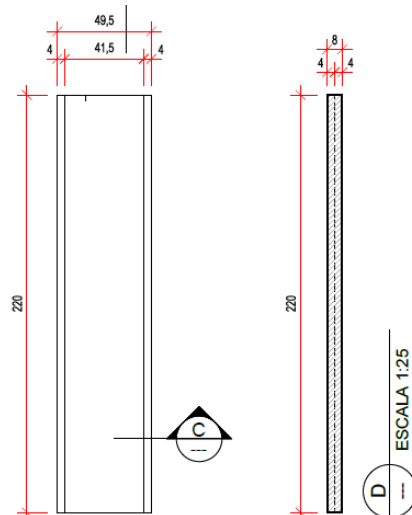


FIGURA 40 - FORMA PRÉ-LAJE P/ LONGARINA 2

Para completar os tabuleiros, foram projetadas vigas transversinas entre as longarinas e a laje de concreto “in-loco”. Nos eixos foram projetadas juntas de dilatação E1, E3, E9, E11, E14 e E16 entre os tabuleiros.

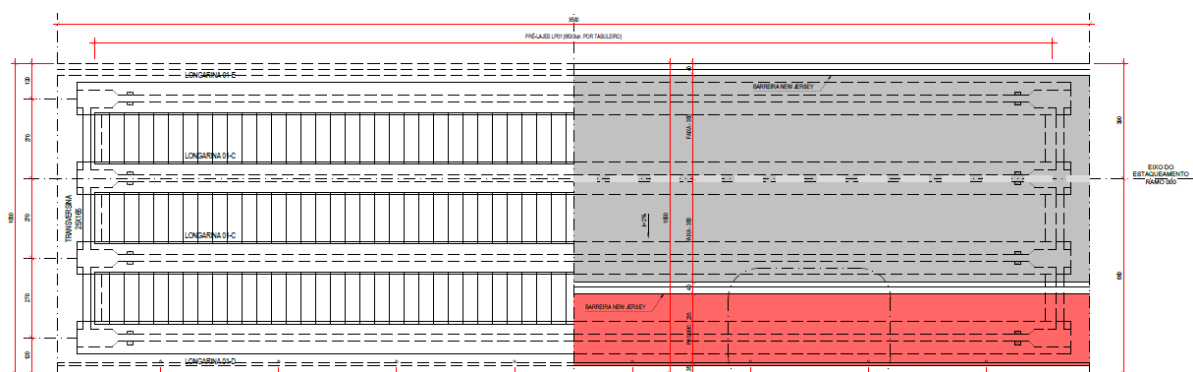


FIGURA 41 – PLANTA TABULEIRO 35 M

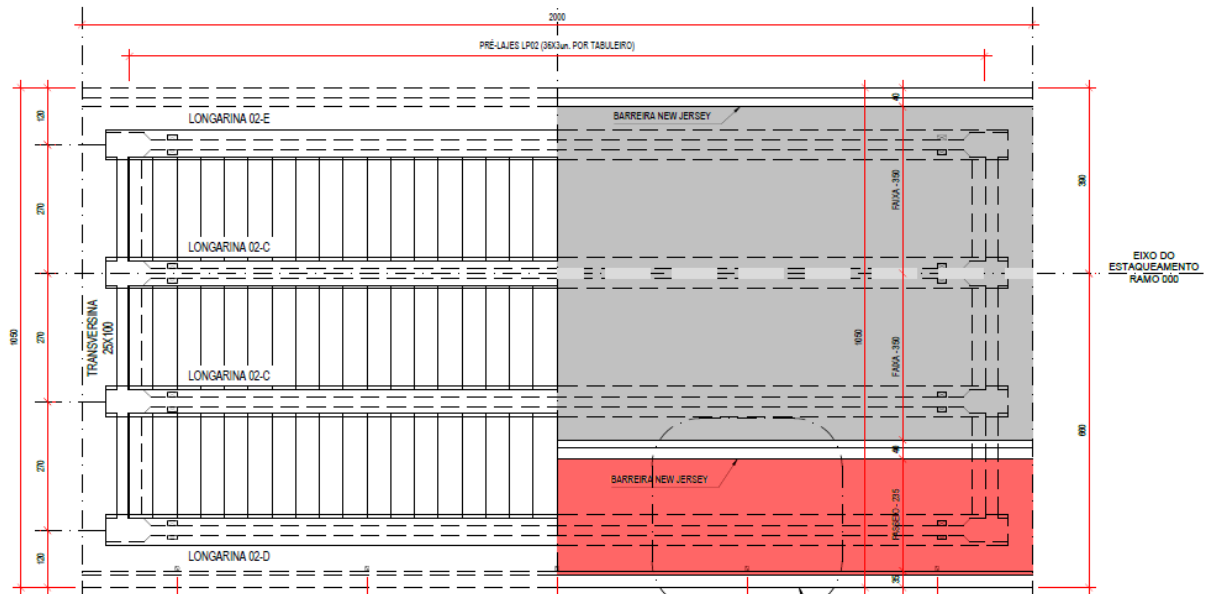


FIGURA 42 – PLANTA TABULEIRO 20 M

A OAE ainda será equipada com barreiras de proteção tipo New Jersey para a segurança dos seus usuários. Sobre a faixa de passeio foram posicionadas placas de concreto pré-moldado, para a circulação de pedestres.

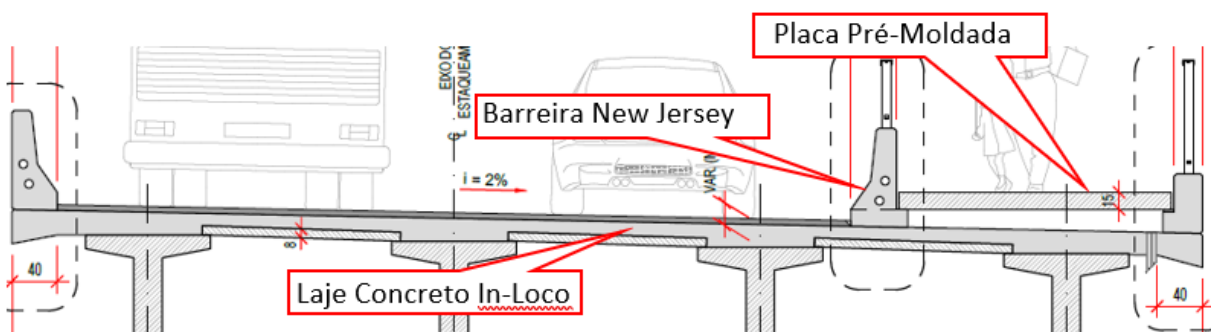


FIGURA 43 – SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA

### 3. CARREGAMENTOS

A estrutura do viaduto está submetida à diferentes tipologias de esforços provenientes de carregamentos estáticos, como o peso próprio das estruturas que compõe a OAE e de sobrecargas verticais e os efeitos ocasionados pelos carregamentos móveis sobre a laje da estrutura (veículos e pedestres).

São também consideradas ações ocasionadas por fenômenos naturais, tais como o vento atuante sobre a face longitudinal do viaduto, o empuxo do solo sobre as estruturas dos encontros e os efeitos ocasionados pela variação de temperatura sobre a estrutura.

#### 3.1 CARGA PERMANENTE

As imagens a seguir apresentam os elementos nas estruturas dos Encontros Estruturados e do Viaduto, que foram considerados como cargas permanentes.

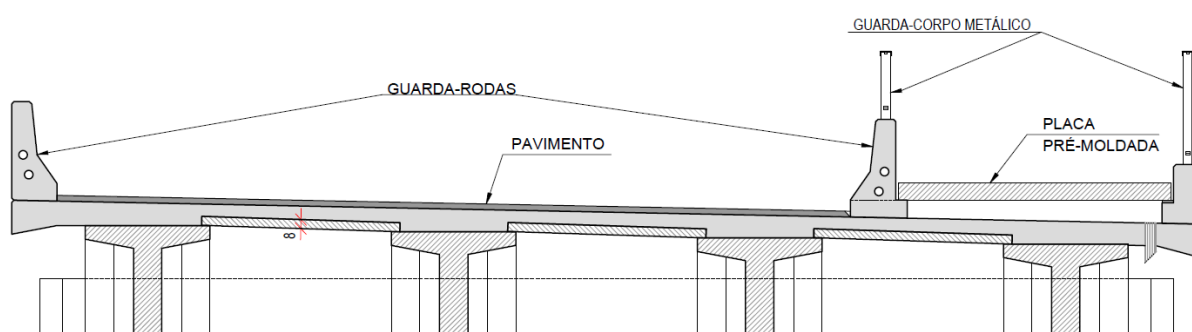


FIGURA 44 – ELEMENTOS CARGA PERMANENTE

##### 3.1.1 *Peso Próprio (DEAD)*

O peso próprio das estruturas é gerado automaticamente pelo software SAP2000, a partir dos dados de entrada dos materiais e seções, válido para todas as seções e elementos estruturais.

##### 3.1.2 *Pavimento - Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)*

Para a pavimentação da estrutura em CBUQ foi adotado um peso específico de  $2400 \text{ kg/m}^3$  em toda a faixa de rolagem, considerando uma espessura igual a 5cm.

##### 3.1.3 *Guarda-Rodas*

Para o guarda-rodas de concreto foi adotado um peso específico de  $2500 \text{ kg/m}^3$ . As cargas foram aplicadas na estrutura conforme as posições indicadas nas figuras 59 e 60.

##### 3.1.4 *Guarda-Corpo Metálico*

Para o guarda corpo metálico foi considerado um peso específico linear de  $30 \text{ kg/m}$ . O guarda-corpo será instalado sobre o guarda-roda, conforme as posições indicadas nas figuras 59 e 60.

### 3.1.5 Laje pré-moldada

Nas faixas de passeio da estrutura estão sendo previstos laje pré-moldadas, com espessura de 15 cm. Para o carregamento foi considerado um peso específico de  $2500 \text{ kg/m}^3$ , aplicado na estrutura conforme a posição do passeio, mostrado nas figuras 59 e 60.

## 3.2 SOBRECARGA

Conforme as recomendações da NBR 7188 (ABNT, 2024), foi considerada a atuação de uma sobrecarga no valor de  $5,0 \text{ kN/m}^2$  sobre toda a área da faixa de rolagem, e  $3,0 \text{ kN/m}^2$  sobre a faixa de passeio, correspondente à sobrecarga de multidão. O valor correspondente à carga foi configurado para atuar concomitantemente com o veículo tipo definido para atuação sobre a laje durante a modelagem da estrutura, conforme as definições detalhadas no item a seguir.

Foi considerado o tráfego do caminhão de projeto TB-45, conforme preconizado na NBR 7188 (ABNT, 2024) e ilustrado na figura a seguir.

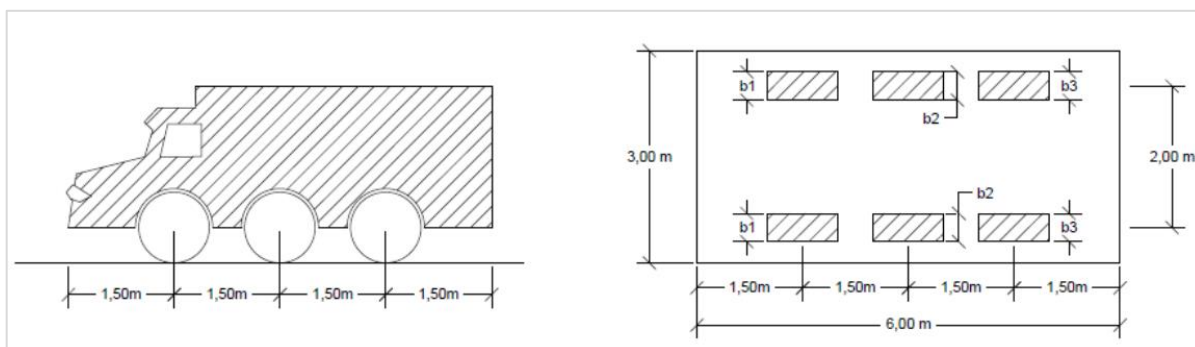


FIGURA 45 – ESPECIFICAÇÃO DO TREM-TIPO

### 3.2.1 Coeficiente de ponderação das cargas verticais

Conforme estabelecido na NBR 7188 (ABNT, 2024), o efeito das ações dinâmicas poderá ser ponderado através dos coeficientes descritos a seguir:

- Coeficiente de impacto vertical – CIV:
  - Para estruturas com vão entre 10,0m e 200,0m

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

Onde:

- *Liv* = Vão em metros para o cálculo do CIV, conforme o tipo de estrutura
- Coeficiente de número de faixas – CNF

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

Onde:

$n = \text{número de faixas de tráfego}$

- Coeficiente de impacto adicional – CIA, utilizado para o dimensionamento da estrutura nas regiões das juntas estruturais a extremidade da obra.

Estruturas em concreto:  $CIA = 1,25$

### 3.2.2 Frenagem e aceleração

As forças de frenagem e aceleração dos veículos em movimento sobre o tabuleiro da ponte são consideradas na estrutura conforme as especificações da NBR 7188 (ABNT, 2024), sendo:

$$H_f = 0,25 \cdot B \cdot L \cdot CNF$$

Onde:

- $B = \text{Largura efetiva}$
- $L = \text{Comprimento concomitante}$
- $CNF = \text{Coeficiente do número de faixas}$

Segundo a norma NBR 7188 as forças de frenagem devem ser maiores que 135 kN ( $H_f \geq 135 \text{ kN}$ ).

### 3.3 CARGA DE VENTO

Para as cargas de vento, os dados e os parâmetros considerados para o cálculo da pressão de obstrução, estão de acordo com a norma NBR 6123 (ABNT, 2023).

Vento em Pontes (NBR 6123:2023) R 0			
Parâmetro de susceptibilidade à excitação aerodinâmica			
$\rho = 1,226$	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do ar de referência	
B = 10,5	m	Largura total do tabuleiro	
L <sub>p</sub> = 33	m	Maior vão da ponte	
f <sub>v</sub> = 2,64		Frequência do 1º modo de vibração por flexão vertical do tabuleiro (Hz = 1/s) ou 50 L <sub>p</sub> < f <sub>v</sub> < 100 L <sub>p</sub>	
m = 15156,8	kg/m	Massa por unidade de comprimento do tabuleiro	
V <sub>0</sub> = 42	m/s		
S <sub>1</sub> = 1			
S <sub>2</sub> = 0,88	III/C		
S <sub>3</sub> = 1,11			
z = 10	m		
Rugosidade do terreno	III		
p = 0,2			
bm = 0,85			
V <sub>ae</sub> = 25,76			
P <sub>ae</sub> = 0,039			
Classe P <sub>ae</sub> = Classe 1 Os efeitos dinâmicos devidos ao vento podem ser desconsiderados			
Forças devidas ao vento em tabuleiros para análise estática			
Componente força direção X		Componente força direção Z	Componente força direção Y
$\rho = 1,226$	kg/m <sup>3</sup>	$\rho = 1,226$	kg/m <sup>3</sup>
Vk (z) = 41,0	Velocidade característica do vento incidente, no nível z do tabuleiro	Vk (z) = 41,0	Velocidade característica do vento incidente, no nível z do tabuleiro
H <sub>eq</sub> = 4,15	m	H <sub>eq</sub> = 2,15	m
C <sub>x</sub> = 0,8		C <sub>z</sub> = 0,5	-1,0
F <sub>x</sub> = 8,7	kN/m	F <sub>z</sub> = 5,8	-10,4 kN/m
			F <sub>y</sub> = 2,2 kN/m



### 3.4 TEMPERATURA

Os efeitos de temperatura foram simulados através da aplicação de um carregamento de “variação de temperatura” com variações de  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5 EMPUXO DE SOLO

Para os carregamentos provenientes dos empuxos de solo, foi considerada uma camada de solo típica onde foram adotados os seguintes parâmetros para a determinação do carregamento atuante sobre a estrutura:

- *Peso específico do solo:*  $\gamma_s = 1800 \text{ kg/m}^3$
- *Ângulo de atrito:*  $30^{\circ}$
- $K_a = 0,333$
- $h = 2,2 \text{ m}$
- $Ea = 1/2 \cdot K_a \cdot \gamma_s \cdot h^2 \quad \therefore \quad Ea = 1437,48 \text{ kgf/m}^2$

#### 4. COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTOS

Neste projeto, as ações consideradas para a determinação dos efeitos mais desfavoráveis são o peso próprio da estrutura, as cargas permanentes, a carga móvel do trem-tipo máxima e mínima, as cargas de empuxo, vento e temperatura.

Todas as combinações foram criadas conforme as especificações da norma NBR 8681.

Foram geradas combinações para o Estado Limite Último (ELU), cujo objetivo é verificar a integridade dos elementos estruturais e o dimensionamento geotécnico das fundações e para o Estado Limite de Serviço (ELS), para a avaliação dos estados limites de descompressão, formação e abertura de fissuras e limites de deslocamento.

As combinações para o Estado Limite Último (ELU) são dadas pela seguinte expressão:

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

O índice "g" refere-se às cargas permanentes, consideradas em todas as combinações. O índice "ε" representa as ações indiretas permanentes e variáveis, como a temperatura. As ações variáveis diretas, identificadas com o índice "q", são combinadas aplicando-se os coeficientes de majoração pertinentes em função da natureza da ação, permitindo a redução de ações de diferentes naturezas com os coeficientes de redução  $\psi_0$ .

Tabela 4.1 – Coeficientes de ponderação das ações (ELU)

CARGAS	$\gamma_f$		$\psi_0$
	D	F	
Permanentes ( $\gamma_g$ )	1,35	1,0	-
Móveis ( $\gamma_q$ )	1,5	-	0,7
Vento ( $\gamma_q$ )	1,4	-	0,6
Temperatura ( $\gamma_{\varepsilon q}$ )	1,2	-	0,6

A partir dos carregamentos atuantes na estrutura foram definidos grupos de combinações, a fim de reproduzir as condições necessárias para a obtenção dos esforços máximos nos elementos estruturais e verificar o comportamento global da estrutura.

Tabela 4.2 – Combinações básicas (ELU)

COMBINAÇÃO	CARGAS PERMANENTES	SOBRECARGAS (VEÍCULO + SC. MULT. + FRENAGEM)	TEMPERATURA	VENTO
ELU 1	1,35	1,50	0,72	0,84
ELU 2	1,35	1,05	1,20	0,84
ELU 3	1,35	1,05	0,72	1,40
ELU 4	1,00	1,50	0,72	0,84
ELU 5	1,00	1,05	1,20	0,84
ELU 6	1,00	1,05	0,72	1,40

Para a apresentação dos esforços máximos nos elementos estruturais foi gerado uma combinação envoltória nos modelos de cálculo elaborados no SAP2000. Essa combinação considera todas as possíveis situações de carregamentos, seguindo os critérios das combinações básicas apresentadas na tabela acima.

#### 4.1 MODELO DE CÁLCULO

Para o dimensionamento da estrutura foi elaborado um modelo de cálculo no software SAP2000. Neste modelo foi considerado os dois trechos (1 e 2) da estrutura.

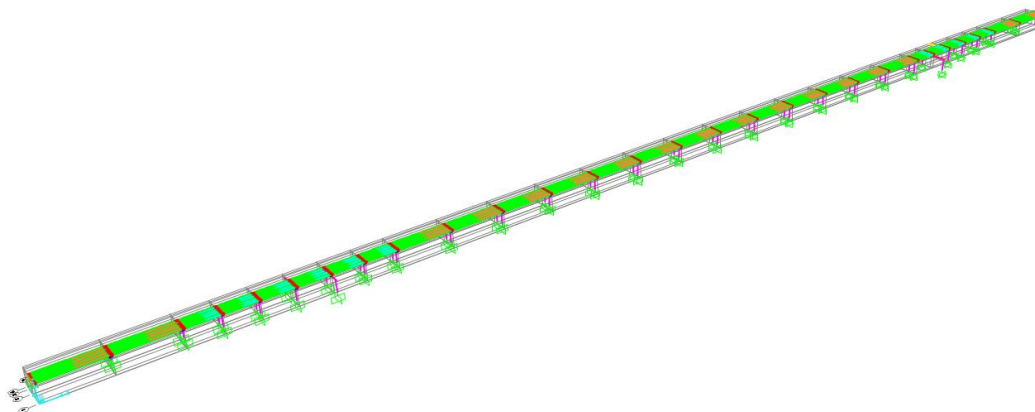


FIGURA 46 – MODELO 3D NO SAP2000

#### 4.2 DEFINIÇÃO DAS SEÇÕES

Para definição das seções foram utilizadas tipologias de elementos finitos incorporadas no software SAP 2000. Foram adotados elementos do tipo “shell” para a definição das lajes, e elementos tipo “frame” para os pilares e vigas travessas e longarinas.

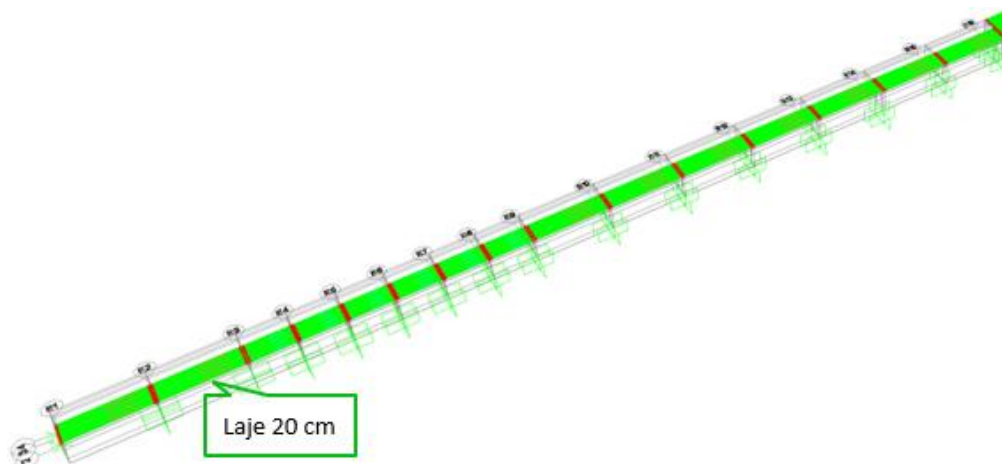


FIGURA 47 – IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES EM PLACAS DO MODELO TRIDIMENSIONAL NO SAP2000.

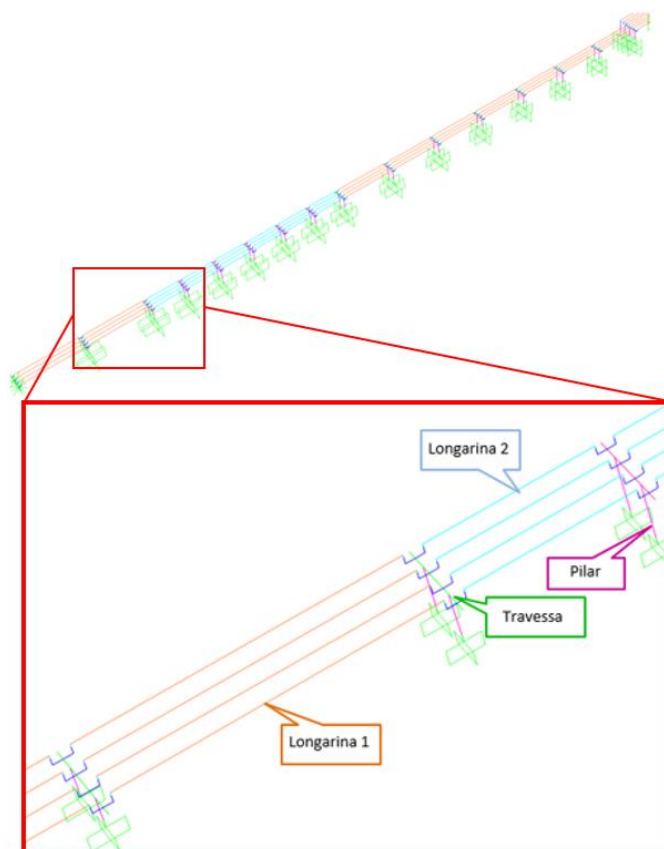


FIGURA 48 – IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES EM BARRA DO MODELO TRIDIMENSIONAL NO SAP2000.

Para a análise das estruturas foi considerada a não linearidade física dos materiais através da redução das rigidezes dos elementos estruturais segundo os parâmetros do item 15.7.3 da NBR 6118 (ABNT, 2023):

- *Lajes:*  $(EI)_{sec} = 0,5.E_c I_c$
- *Vigas:*  $(EI)_{sec} = 0,8.E_c I_c$
- *Pilares:*  $(EI)_{sec} = 0,8.E_c I_c$

Onde:

- $I_c$  = *Momento de inércia da seção bruta de concreto, incluindo, quando for o caso, as mesas colaborantes;*
- $E_c$  = *Valor representativo do módulo de deformação do co*

Os itens a seguir apresentam as seções definidas no modelo computacional e suas respectivas localizações.

#### 4.2.1 Mesoestrutura

As imagens a seguir representam a definição dos elementos estruturais de mesoestrutura.

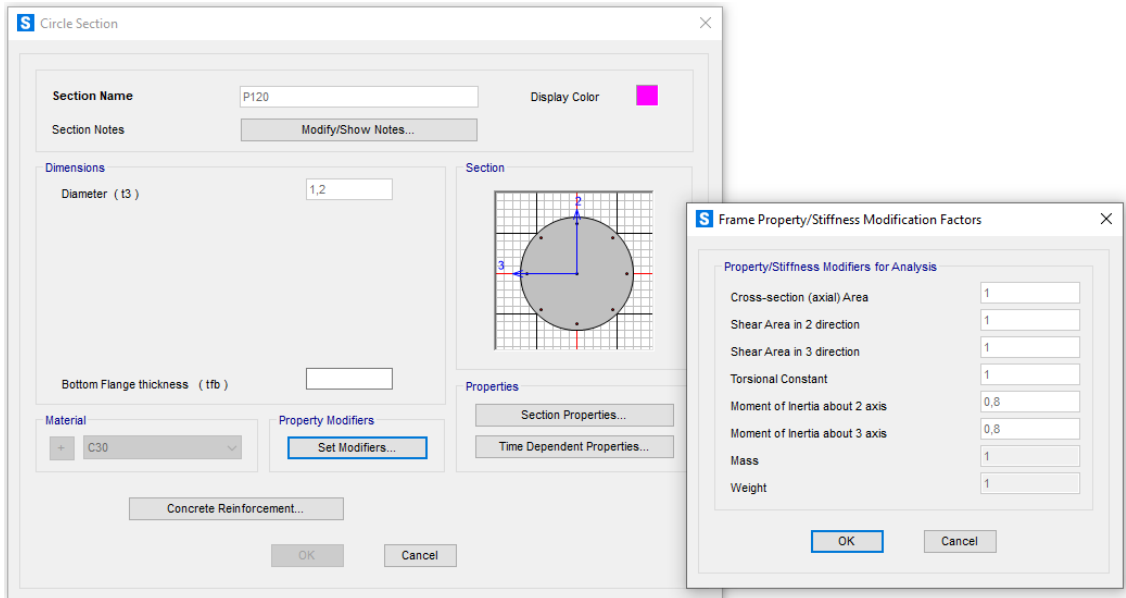


FIGURA 49 – DEFINIÇÃO DA SEÇÃO DOS PILARES Ø 120 CM NO SAP 2000.

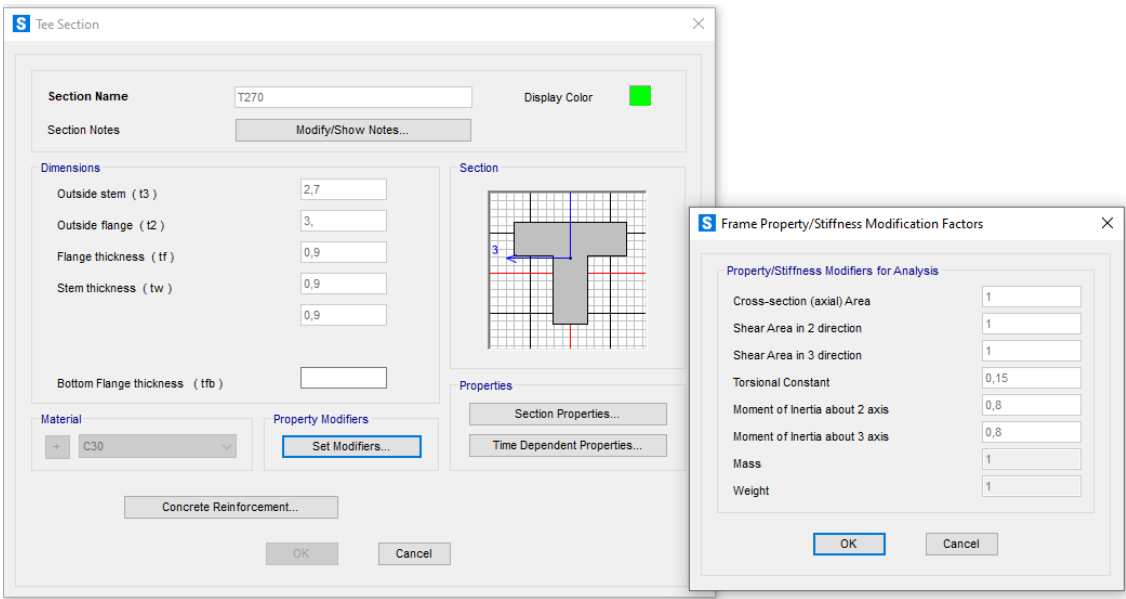


FIGURA 50 – DEFINIÇÃO DA SEÇÃO DAS TRAVESSAS DOS EIXOS E1, E2, E3, E9 AO E15, E17, E18, E20, E22, E27 AO E29 NO SAP 2000.

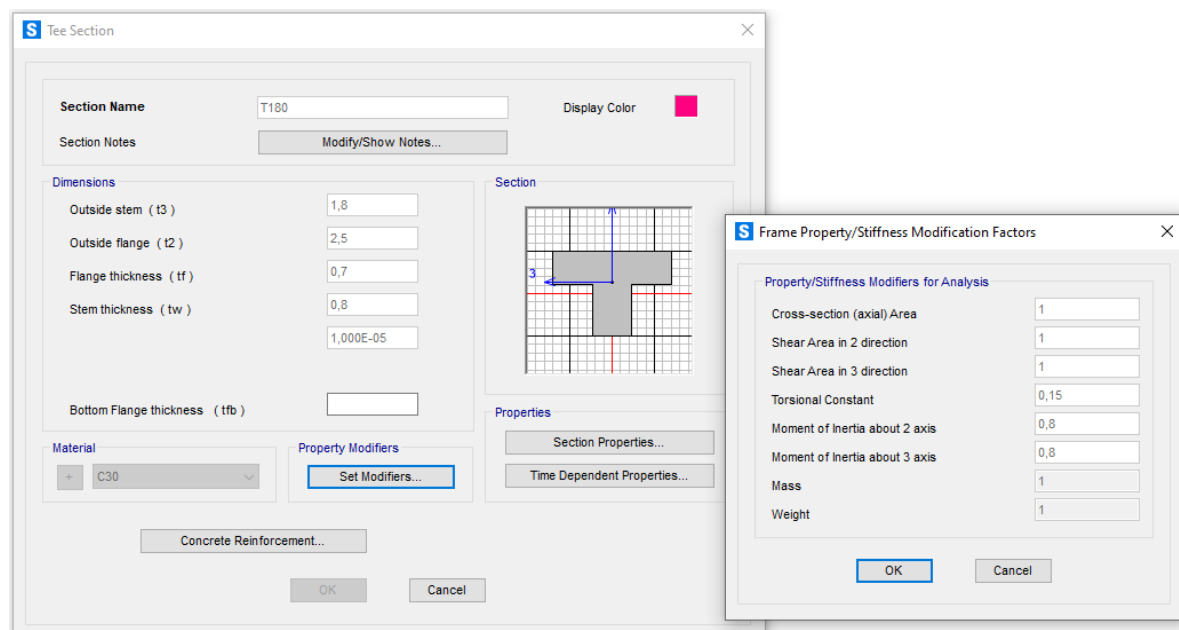


FIGURA 51 – DEFINIÇÃO DA SEÇÃO DAS TRAVESSAS DOS EIXOS E4 AO E8, E23, E25, E26 NO SAP 2000

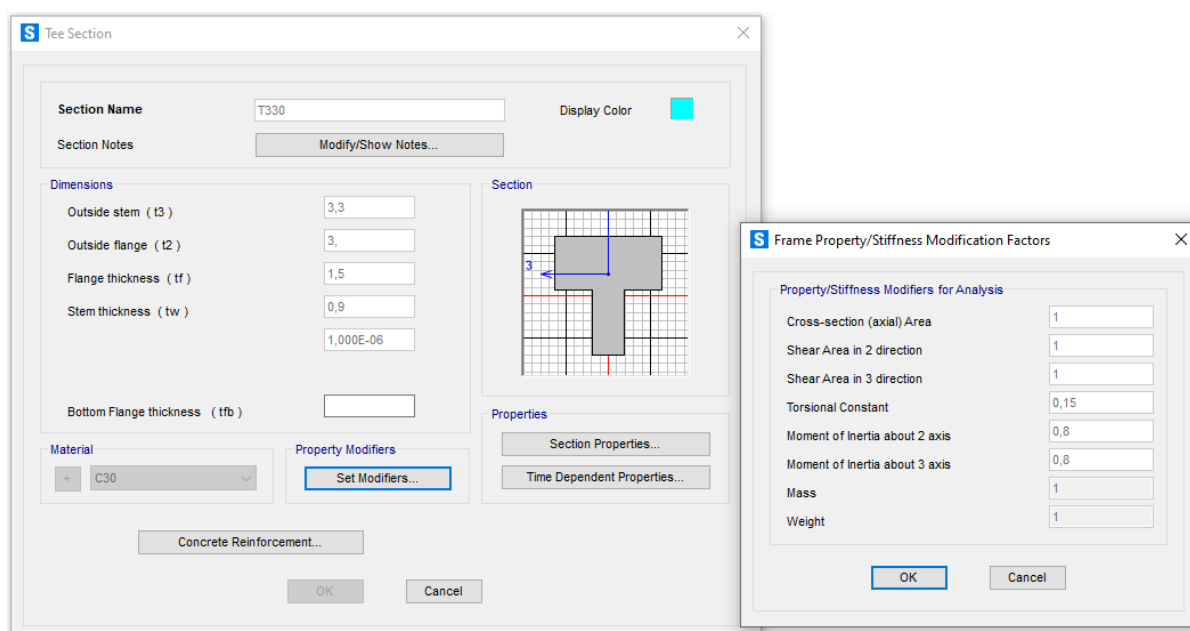


FIGURA 52 – DEFINIÇÃO DA SEÇÃO DAS TRAVESSAS DOS EIXOS E16, E19, E21 NO SAP 2000.



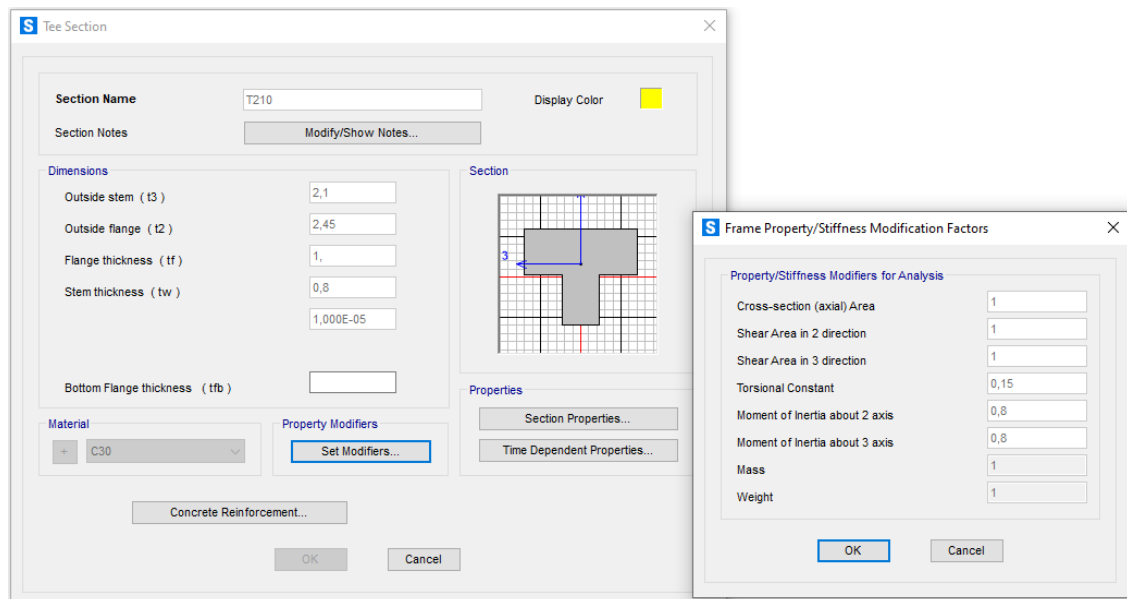


FIGURA 53 – DEFINIÇÃO DA SEÇÃO DA TRAVESSA DO EIXO E24 NO SAP 2000

#### 4.2.2 Superestrutura

As imagens a seguir representam a definição dos elementos estruturais de superestrutura do viaduto.

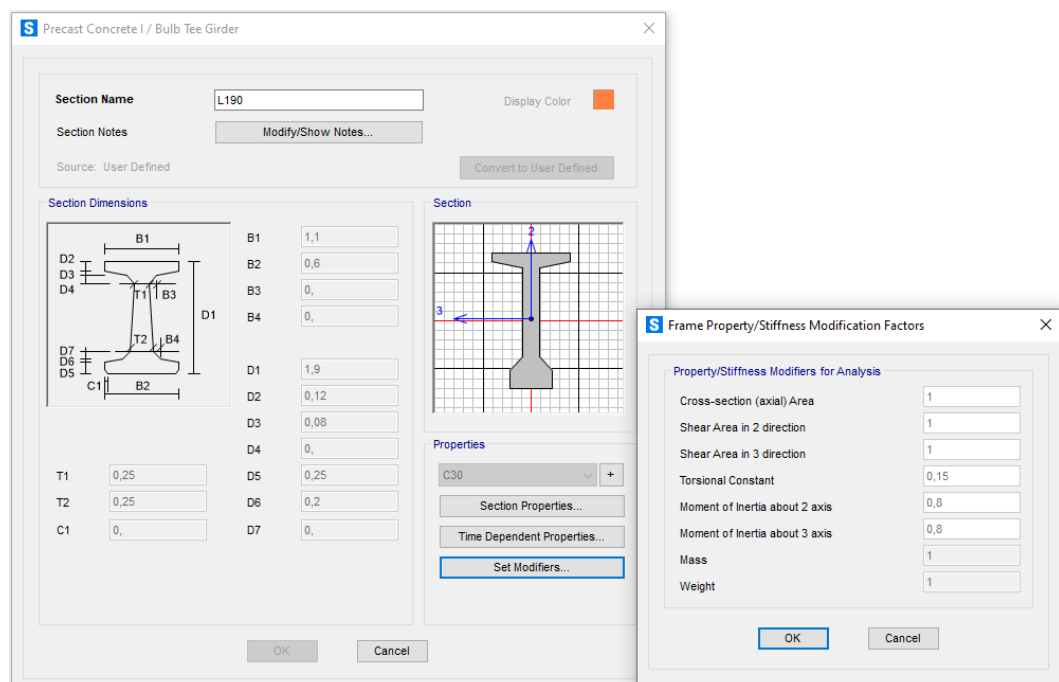


FIGURA 54 – DEFINIÇÃO DA SEÇÃO DA LONGARINA 1 NO SAP 2000.

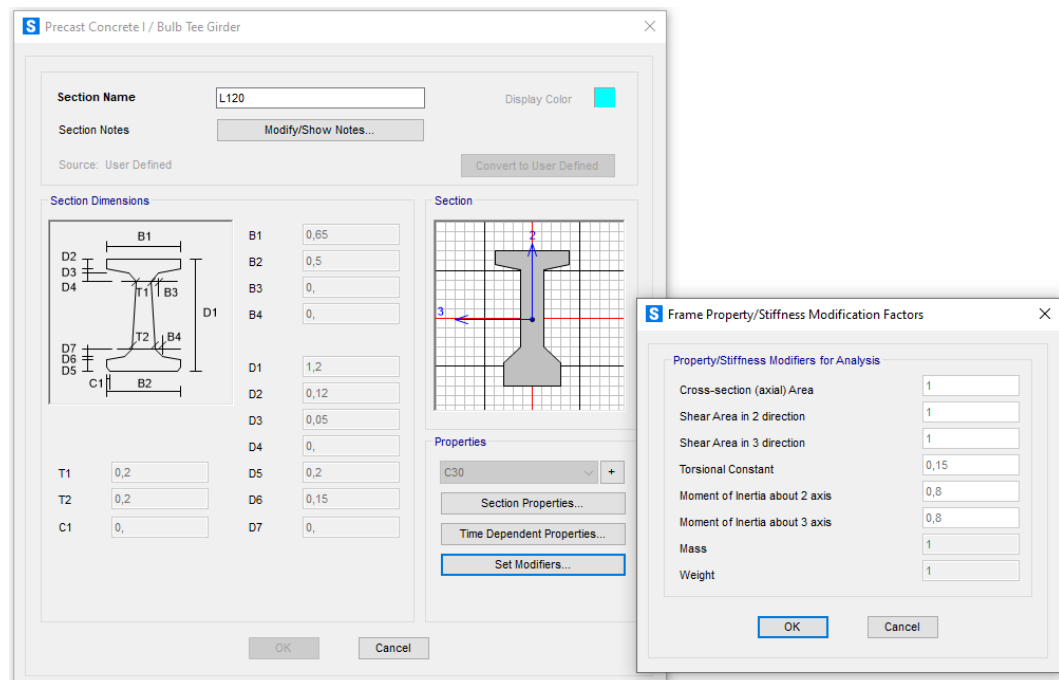


FIGURA 55 – DEFINIÇÃO DA SEÇÃO DA LONGARINA 2 NO SAP 2000.

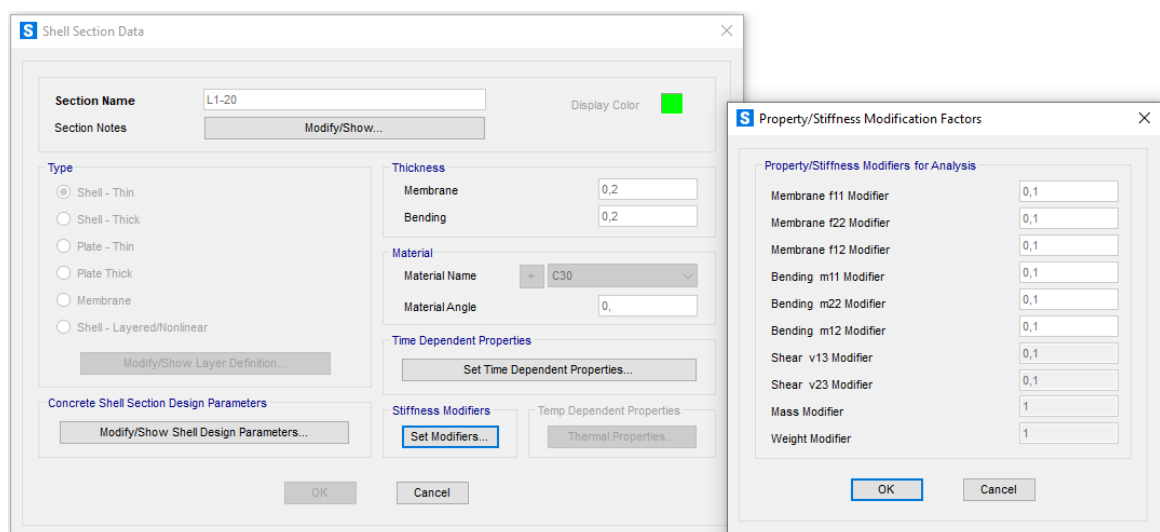


FIGURA 56 – DEFINIÇÃO DAS SEÇÕES DA LAJE NO SAP2000

#### 4.3 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

O concreto adotado foi classe C30, com resistência característica a compressão ( $f_{ck}$ ) 30 Mpa.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color

C30

Material Type

Concrete

Material Grade

f<sub>c</sub> 4000 psi

Material Notes

Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume

2.5

Mass per Unit Volume

0,2549

Units

Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E

2658502,

Poisson, U

0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A

9,900E-06

Shear Modulus, G

1107709,2

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>

3000,

Expected Concrete Compressive Strength

3000,

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor

☐ Switch To Advanced Property Display

OK

Cancel

FIGURA 57 – CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

#### 4.4 CARREGAMENTOS

Para a definição dos carregamentos sobre a estrutura foram levadas em consideração as situações críticas dos casos de carga.

#### 4.4.1 Pavimento - Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)

A carga proveniente do revestimento asfáltico foi dimensionada conforme especificações do item 4.1.2 e aplicada nas áreas das lajes.

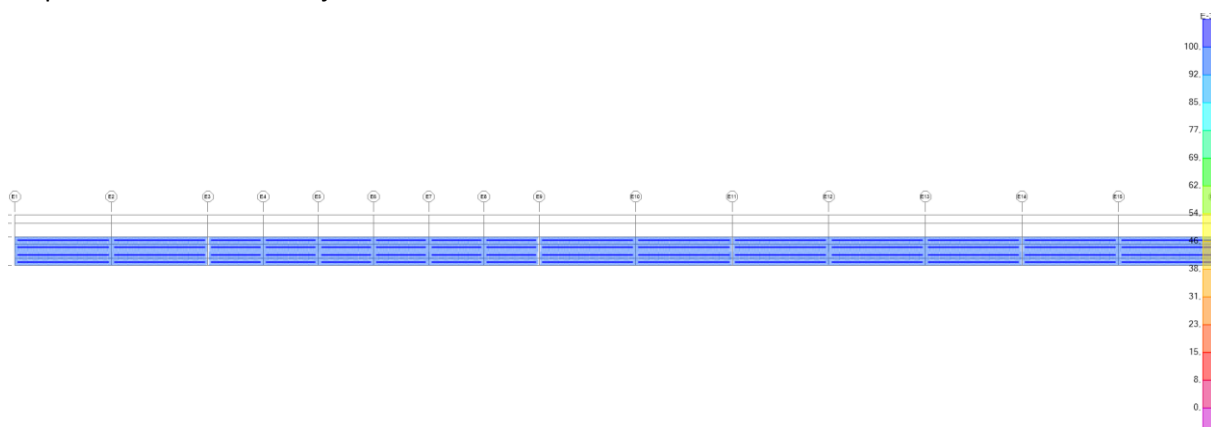


FIGURA 58 – CARREGAMENTO CBUQ (TON/M2) – EIXOS E1 A E16

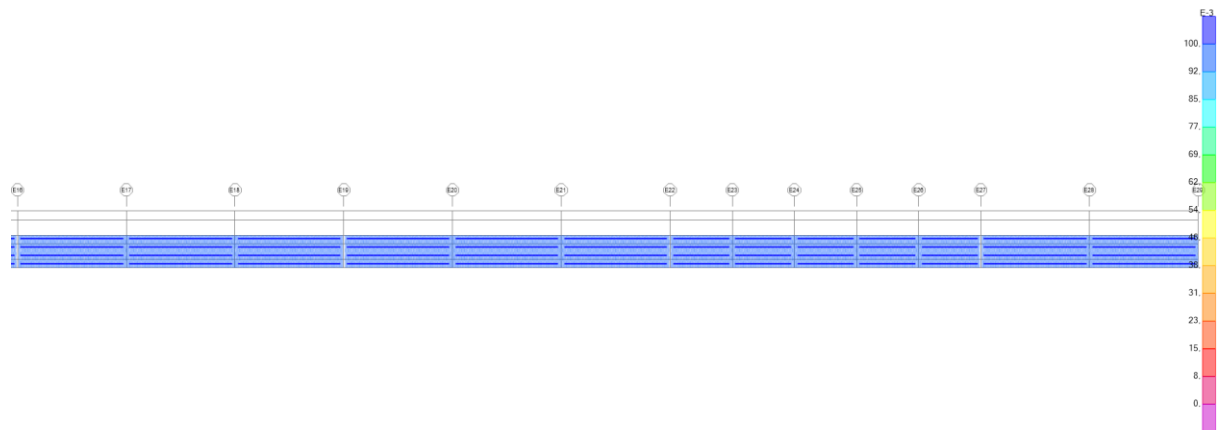


FIGURA 59 – CARREGAMENTO CBUQ (TON/M2) – EIXOS E16 A E29

#### 4.4.2 Guarda-Rodas

A carga proveniente do guarda-rodas foi dimensionada conforme especificações do item 4.1.3 e aplicada na área das lajes.

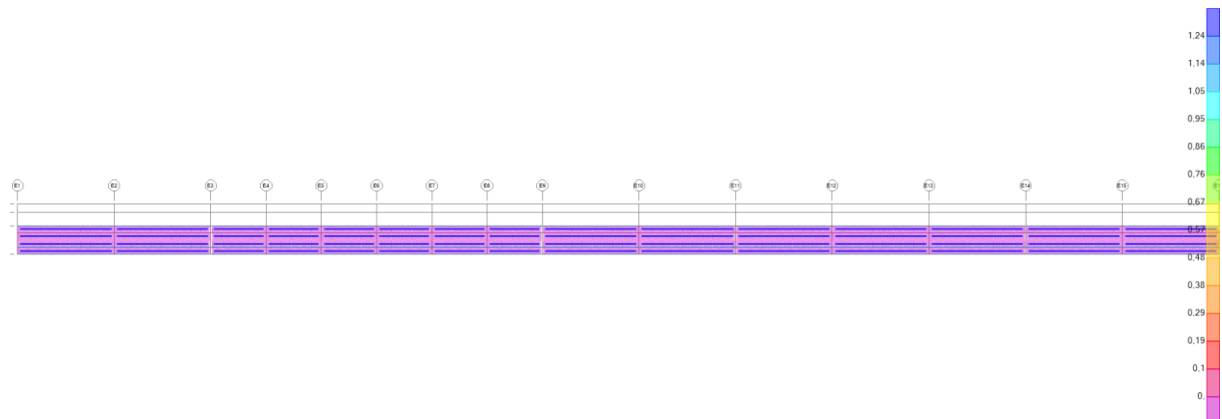


FIGURA 60 – CARREGAMENTO GUARDA-RODAS (TONF/M2) – EIXOS E1 A E16

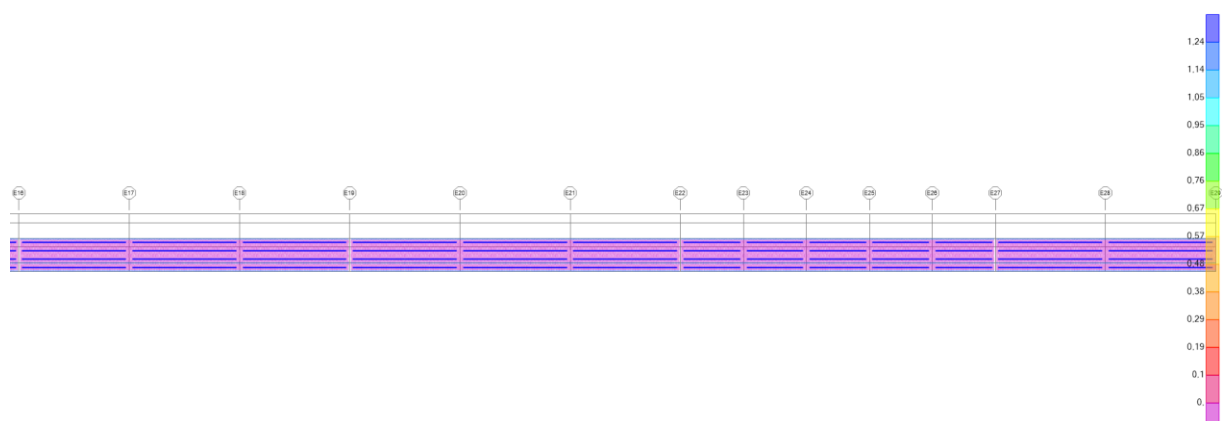


FIGURA 61 – CARREGAMENTO GUARDA-RODAS (TONF/M2) – EIXOS E16 A E29

#### 4.4.3 Laje pré-moldada

A carga proveniente das lajes pré-moldadas, que serão instaladas na região do passeio, foi dimensionada conforme especificações do item 4.1.5 e aplicadas na área das lajes.

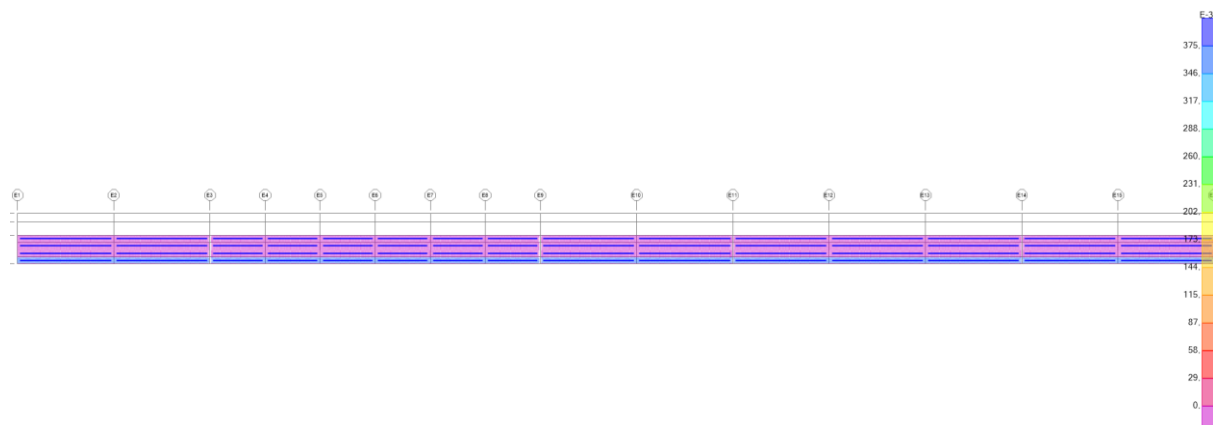


FIGURA 62 – CARREGAMENTO DA LAJE PRÉ-MOLDADA (TONF/M2) – EIXOS E1 A E16

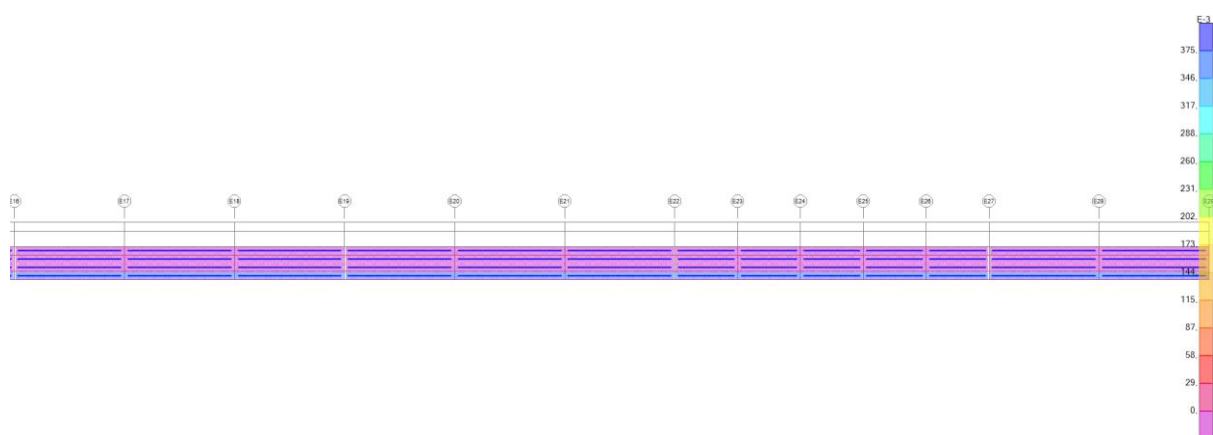


FIGURA 63 – CARREGAMENTO DA LAJE PRÉ-MOLDADA (TONF/M2) – EIXOS E16 A E29

#### 4.4.4 Frenagem

A carga de frenagem foi dimensionada conforme item 4.2.2 e aplicada como carga uniforme na área das lajes.

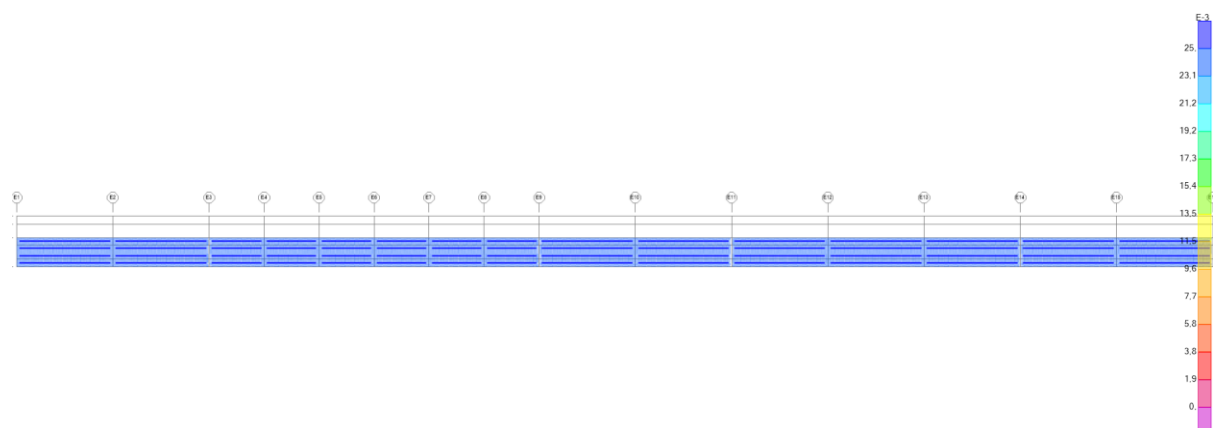


FIGURA 64 – CARGA DE FRENAGEM (TONF/M2) – EIXOS E1 A E16

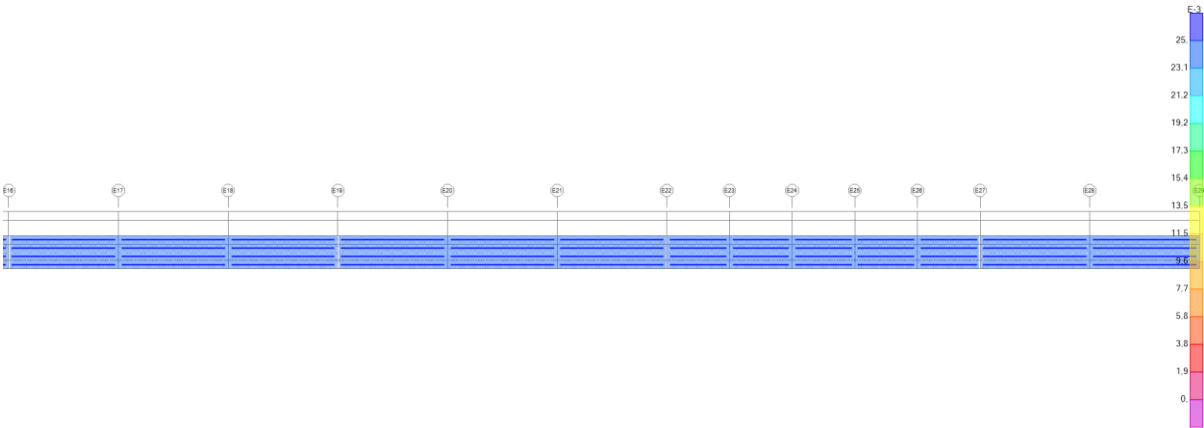


FIGURA 65 – CARGA DE FRENAGEM (TONF/M2) – EIXOS E16 A E29

4.4.5 Trem tipo

A carga do trem tipo foi dimensionada de acordo com as cargas do caminhão de projeto TB-45, como especificado no item 4.2. A imagem abaixo mostra a definição do veículo no SAP2000. Foi considerado a carga do veículo sobre as longarinas.

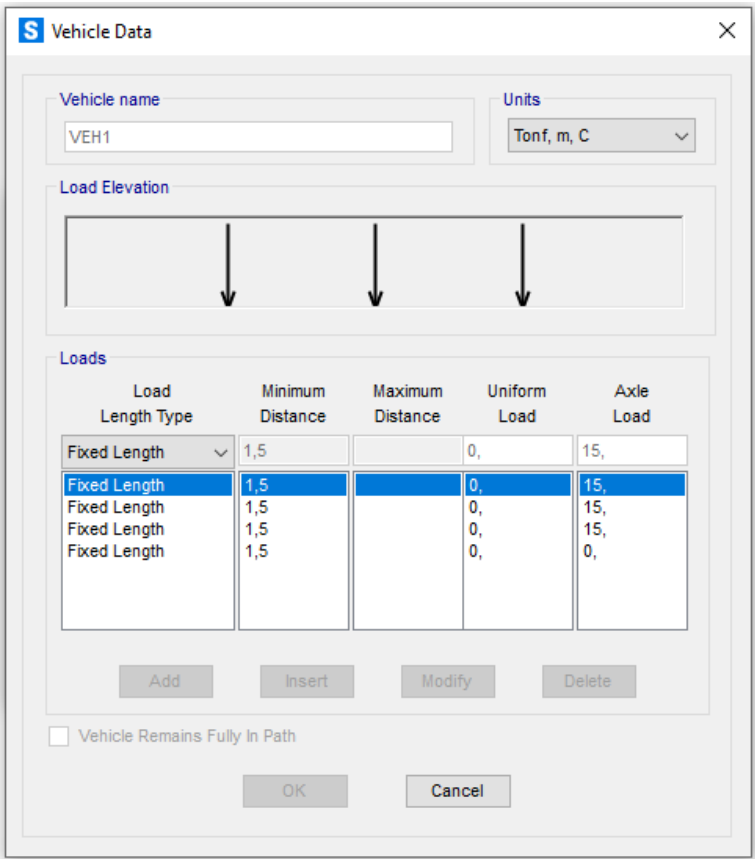


FIGURA 66 - DEFINIÇÕES DAS CARGAS DO TREM TIPO

Para o dimensionamento da laje, foi considerado a carga do veículo aplicada sobre as áreas nas posições críticas para o dimensionamento, conforme as imagens abaixo.

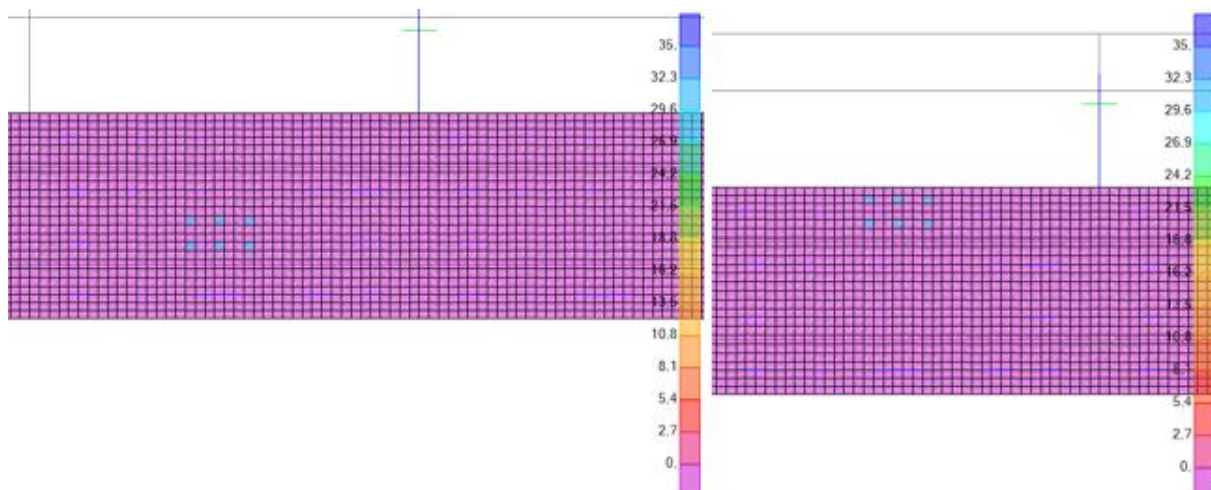


FIGURA 67 – CARGAS DO VEÍCULO NO CENTRO DO TABULEIRO – TABULEIRO DE 20 M (TONF/M2)

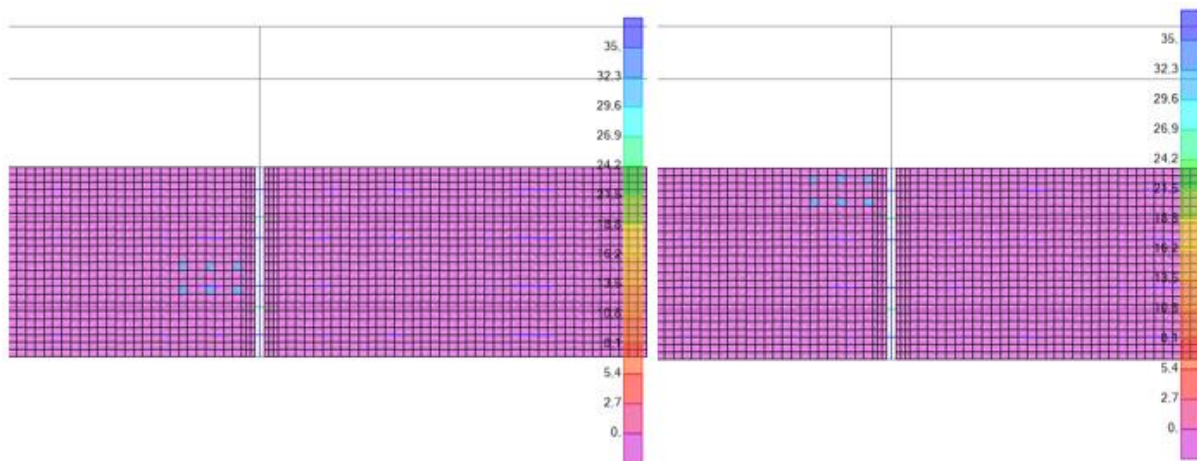


FIGURA 68 – CARGAS DO VEÍCULO NA EXTREMIDADE DO TABULEIRO– TABULEIRO DE 20 M (TONF/M2)

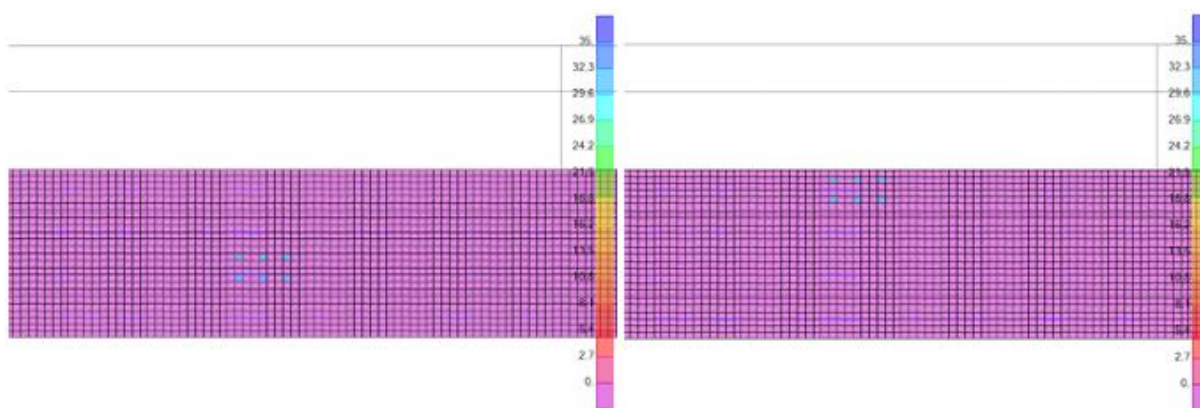


FIGURA 69 – CARGAS DO VEÍCULO NO CENTRO DO TABULEIRO – TABULEIRO DE 35 M (TONF/M2)

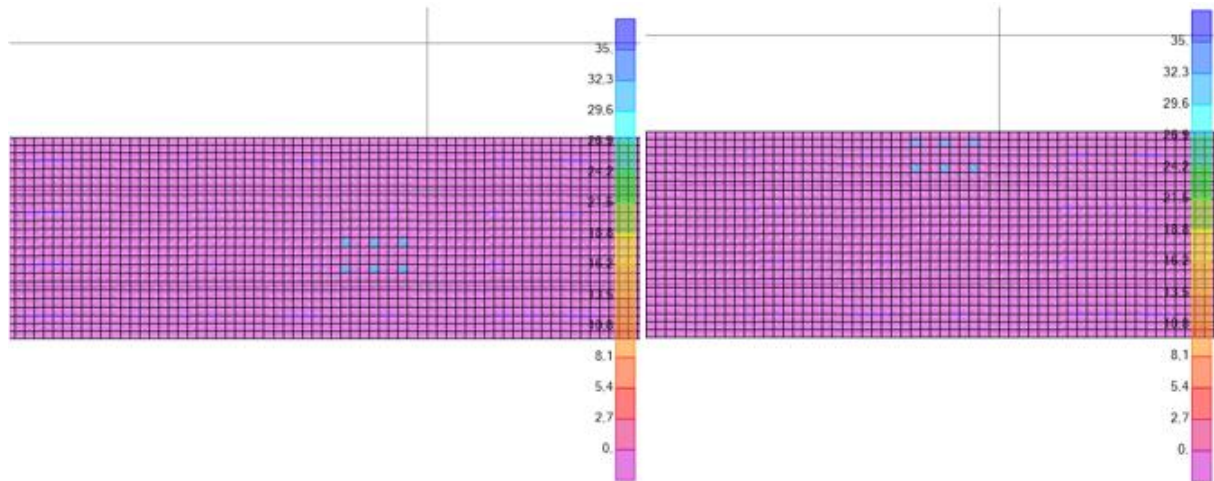


FIGURA 70 – CARGAS DO VEÍCULO NA EXTREMIDADE DO TABULEIRO– TABULEIRO DE 35 M (TONF/M2)

A sobrecarga no valor de 5,0 kN/m<sup>2</sup>, conforme apresentado no item 4.2, foi aplicada em toda a área da faixa de rolagem.

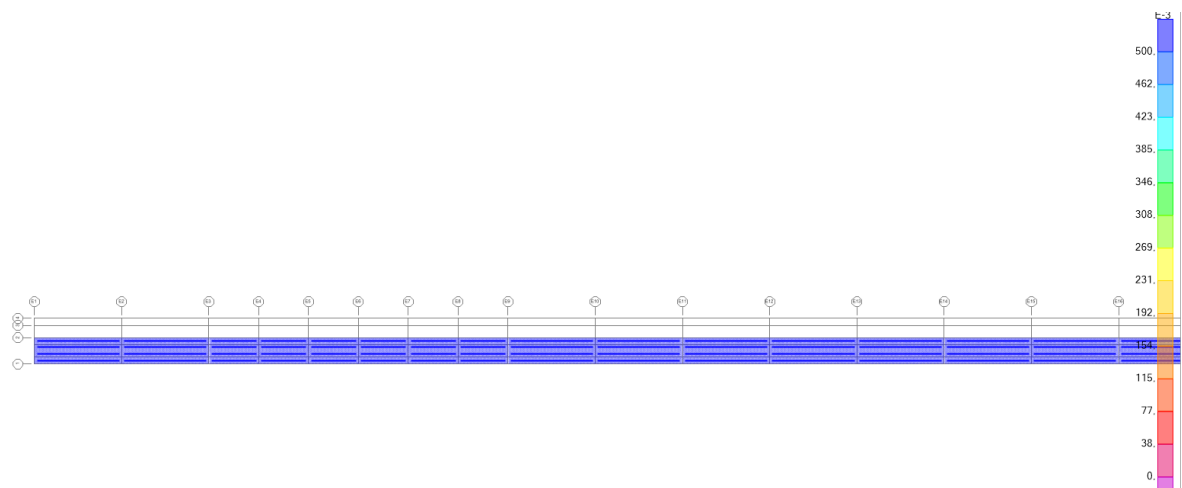


FIGURA 71 – SOBRECARGA DO TREM-TIPO (TONF/M2) – EIXOS E1 A E16

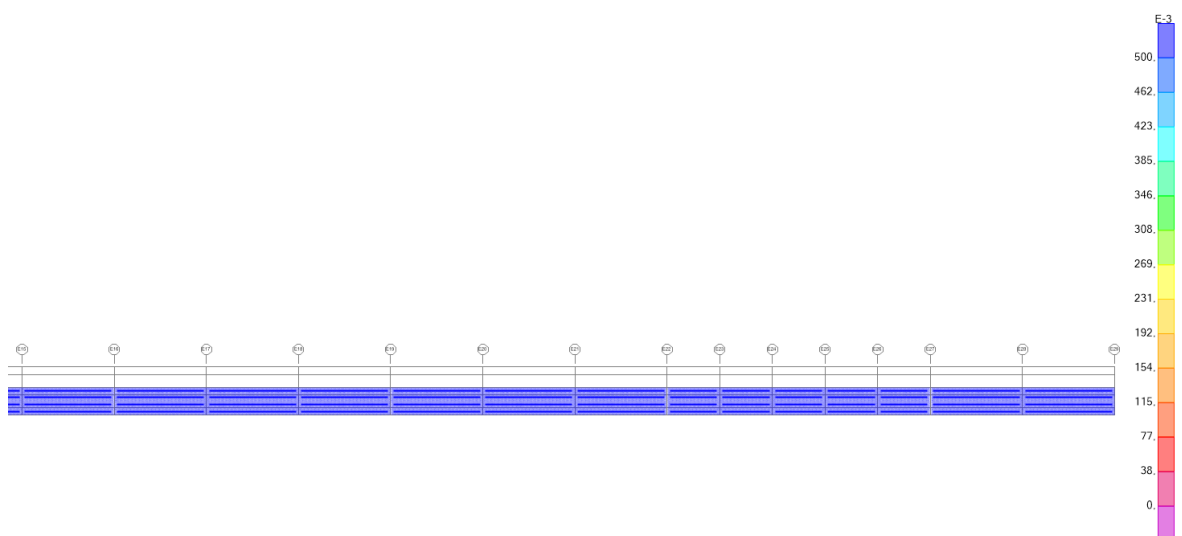


FIGURA 72 – SOBRECARGA DO TREM-TIPO (TONF/M2) – EIXOS E16 A E29



#### 4.4.6 Vento

A carga do vento atuante sobre a estrutura foi dimensionada conforme especificações do item 4.3 e aplicada nas lajes como carga pontual.

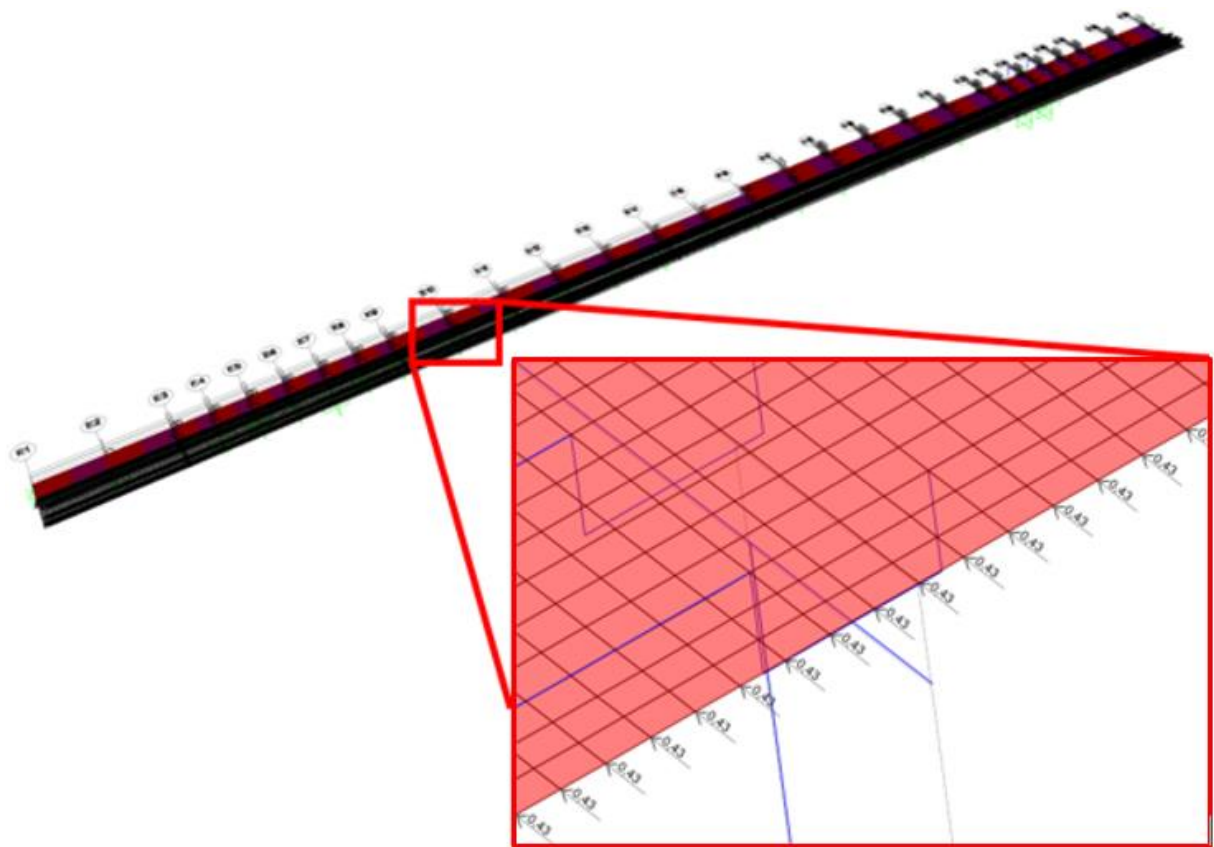


FIGURA 73 – CARGA DO VENTO (TONF/M2) – EIXOS E1 A E29

#### 4.4.7 Temperatura

As variações de temperaturas foram aplicadas conforme especificações do item 4.4. Foi considerado a carga de temperatura nos “frames” (longarinas) e “shell” (lajes).

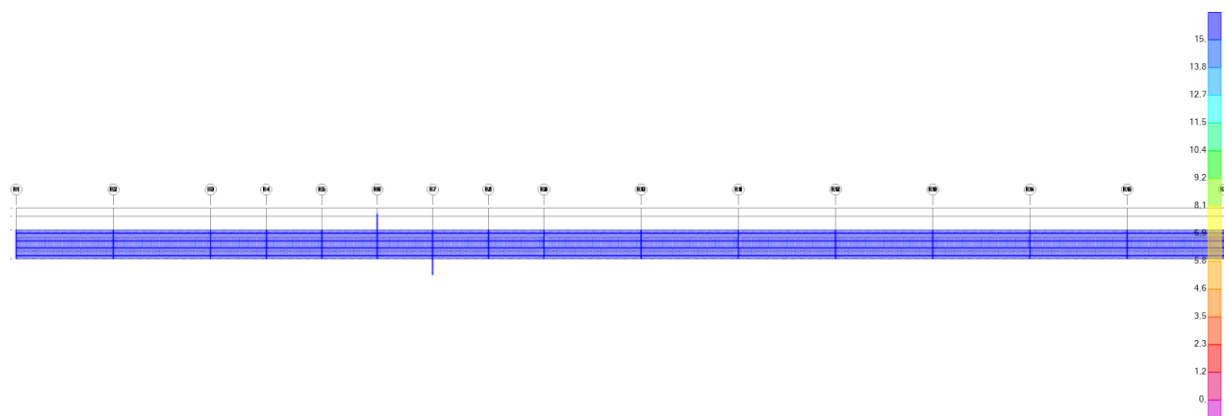


FIGURA 74 – VARIAÇÃO DE TEMPERATURA POSITIVA – EIXOS E1 A E16

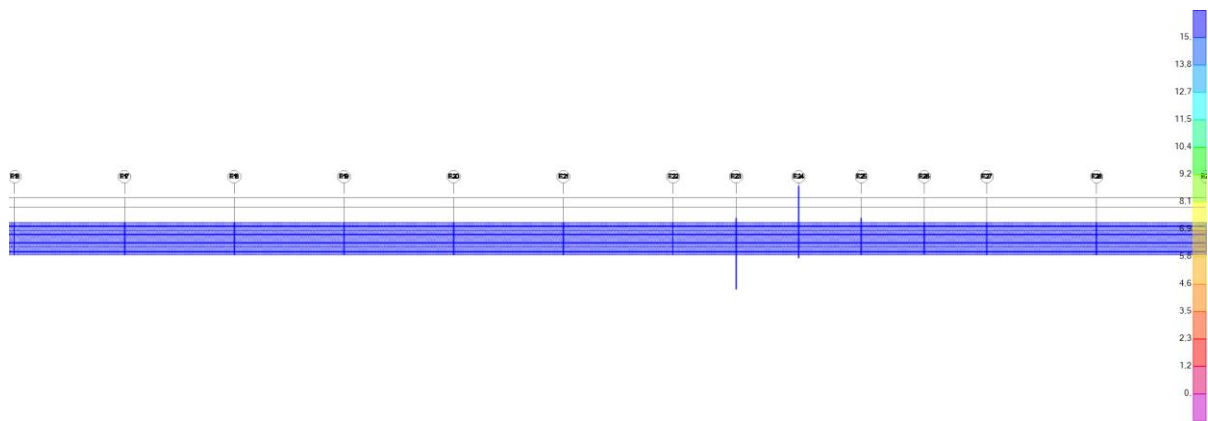


FIGURA 75 – VARIAÇÃO DE TEMPERATURA POSITIVA – EIXOS E16 A E29

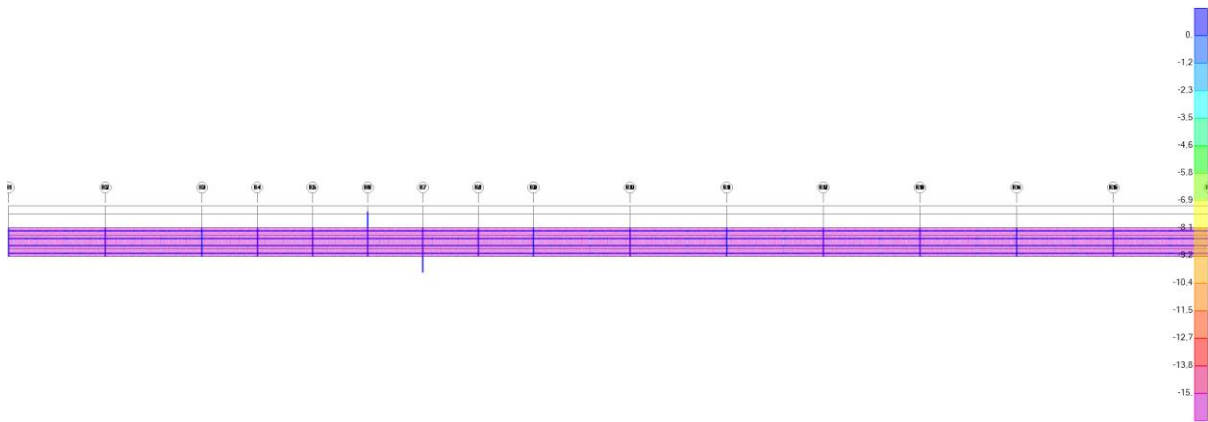


FIGURA 76 – VARIAÇÃO DE TEMPERATURA NEGATIVA – EIXOS E1 A E16

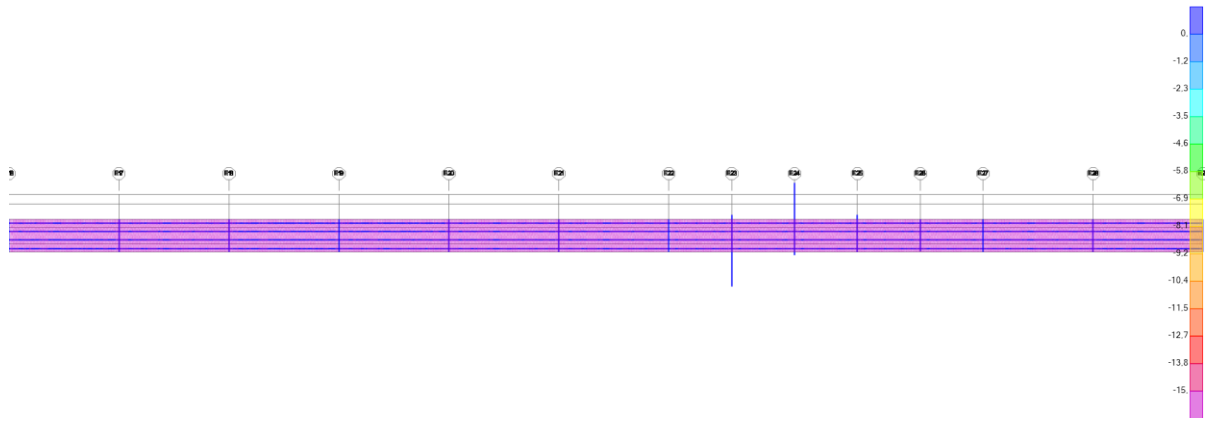


FIGURA 77 - VARIAÇÃO DE TEMPERATURA NEGATIVA – EIXOS E16 A E29

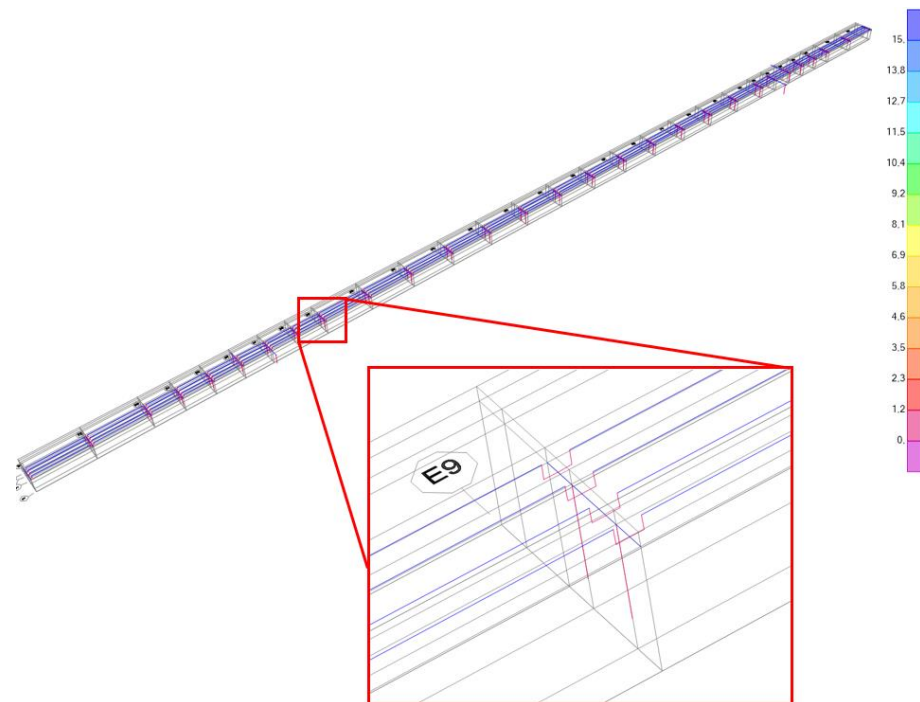


FIGURA 78 – VARIAÇÃO DE TEMPERATURA POSITIVA NAS LONGARINAS

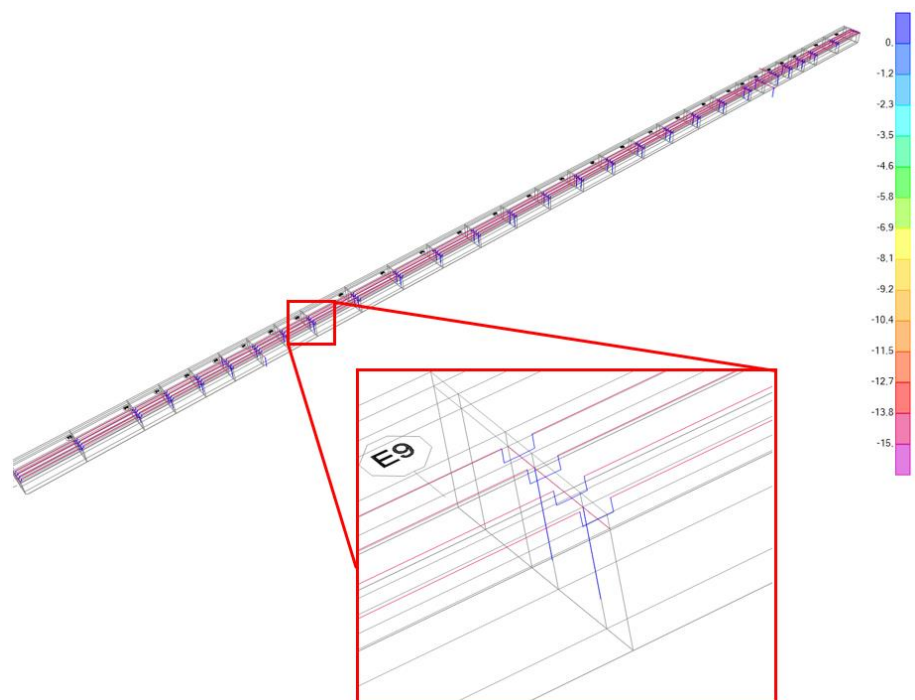


FIGURA 79 – VARIAÇÃO DE TEMPERATURA NEGATIVA NAS LONGARINAS

#### 4.4.8 Empuxo do solo

As cargas de solo foram aplicadas sobre a estrutura nos eixos E1 e E29. Os parâmetros foram adotados conforme item 4.5.

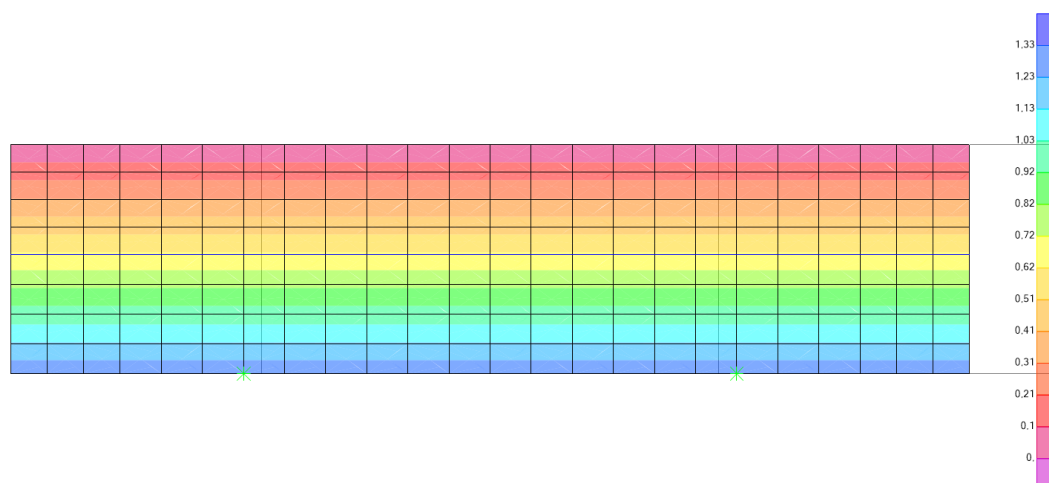


FIGURA 80 – EMPUXO DO SOLO (TONF/M2) – ENCONTRO EIXO E1

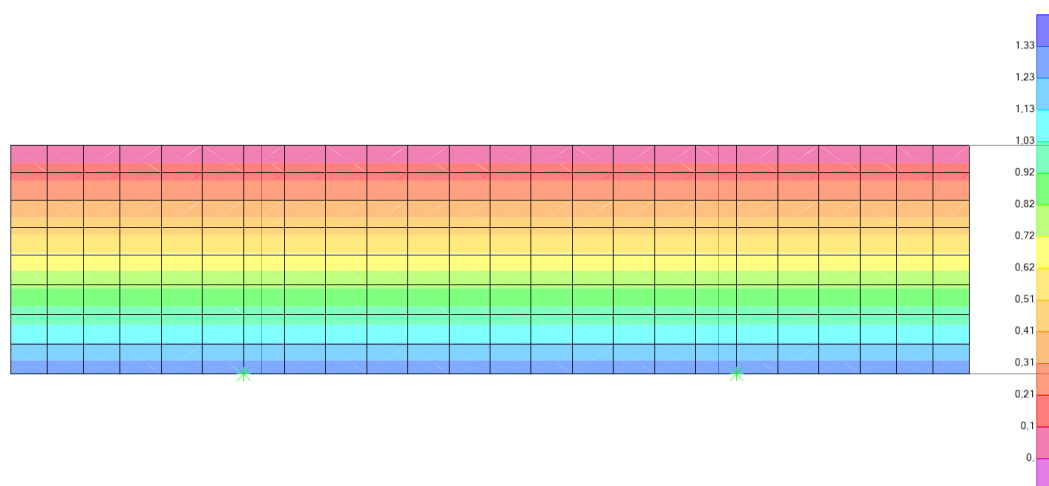


FIGURA 81 – EMPUXO DO SOLO (TONF/M2) – ENCONTRO EIXO E29

#### 4.5 ESFORÇOS

Para a obtenção dos esforços máximos atuantes na estrutura, foi gerado uma combinação envoltória de todas as combinações de carregamentos. Os valores dos esforços máximos apresentados abaixo, são todos referentes a combinação envoltória.

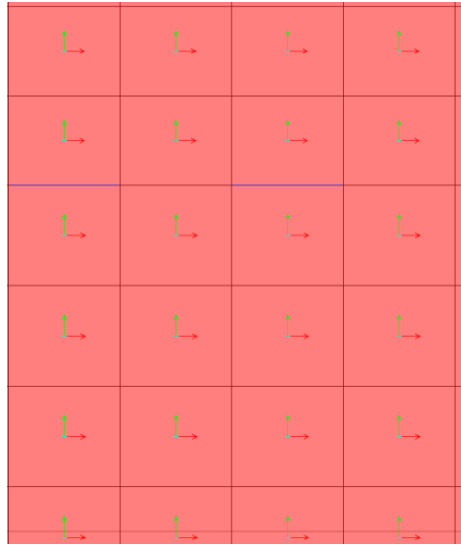


FIGURA 82 – EIXOS LOCAIS

**Legenda:** Eixo 1: vermelho / Eixo 2: verde / Eixo 3: ciano

Seguem abaixo os esforços máximos encontrados na estrutura

#### 4.5.1 Lajes:

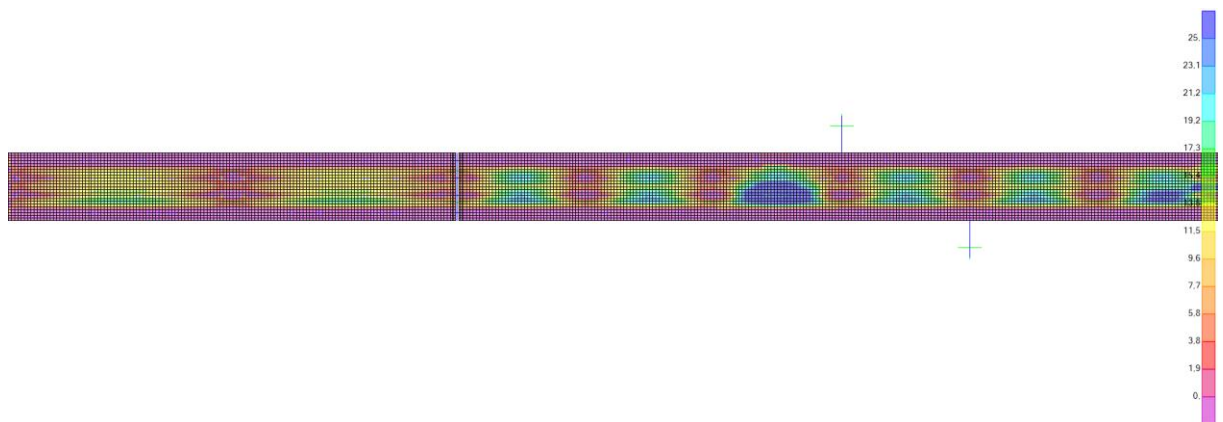


FIGURA 83 – MOMENTO M22 (KN.M/M) – EIXOS E1 AO E9

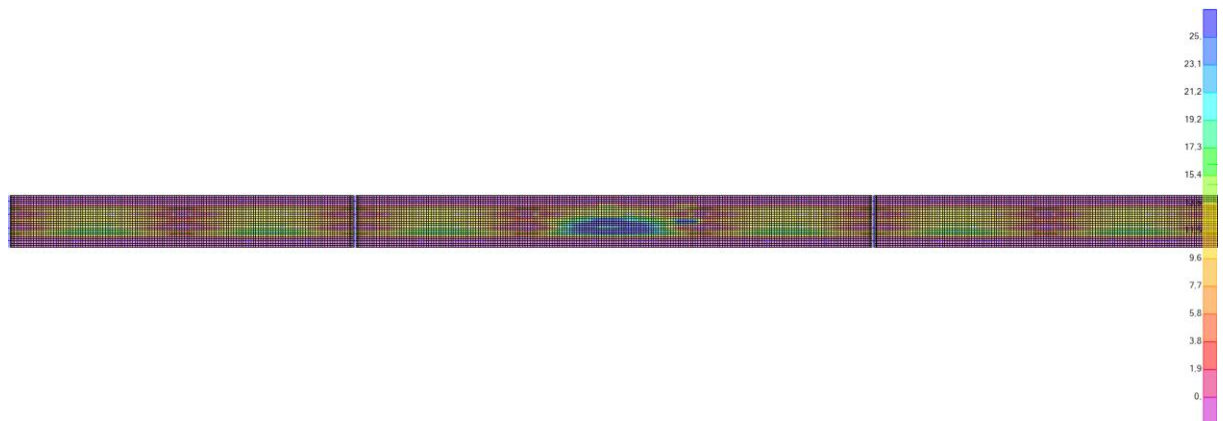


FIGURA 84 – MOMENTO M22 (KN.M/M) – EIXOS E9 AO E16

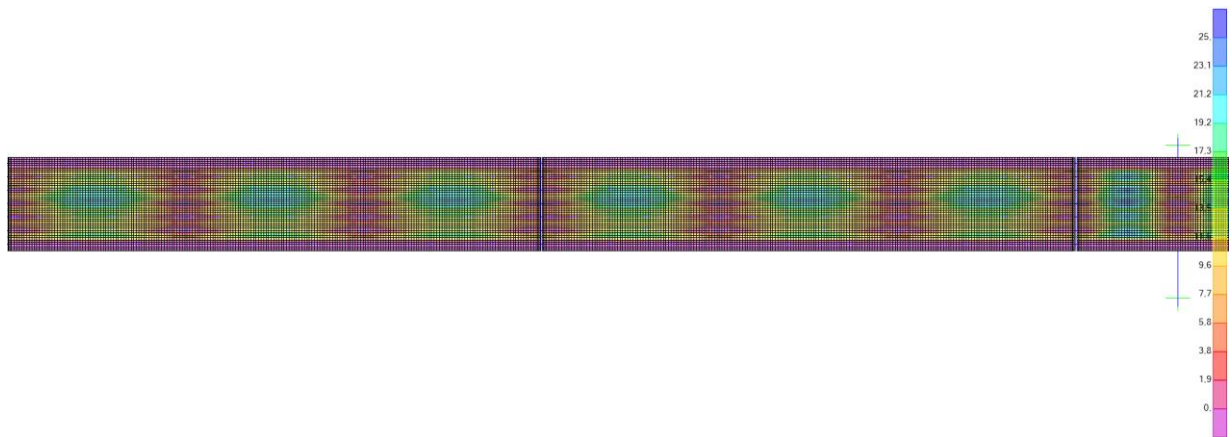


FIGURA 85 – MOMENTO M22 (KN.M/M) – EIXOS E16 A E23

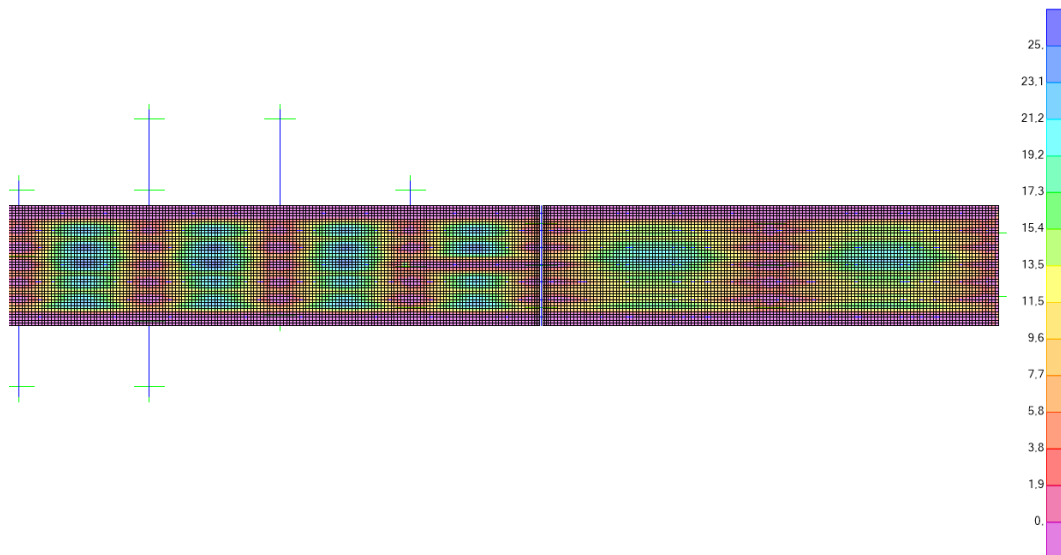


FIGURA 86 – MOMENTO M22 (KN.M/M) – EIXOS E23 A E29

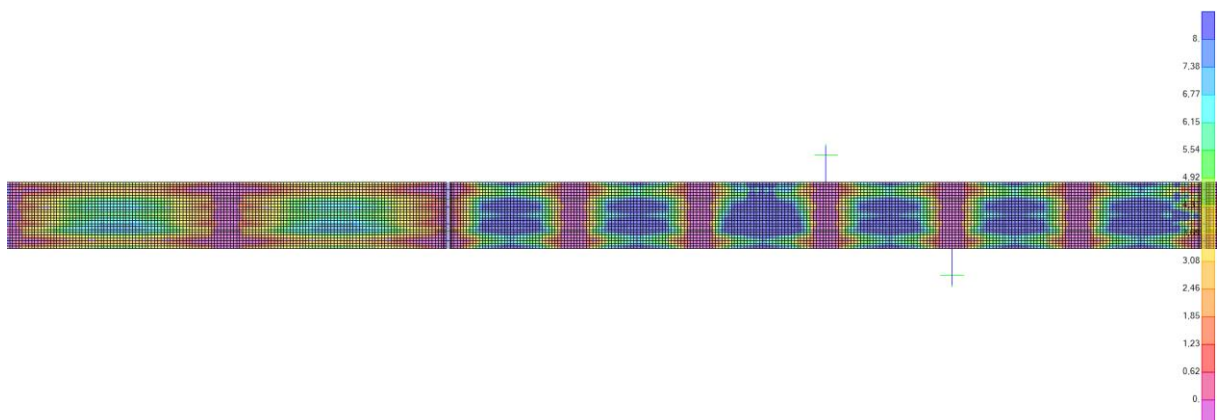


FIGURA 87 – MOMENTO M11 (KN.M/M) – EIXOS E1 A E9



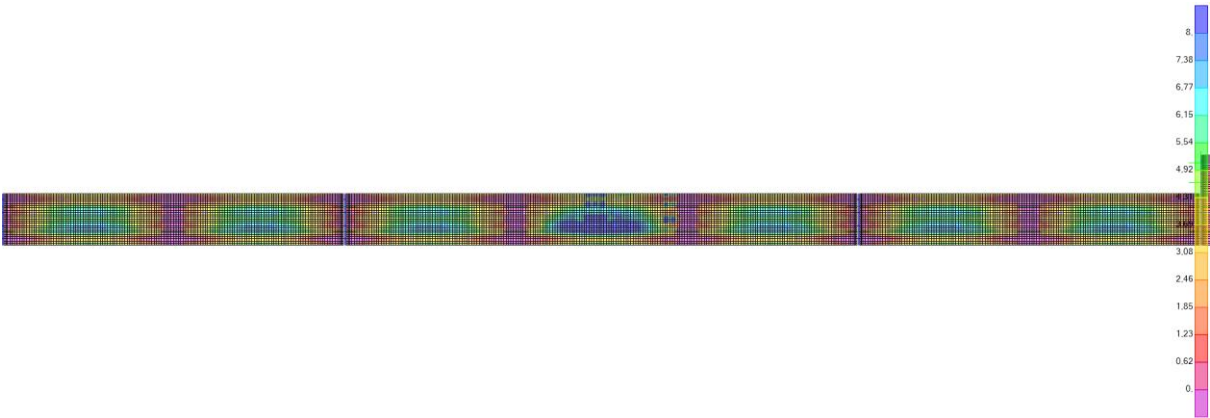


FIGURA 88 – MOMENTO M11 (KN.M/M) – EIXOS E9 A E16

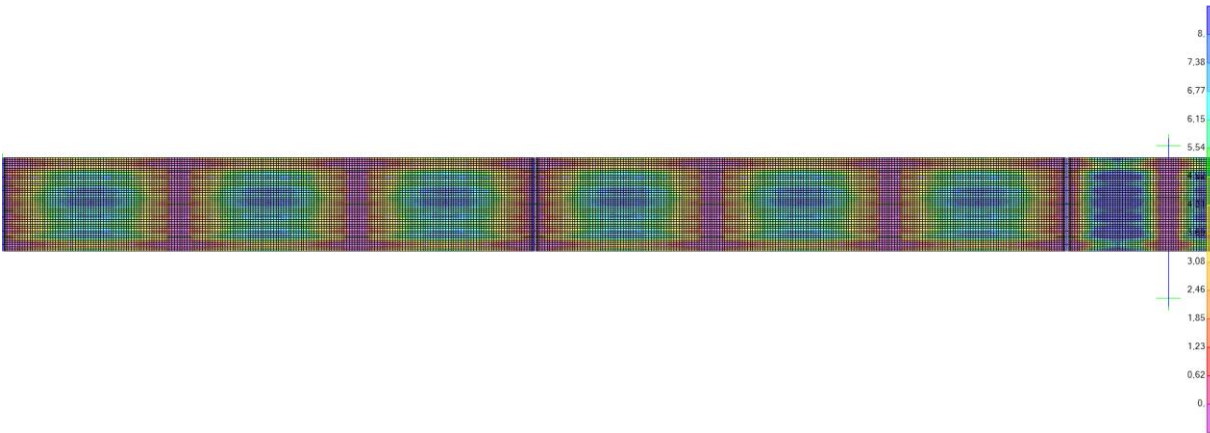


FIGURA 89 – MOMENTO M11 (KN.M/M) – EIXOS E16 A E23

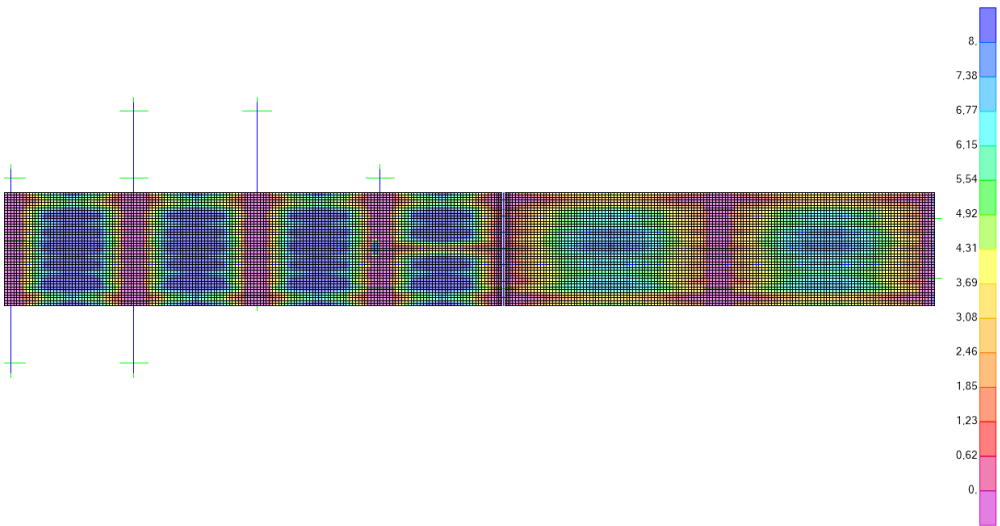


FIGURA 90 – MOMENTO M11 (KN.M/M) – EIXOS E23 A E29

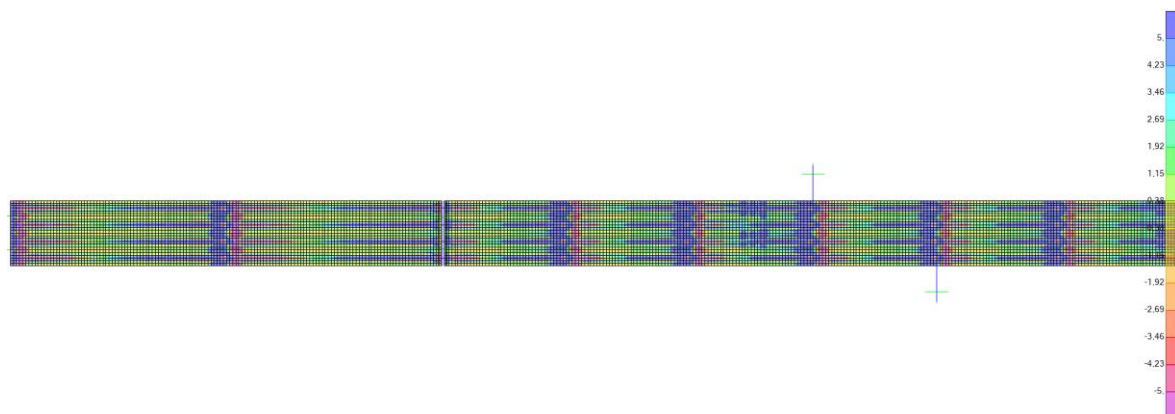


FIGURA 91 – CORTANTE V13 (KN/M) – EIXOS E1 AO E9

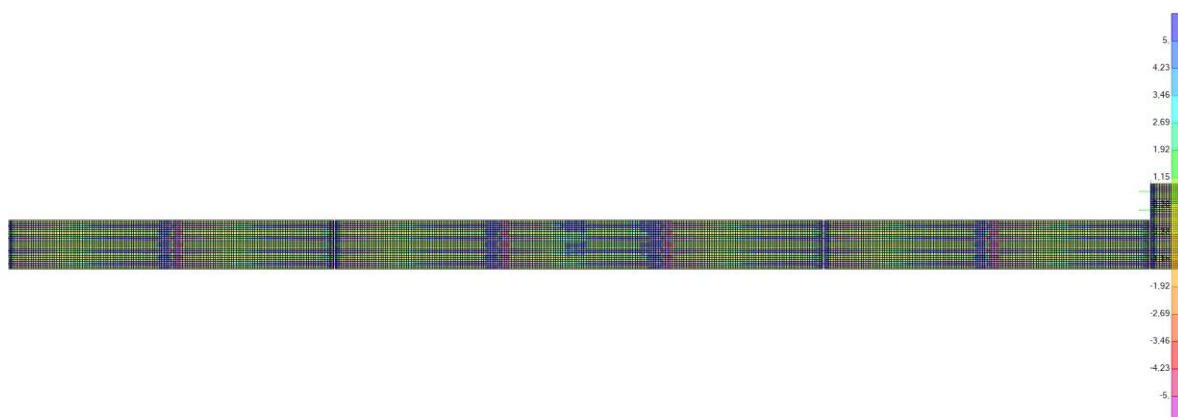


FIGURA 92 – CORTANTE V13 (KN/M) – EIXOS E9 AO E16

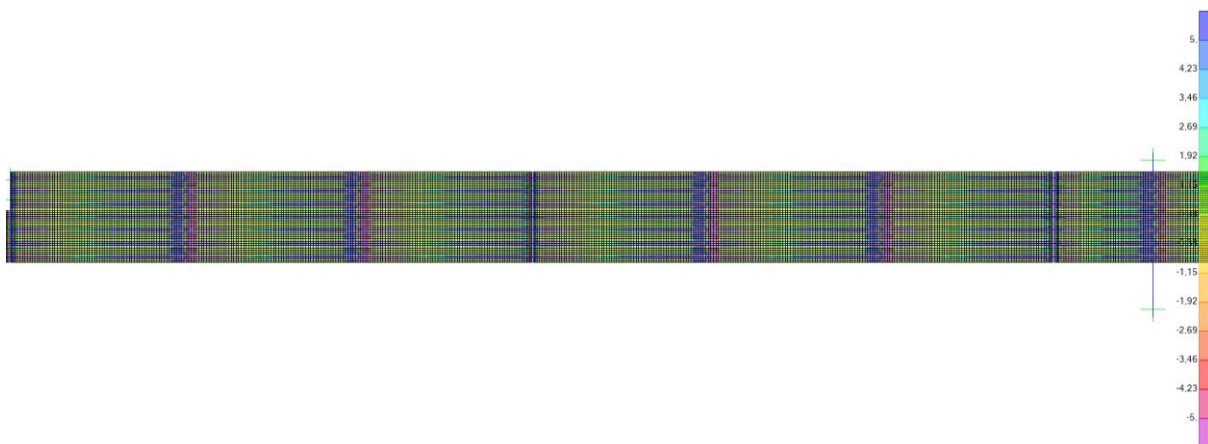


FIGURA 93 – CORTANTE V13 (KN/M) – EIXOS E16 AO E23



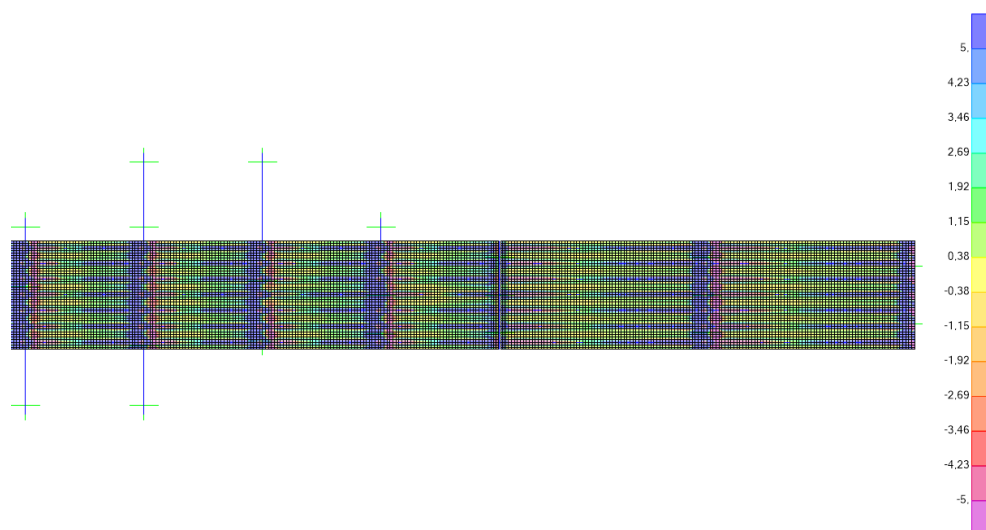


FIGURA 94 – CORTANTE V13 (KN/M) – EIXOS E23 A E29

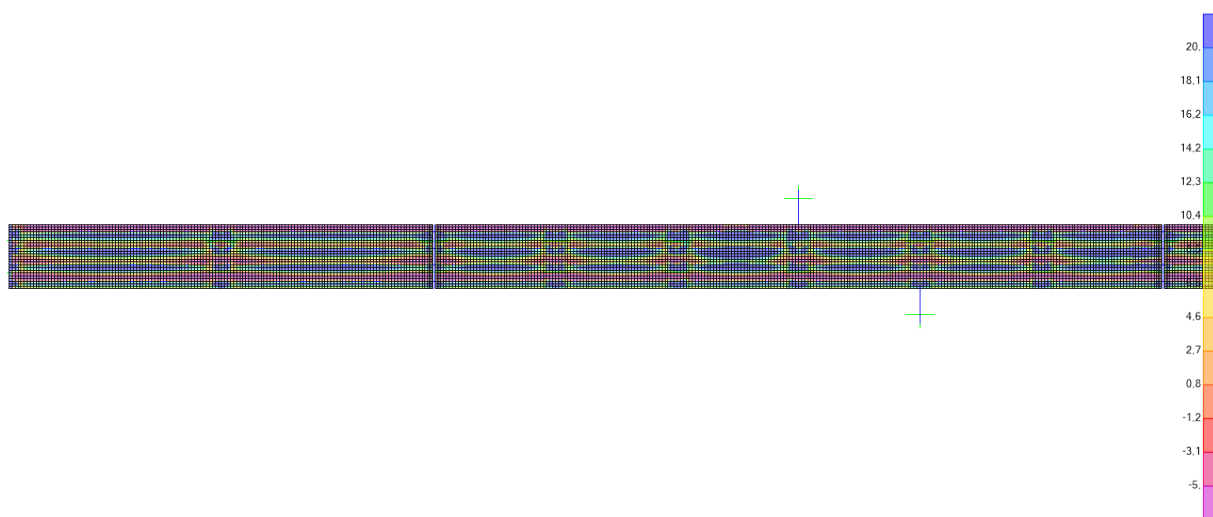


FIGURA 95 – CORTANTE V23 (KN/M) – EIXOS E1 A E9

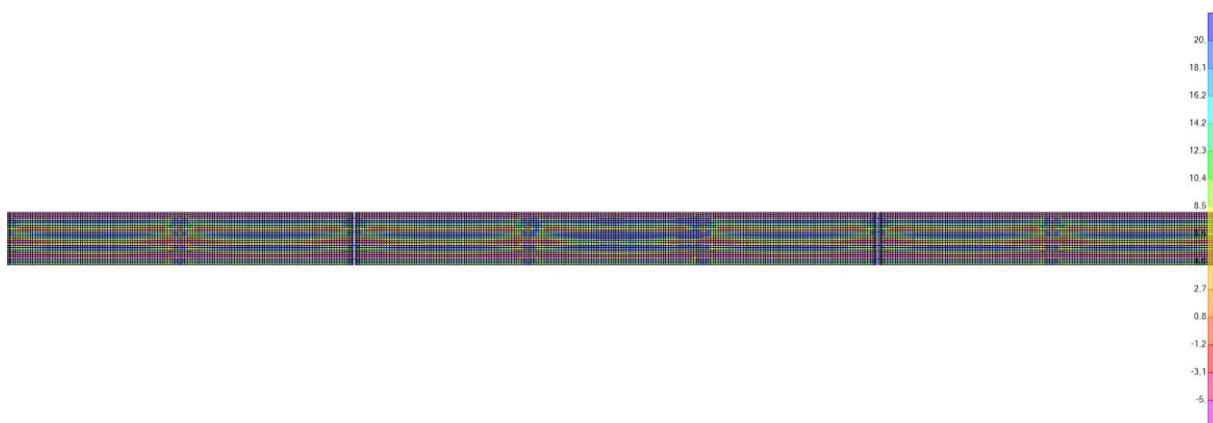


FIGURA 96 – CORTANTE V23 (KN/M) – EIXOS E9 A E16

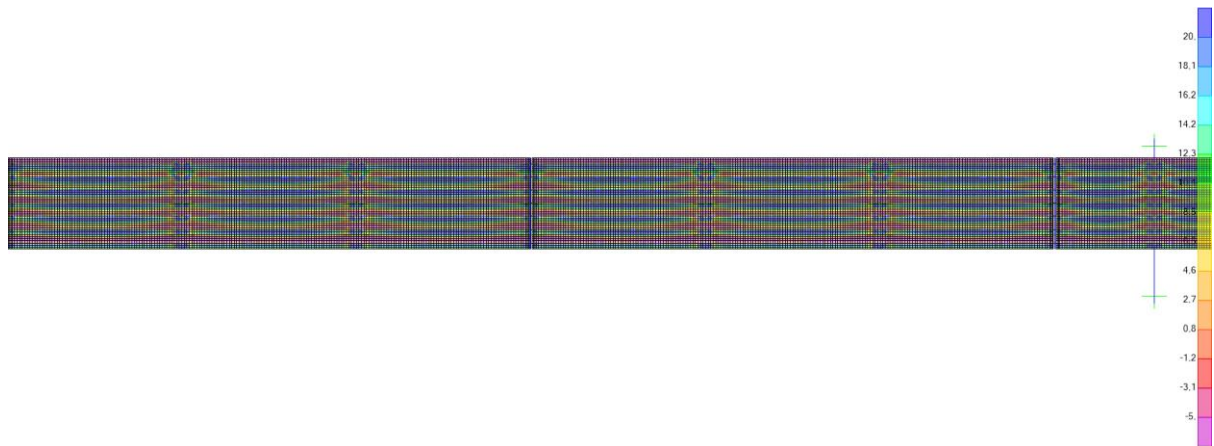


FIGURA 97 – CORTANTE V23 (KN/M) – EIXOS E16 A E23

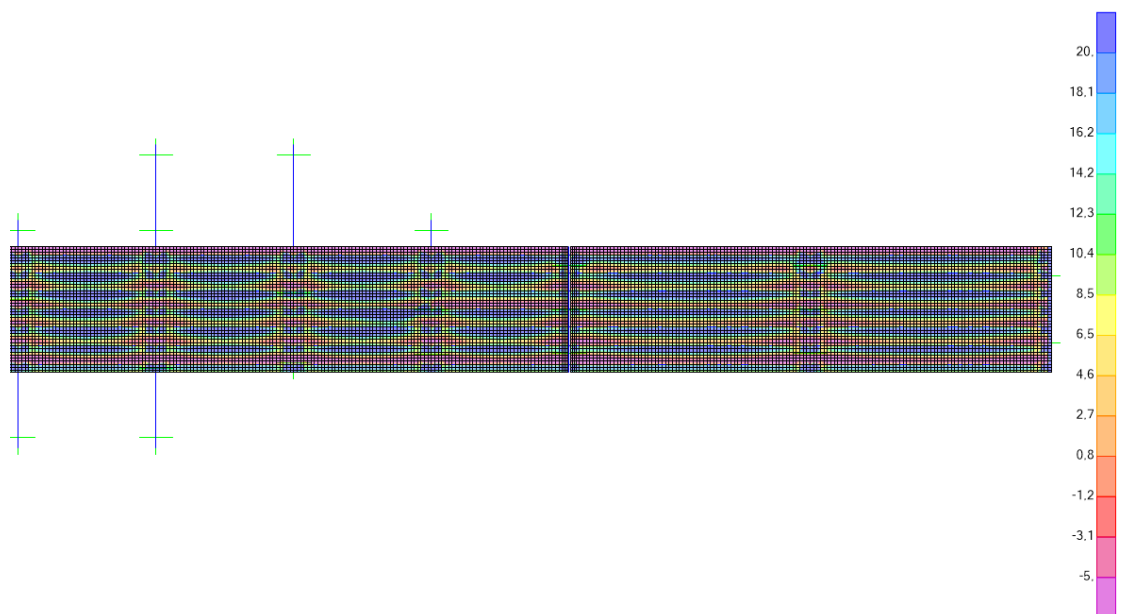


FIGURA 98 – CORTANTE V23 (KN/M) – EIXOS E23 A E29

#### 4.5.2 Longarinas

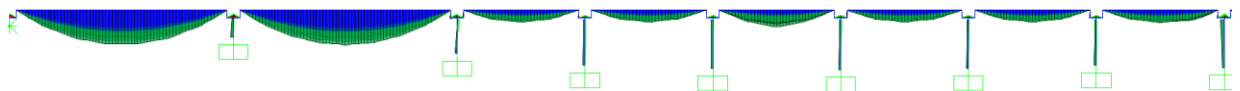


FIGURA 99 – MOMENTO M33 (KN.M/M) – EIXOS E1 AO E9

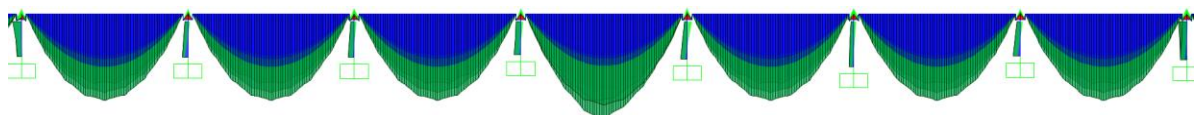


FIGURA 100 – MOMENTO M33 (KN.M/M) – EIXOS E9 A E16

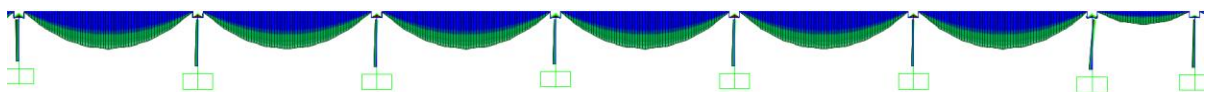


FIGURA 101– MOMENTO M33 (KN.M/M) – EIXOS E16 A E23

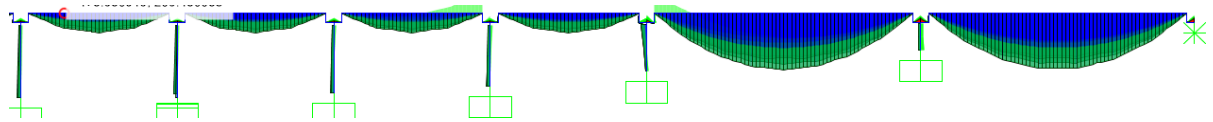


FIGURA 102– MOMENTO M33 (KN.M/M) – EIXOS E23 A E29

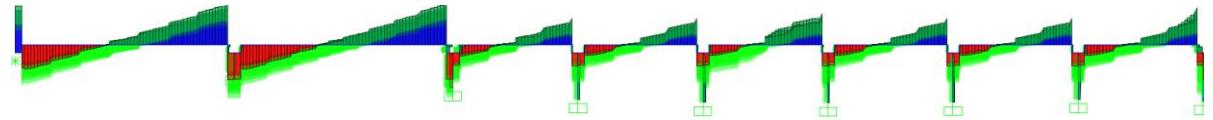


FIGURA 103– CORTANTE V22 (KN/M) – EIXOS E1 AO E9

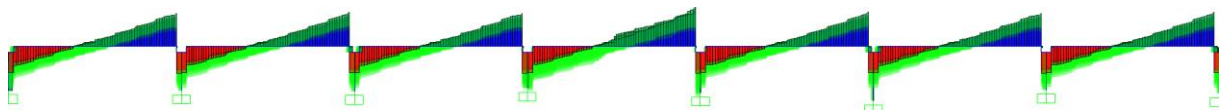


FIGURA 104– CORTANTE V22 (KN/M) – EIXOS E9 AO E16

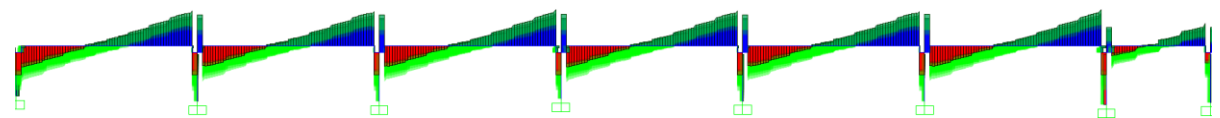


FIGURA 105– CORTANTE V22 (KN/M) – EIXOS E16 AO E23

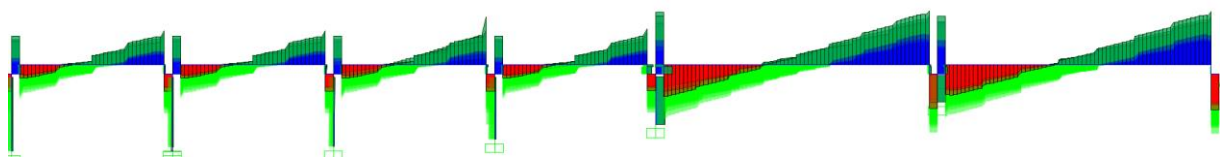


FIGURA 106– CORTANTE V22 (KN/M) – EIXOS E23 AO E29

#### 4.5.3 Travessas

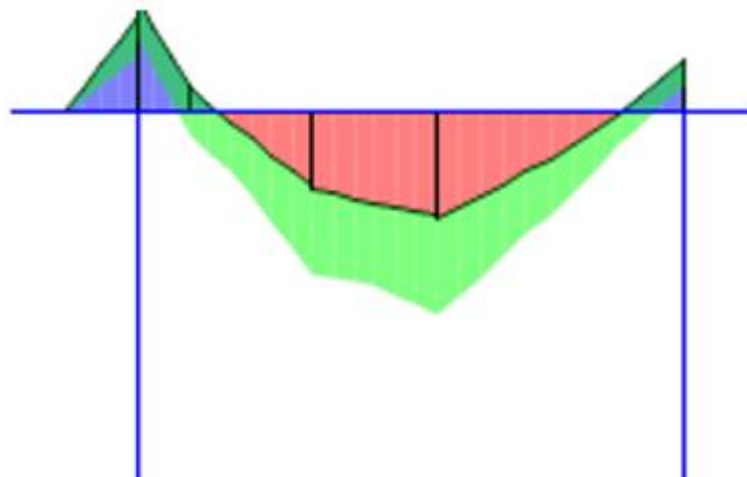
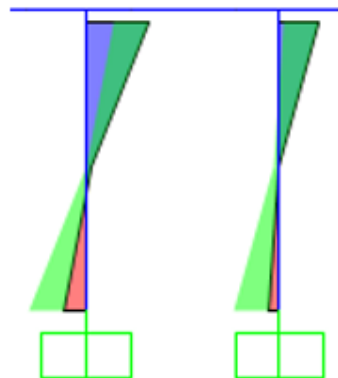
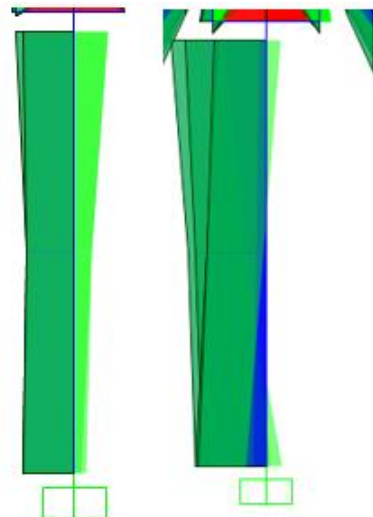


FIGURA 107 – MOMENTO M33 (KN.M/M)

FIGURA 108 – CORTANTE  $V_{22}$  (KN)

#### 4.5.4 Pilares

FIGURA 109 – MOMENTO  $M_{22}$  PILARES TÍPICOS (KN.M/M)FIGURA 110 – MOMENTO  $M_{33}$  PILARES TÍPICOS (KN.M/M)

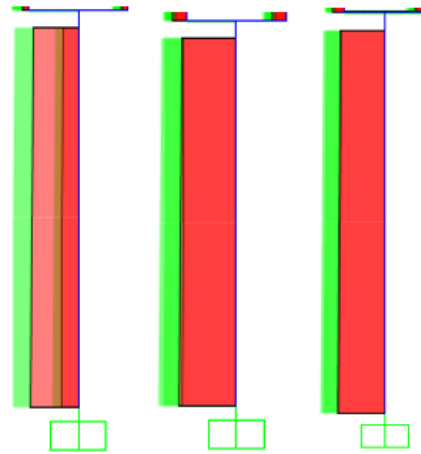


FIGURA 111 – FORÇA AXIAL PILARES TÍPICOS (KN)

#### 4.5.5 Muros de Contenção

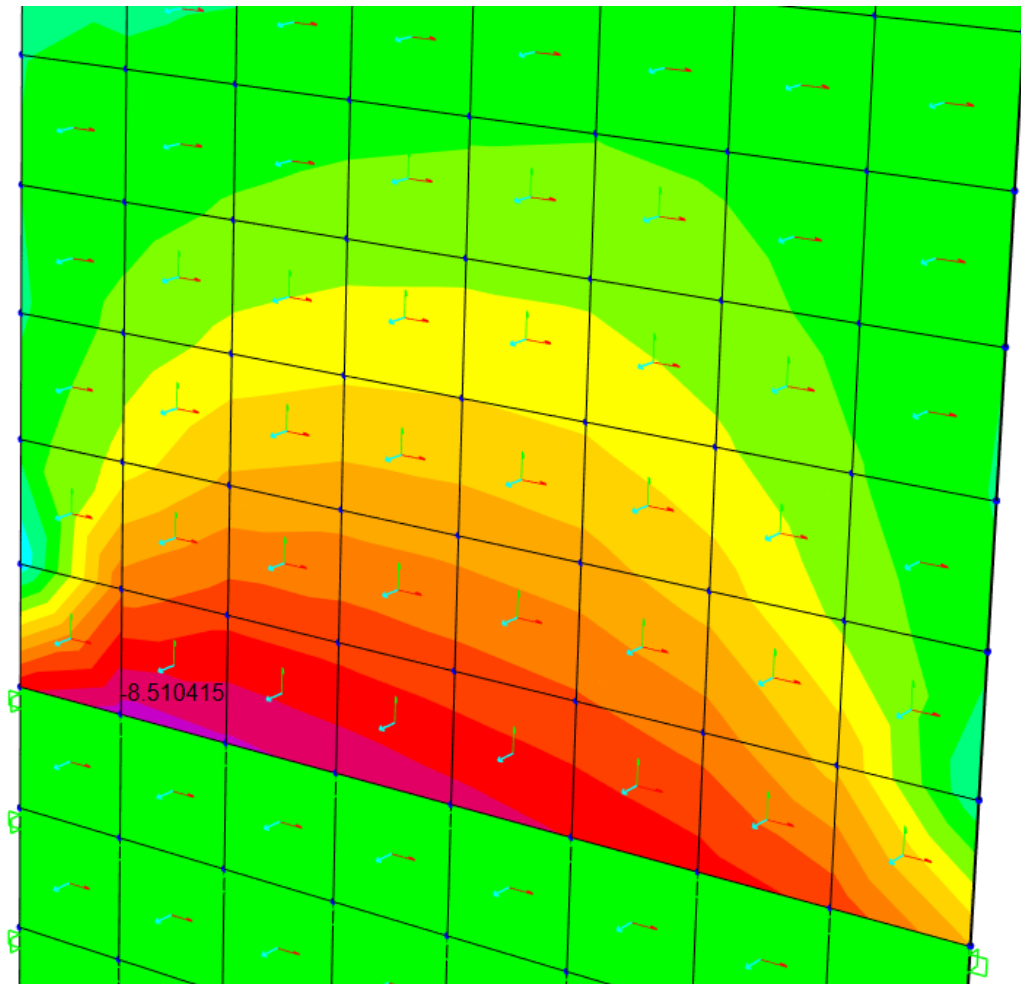


FIGURA 112 – MOMENTO FLETOR M11 – MUROS DE CONTENÇÃO (KN.M/M)

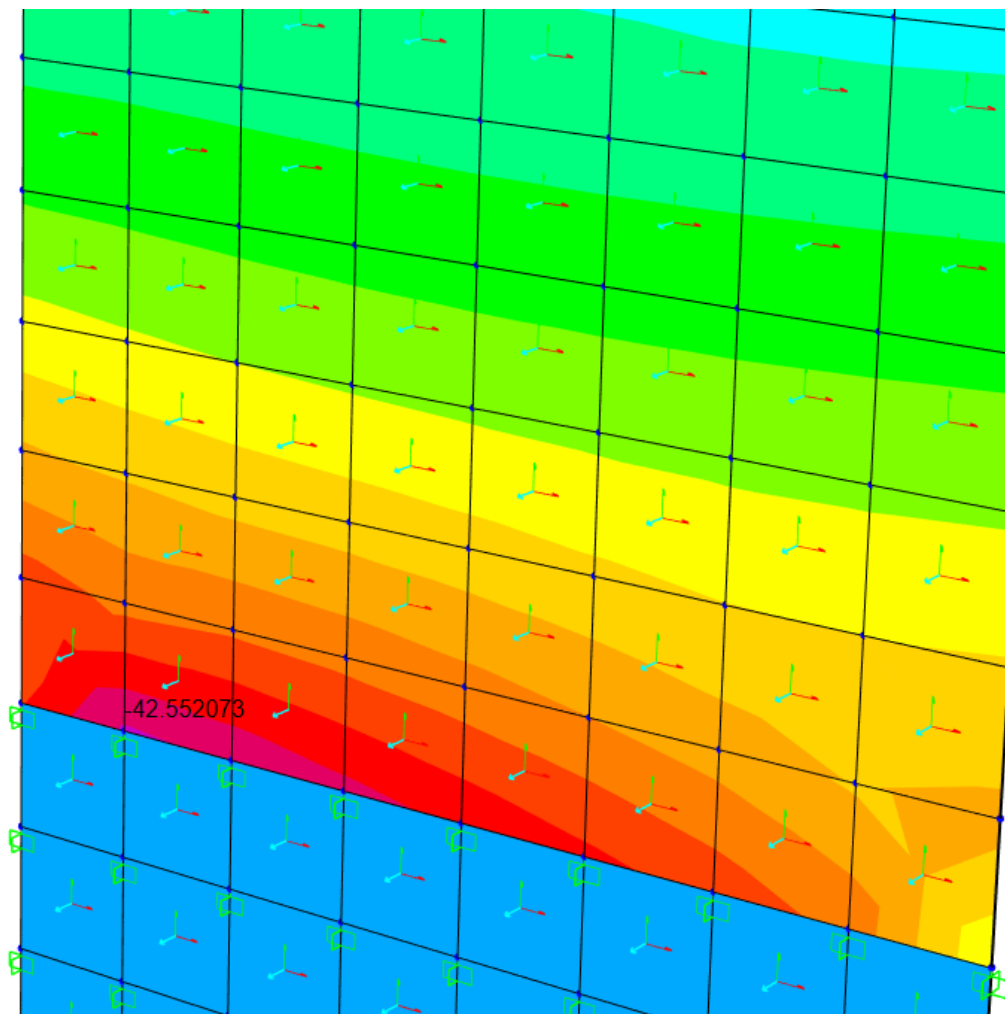


FIGURA 113 – MOMENTO FLETOR M22 – MUROS DE CONTENÇÃO (KN.M/M)

## 4.6 DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento das armaduras foi realizado conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2023), considerando as situações mais desfavoráveis de carregamentos atuantes na estrutura.

### 4.6.1 Lajes

- Armaduras longitudinais:

Armatura positiva				
Dados de Entrada				
Md+ (kN.cm)	h (cm)	d (cm)	bw (cm)	Fck
2.500	20	17	100	C30
Coeficientes			Armatura calculada (cm <sup>2</sup> )	Armatura mínima (cm <sup>2</sup> )
Kc (cm <sup>2</sup> /KN)	AÇO	Ks (cm <sup>2</sup> /KN)		
11,6	CA-50	0,024	3,53	3,00
			As <sub>adot.</sub>	As <sub>adic.</sub> (cm <sup>2</sup> )
			12,5mm c/15cm	8,33

Armatura negativa				
Dados de Entrada				
Md+ (kN.cm)	h (cm)	d (cm)	bw (cm)	Fck
4.500	20	17	100	C30
Coeficientes			Armatura calculada (cm <sup>2</sup> )	Armatura mínima (cm <sup>2</sup> )
Kc (cm <sup>2</sup> /KN)	AÇO	Ks (cm <sup>2</sup> /KN)		
6,4	CA-50	0,025	6,62	3,00
			As <sub>adot.</sub>	As <sub>adic.</sub> (cm <sup>2</sup> )
			12,5mm c/15cm	8,33

FIGURA 114 – ARMADURA LONGITUDINAL PARA M11

Armatura positiva				
Dados de Entrada				
Md+ (kN.cm)	h (cm)	d (cm)	bw (cm)	Fck
5.200	20	17	100	C30
Coeficientes			Armatura calculada (cm <sup>2</sup> )	Armatura mínima (cm <sup>2</sup> )
Kc (cm <sup>2</sup> /KN)	AÇO	Ks (cm <sup>2</sup> /KN)		
5,6	CA-50	0,024	7,34	3,00
			As <sub>adot.</sub>	As <sub>adic.</sub> (cm <sup>2</sup> )
			12,5mm c/15cm	8,33

Armatura negativa				
Dados de Entrada				
Md+ (kN.cm)	h (cm)	d (cm)	bw (cm)	Fck
4.100	20	17	100	C30
Coeficientes			Armatura calculada (cm <sup>2</sup> )	Armatura mínima (cm <sup>2</sup> )
Kc (cm <sup>2</sup> /KN)	AÇO	Ks (cm <sup>2</sup> /KN)		
7,0	CA-50	0,025	6,03	3,00
			As <sub>adot.</sub>	As <sub>adic.</sub> (cm <sup>2</sup> )
			12,5mm c/15cm	8,33

FIGURA 115 – ARMADURA LONGITUDINAL PARA M22

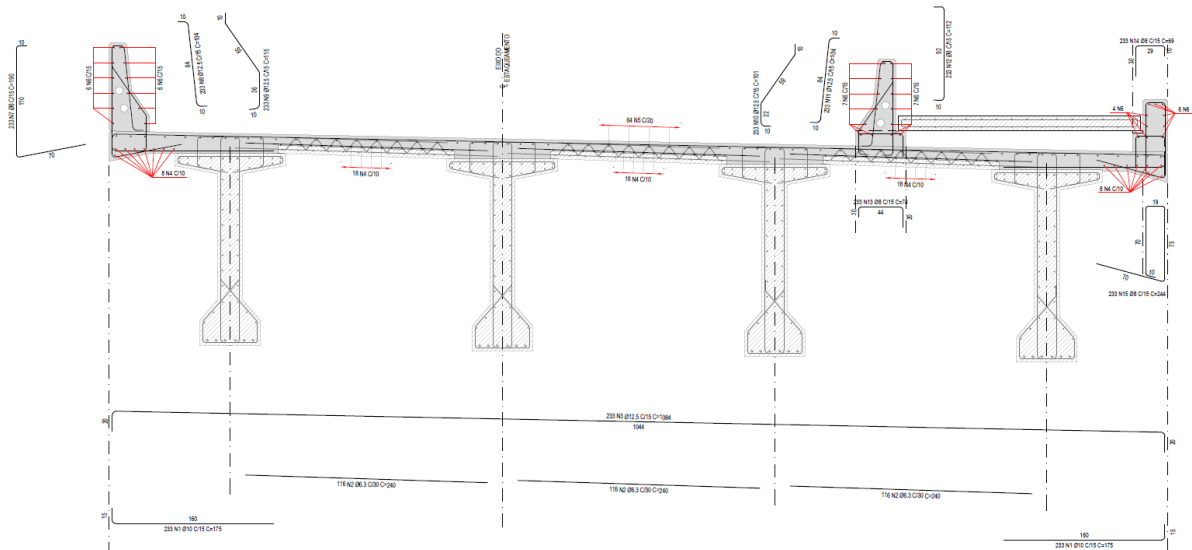


FIGURA 116 – ARMADURA LAJE



## 4.6.2 Travessas

- Armaduras longitudinais:

Armadura positiva				
Dados de Entrada				
Md+ (kN.cm)	h (cm)	d (cm)	bw (cm)	Fck
6.855	20	17	100	C30
Coeficientes			Armadura calculada (cm <sup>2</sup> )	Armadura mínima (cm <sup>2</sup> )
Kc (cm <sup>2</sup> /KN)	AÇO	Ks (cm <sup>2</sup> /KN)	9,68	3,00
4,2	CA-50	0,024	As <sub>adot.</sub>	As <sub>adic.</sub> (cm <sup>2</sup> )
			16mm c/10cm	20,00

Armadura negativa				
Dados de Entrada				
Md+ (kN.cm)	h (cm)	d (cm)	bw (cm)	Fck
4.826	20	17	100	C30
Coeficientes			Armadura calculada (cm <sup>2</sup> )	Armadura mínima (cm <sup>2</sup> )
Kc (cm <sup>2</sup> /KN)	AÇO	Ks (cm <sup>2</sup> /KN)	7,10	3,00
6,0	CA-50	0,025	As <sub>adot.</sub>	As <sub>adic.</sub> (cm <sup>2</sup> )
			16mm c/10cm	20,00

FIGURA 117 – ARMADURA LONGITUDINAL PARA M33

- Estribos:

Dados de Entrada		Resistencia do Concreto ao Cisalhamento		<0,02	Armadura Transversal	
		Pré-Calculo			Pré-Calculo	
Vsd (kN)	3206	$\sigma_{cp}$ (kN/cm)	0,000		s (cm)	10
h (cm)	90	$\tau_{Rd}$ (kN/cm)	0,044		fctd (kN)	0,175
d (cm)	87	k	0,73		Vc (kN)	915,80
bw (cm)	100	As1 (cm²/m)	8,33		fywd (kN)	43,5
fck (MPa)	40	$\rho_1$	0,0010		Resultado	
$\gamma_C$	1,4	Resultado			Asw (cm²)	6,72
As,ef	8,33	VRd1 (kN)	344,94			
fywk (MPa)	500				Armadura Mínima	
Aço	CA-50	Verificação Compressão Diagonal no concreto		Pré-Calculo		
Nsd (kN)	0	Pré-Calculo		s (cm)	10	
		$\alpha_{v2}$	0,84	fctm (kN)	0,35	
		Resultado		Resultado		
		VRd2 (kN)	5.638	Asw <sub>min</sub> (cm²)	1,40	
				Armadura	As (cm²)	
				12,5mm C/ 10	12,50	

FIGURA 118 – ESTRIBOS PARA V22

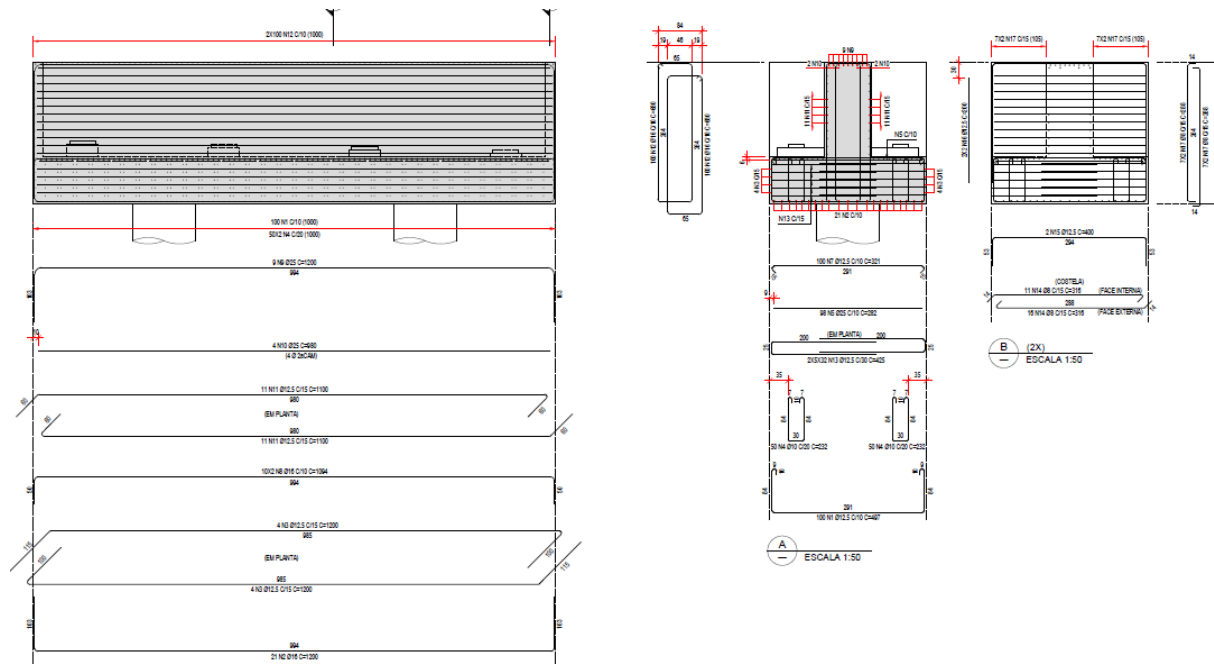
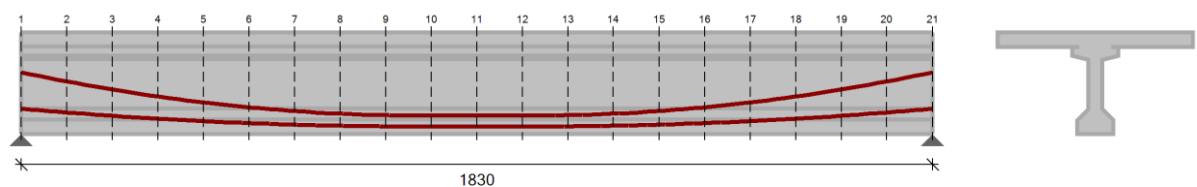


FIGURA 119 – ARMADURA TRAVESSA

### 4.6.3 Longarinas

- Protensão – Longarina 1

## Geometria:



**Concreto:**

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3.51 \text{ MPa}$$

$$E_c = 31 \text{ GPa}$$

$$f_{cj} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm,j} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$E_{c,j} = 29 \text{ GPa}$$

$$\gamma_c = 1.40$$

**Armadura ativa:**

$$f_{ptk} = 1900.00$$

$$f_{pyk} = 1710.00$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$\gamma_p = 1.15$$

**Armadura passiva:**

$$f_{yk} = 500.00$$

$$E_s = 210 \text{ GPa}$$

$$\gamma_s = 1.15$$

**Seção transversal**

TABELA 1: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS SEÇÃO TRANSVERSAL (ATO DE PROTENSÃO)

Seção	x (m)	h (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>s</sub> (m)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	I <sub>c</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )
1	0	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
2	0.915	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
3	1.83	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
4	2.745	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
5	3.66	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
6	4.575	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
7	5.49	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
8	6.405	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
9	7.32	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
10	8.235	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
11	9.15	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
12	10.065	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
13	10.98	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
14	11.895	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
15	12.81	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
16	13.725	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
17	14.64	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
18	15.555	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
19	16.47	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
20	17.385	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669
21	18.3	1.2	0.59097	0.60903	0.38775	0.06498	0.10996	0.10669

X - ABSCISSA DA SEÇÃO

H - ALTURA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Y<sub>i</sub> - DISTÂNCIA DO CENTRO DE GRAVIDADE DA SEÇÃO À FIBRA INFERIORY<sub>s</sub> - DISTÂNCIA DO CENTRO DE GRAVIDADE DA SEÇÃO À FIBRA SUPERIORA<sub>c</sub> - ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSALI<sub>c</sub> - MOMENTO DE INÉRCIA SEÇÃO TRANSVERSALW<sub>i</sub> - MÓDULO RESISTENTE DA SEÇÃO EM RELAÇÃO A FIBRA INFERIORW<sub>s</sub> - MÓDULO RESISTENTE DA SEÇÃO EM RELAÇÃO A FIBRA SUPERIOR

TABELA 3: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS SEÇÃO TRANSVERSAL (FASE FINAL)

Seção	x (m)	h (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>s</sub> (m)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	I <sub>c</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )
1	0	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
2	0.915	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
3	1.83	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
4	2.745	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
5	3.66	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
6	4.575	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
7	5.49	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
8	6.405	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
9	7.32	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
10	8.235	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
11	9.15	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
12	10.065	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
13	10.98	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
14	11.895	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
15	12.81	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
16	13.725	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
17	14.64	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
18	15.555	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
19	16.47	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
20	17.385	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477
21	18.3	1.4	1.00366	0.39634	0.92775	0.18024	0.17958	0.45477

X - ABCISSA DA SEÇÃO

H - ALTURA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Y<sub>i</sub> - DISTÂNCIA DO CENTRO DE GRAVIDADE DA SEÇÃO À FIBRA INFERIORY<sub>s</sub> - DISTÂNCIA DO CENTRO DE GRAVIDADE DA SEÇÃO À FIBRA SUPERIORA<sub>c</sub> - ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSALI<sub>c</sub> - MOMENTO DE INÉRCIA SEÇÃO TRANSVERSALW<sub>i</sub> - MÓDULO RESISTENTE DA SEÇÃO EM RELAÇÃO A FIBRA INFERIORW<sub>s</sub> - MÓDULO RESISTENTE DA SEÇÃO EM RELAÇÃO A FIBRA SUPERIOR**Ações consideradas**

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

TABELA 4: CASOS DE CARREGAMENTOS CONSIDERADOS

Caso	γ <sub>f</sub>	γ <sub>f</sub> (fav.)	ψ <sub>0</sub>	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>
Peso próprio (G0)	1.35	1	-	-	-
Hiperestático de protensão (HP)	1.1	0.9	-	-	-
Permanente (G1)	1.35	1	-	-	-
Acidental (Q)	1.5	-	0.7	0.5	0.3

γ<sub>f</sub> - COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO PARA AS AÇÕESψ<sub>0</sub> - FATOR DE REDUÇÃO DE COMBINAÇÃO PARA ELUψ<sub>1</sub> - FATOR DE REDUÇÃO DE COMBINAÇÃO FREQUENTE PARA ELSψ<sub>2</sub> - FATOR DE REDUÇÃO DE COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTE PARA ELS

### **Combinações**

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

### **Combinações últimas das ações (ELU)**

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left( F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$  é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$  é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

### **Combinações de serviço das ações**

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM):  $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ):  $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA):  $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

### **Protensão**

TABELA 5: FORÇA E MOMENTO DE PROTENSÃO NOS INSTANTES T<sub>0</sub> E T<sub>∞</sub>

Seção	x (m)	P <sub>i</sub> (kN)	P <sub>o</sub> (kN)	MP <sub>o</sub> (kN.m)	P <sub>∞</sub> (kN)	MP <sub>∞</sub> (kN.m)
1	0	3892.00	3342.07	21.44	2769.64	17.77
2	91.5	3892.00	3356.80	-275.79	2754.45	-226.30
3	183	3892.00	3369.36	-540.30	2740.17	-439.41
4	274.5	3892.00	3380.57	-771.35	2727.92	-622.43
5	366	3892.00	3391.13	-968.43	2718.53	-776.35
6	457.5	3892.00	3401.68	-1131.29	2712.62	-902.13
7	549	3892.00	3412.72	-1259.71	2710.65	-1000.56
8	640.5	3892.00	3424.68	-1353.53	2712.93	-1072.23
9	732	3892.00	3437.86	-1412.52	2719.67	-1117.44
10	823.5	3892.00	3452.44	-1436.36	2731.02	-1136.22

11	915	3892.00	3459.25	-1439.20	2737.26	-1138.82
12	1006.5	3892.00	3452.44	-1436.36	2731.02	-1136.22
13	1098	3892.00	3437.86	-1412.52	2719.67	-1117.44
14	1189.5	3892.00	3424.68	-1353.53	2712.93	-1072.23
15	1281	3892.00	3412.72	-1259.71	2710.65	-1000.56
16	1372.5	3892.00	3401.68	-1131.29	2712.62	-902.13
17	1464	3892.00	3391.13	-968.43	2718.53	-776.35
18	1555.5	3892.00	3380.57	-771.35	2727.92	-622.43
19	1647	3892.00	3369.36	-540.30	2740.17	-439.41
20	1738.5	3892.00	3356.80	-275.79	2754.45	-226.30
21	1830	3892.00	3342.07	21.44	2769.64	17.77

X - ABCISSA DA SEÇÃO

$P_i$  – FORÇA MÁXIMA APLICADA À ARMADURA DE PROTENSÃO PELO EQUIPAMENTO DE TRAÇÃO

$P_0$  – FORÇA DE PROTENSÃO APÓS AS PERDAS IMEDIATAS ( $T=0$ )

$MP_0$  – MOMENTO ISOSTÁTICO APÓS AS PERDAS IMEDIATAS ( $T=0$ )

$P_\infty$  – FORÇA DE PROTENSÃO APÓS TODAS AS PERDAS AO LONGO DO TEMPO ( $T=\infty$ )

$MP_\infty$  – MOMENTO ISOSTÁTICO DE PROTENSÃO APÓS TODAS AS PERDAS AO LONGO DO TEMPO ( $T=\infty$ )

**Esforços solicitantes**

TABELA 6: MOMENTO FLETOR COMBINAÇÕES ELS E ELU (KN.M)

Seção	x (m)	M <sub>CQP,max</sub>	M <sub>CQP,min</sub>	M <sub>CF,max</sub>	M <sub>CF,min</sub>	M <sub>CR,max</sub>	M <sub>CR,min</sub>	M <sub>SD,max</sub>	M <sub>SD,min</sub>
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
2	0.915	332.17	209.66	413.84	209.66	618.03	209.66	895.59	209.66
3	1.83	625.58	397.25	777.80	397.25	1158.35	397.25	1677.94	397.25
4	2.745	882.94	562.78	1096.38	562.78	1629.98	562.78	2360.55	562.78
5	3.66	1104.88	706.23	1370.64	706.23	2035.05	706.23	2946.64	706.23
6	4.575	1291.46	827.61	1600.69	827.61	2373.76	827.61	3436.50	827.61
7	5.49	1442.68	926.93	1786.52	926.93	2646.11	926.93	3830.13	926.93
8	6.405	1563.23	1004.17	1935.93	1004.17	2867.69	1004.17	4150.91	1004.17
9	7.32	1651.23	1059.35	2045.82	1059.35	3032.30	1059.35	4389.55	1059.35
10	8.235	1704.27	1092.45	2112.14	1092.45	3131.84	1092.45	4533.89	1092.45
11	9.15	1721.94	1103.48	2134.25	1103.48	3165.01	1103.48	4582.00	1103.48
12	10.065	1704.27	1092.45	2112.14	1092.45	3131.84	1092.45	4533.89	1092.45
13	10.98	1651.23	1059.35	2045.82	1059.35	3032.30	1059.35	4389.55	1059.35
14	11.895	1563.23	1004.17	1935.93	1004.17	2867.69	1004.17	4150.91	1004.17
15	12.81	1442.68	926.93	1786.52	926.93	2646.11	926.93	3830.13	926.93
16	13.725	1291.46	827.61	1600.69	827.61	2373.76	827.61	3436.50	827.61
17	14.64	1104.88	706.23	1370.64	706.23	2035.05	706.23	2946.64	706.23
18	15.555	882.94	562.78	1096.38	562.78	1629.98	562.78	2360.55	562.78
19	16.47	625.58	397.25	777.80	397.25	1158.35	397.25	1677.94	397.25
20	17.385	332.17	209.66	413.84	209.66	618.03	209.66	895.59	209.66
21	18.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00

X - ABSCISSA DA SEÇÃO

M<sub>CQP,MAX</sub> – MOMENTO FLETOR MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTEM<sub>CQP,MIN</sub> – MOMENTO FLETOR MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTEM<sub>CF,MAX</sub> – MOMENTO FLETOR MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO FREQUENTEM<sub>CF,MIN</sub> – MOMENTO FLETOR MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO FREQUENTEM<sub>CR,MAX</sub> – MOMENTO FLETOR MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO RARAM<sub>CR,MIN</sub> – MOMENTO FLETOR MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO RARAM<sub>SD,MAX</sub> – MOMENTO FLETOR MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO ELUM<sub>SD,MIN</sub> – MOMENTO FLETOR MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO ELU

TABELA 7: ESFORÇO CORTANTE COMBINAÇÕES ELS E ELU (KN)

Seção	x (m)	$V_{CQP,max}$	$V_{CQP,min}$	$V_{CF,max}$	$V_{CF,min}$	$V_{CR,max}$	$V_{CR,min}$	$V_{SD,max}$	$V_{SD,min}$
1	0	385.80	241.87	481.75	241.87	721.63	241.87	1046.17	241.87
2	0.915	352.07	215.49	441.67	214.03	665.66	210.37	965.83	206.71
3	1.83	318.55	188.19	401.93	184.65	610.36	175.80	886.51	166.96
4	2.745	285.23	159.74	362.52	153.36	555.73	137.42	808.20	121.48
5	3.66	252.12	129.53	323.45	119.14	501.78	93.16	730.90	67.18
6	4.575	219.20	98.81	284.72	84.06	448.50	47.18	654.61	10.30
7	5.49	186.49	67.91	246.32	48.68	395.90	0.61	579.34	-47.46
8	6.405	153.98	36.82	208.27	12.98	343.98	-46.59	505.08	-106.17
9	7.32	121.68	5.52	170.55	-23.05	292.72	-94.47	431.83	-165.89
10	8.235	89.57	-25.97	133.17	-59.42	242.15	-143.02	359.59	-226.62
11	9.15	57.67	-57.67	96.12	-96.12	192.25	-192.25	290.60	-290.60
12	10.065	25.97	-89.57	59.42	-133.17	143.02	-242.15	226.62	-359.59
13	10.98	-5.52	-121.68	23.05	-170.55	94.47	-292.72	165.89	-431.83
14	11.895	-36.82	-153.98	-12.98	-208.27	46.59	-343.97	106.17	-505.08
15	12.81	-67.91	-186.49	-48.68	-246.32	-0.61	-395.90	47.46	-579.34
16	13.725	-98.81	-219.20	-84.06	-284.72	-47.18	-448.50	-10.30	-654.61
17	14.64	-129.53	-252.12	-119.14	-323.45	-93.16	-501.78	-67.18	-730.90
18	15.555	-159.74	-285.23	-153.36	-362.52	-137.42	-555.73	-121.48	-808.20
19	16.47	-188.19	-318.55	-184.65	-401.93	-175.80	-610.36	-166.96	-886.51
20	17.385	-215.49	-352.07	-214.03	-441.67	-210.37	-665.66	-206.71	-965.83
21	18.3	-241.87	-385.80	-241.87	-481.75	-241.87	-721.63	-241.87	-1046.17

X - ABCISSA DA SEÇÃO

 $V_{CQP,MAX}$  – ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTE $V_{CQP,MIN}$  – ESFORÇO CORTANTE MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTE $V_{CF,MAX}$  – ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO FREQUENTE $V_{CF,MIN}$  – ESFORÇO CORTANTE MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO FREQUENTE $V_{CR,MAX}$  – ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO RARA $V_{CR,MIN}$  – ESFORÇO CORTANTE MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO RARA $V_{SD,MAX}$  – ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO ELU $V_{SD,MIN}$  – ESFORÇO CORTANTE MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO ELU



**Estado limite de formação de fissura (ELS-F)**TABELA 8: VERIFICAÇÃO ELS-F ( $\Sigma_c \leq 2.95$  MPA)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7.31	-6.98
2	0.915	-7.72	-5.45
3	1.83	-8.34	-4.10
4	2.745	-8.83	-2.89
5	3.66	-9.23	-1.83
6	4.575	-9.52	-0.91
7	5.49	-9.73	-0.16
8	6.405	-9.86	0.52
9	7.32	-9.91	1.08
10	8.235	-9.88	1.48
11	9.15	-9.84	1.63
12	10.065	-9.88	1.48
13	10.98	-9.91	1.08
14	11.895	-9.86	0.52
15	12.81	-9.73	-0.16
16	13.725	-9.52	-0.91
17	14.64	-9.23	-1.83
18	15.555	-8.83	-2.89
19	16.47	-8.34	-4.10
20	17.385	-7.72	-5.45
21	18.3	-7.31	-6.98

X - ABCISSA DA SEÇÃO

 $\Sigma_{c,min}$  – TENSÃO MÍNIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO) $\Sigma_{c,max}$  – TENSÃO MÁXIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO)

**Estado limite de descompressão (ELS-D)**TABELA 9: VERIFICAÇÃO ELS-D ( $\Sigma_c \leq 0$ )

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7.31	-6.98
2	0.915	-7.72	-5.85
3	1.83	-8.34	-4.59
4	2.745	-8.83	-3.52
5	3.66	-9.23	-2.65
6	4.575	-9.52	-1.96
7	5.49	-9.73	-1.44
8	6.405	-9.86	-1.09
9	7.32	-9.91	-0.91
10	8.235	-9.88	-0.90
11	9.15	-9.84	-0.94
12	10.065	-9.88	-0.90
13	10.98	-9.91	-0.91
14	11.895	-9.86	-1.09
15	12.81	-9.73	-1.44
16	13.725	-9.52	-1.96
17	14.64	-9.23	-2.65
18	15.555	-8.83	-3.52
19	16.47	-8.34	-4.59
20	17.385	-7.72	-5.85
21	18.3	-7.31	-6.98

X - ABCISSA DA SEÇÃO

 $\Sigma_{c,min}$  - TENSÃO MÍNIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO) $\Sigma_{c,max}$  - TENSÃO MÁXIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO)

**Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)**TABELA 10: VERIFICAÇÃO ELU-ATO ( $-24.5 \text{ MPa} \leq \Sigma_c \leq 3.84 \text{ MPa}$ )

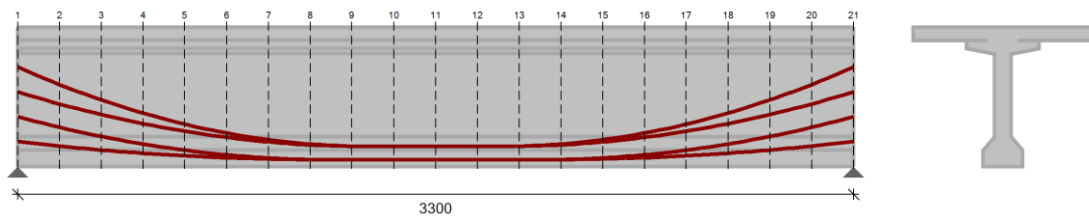
Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-9.70	-9.27
2	0.915	-11.58	-7.40
3	1.83	-13.64	-5.35
4	2.745	-15.43	-3.57
5	3.66	-16.95	-2.06
6	4.575	-18.21	-0.83
7	5.49	-19.19	0.12
8	6.405	-19.91	0.79
9	7.32	-20.35	1.17
10	8.235	-20.52	1.26
11	9.15	-20.53	1.23
12	10.065	-20.52	1.26
13	10.98	-20.35	1.17
14	11.895	-19.91	0.79
15	12.81	-19.19	0.12
16	13.725	-18.21	-0.83
17	14.64	-16.95	-2.06
18	15.555	-15.43	-3.57
19	16.47	-13.64	-5.35
20	17.385	-11.58	-7.40
21	18.3	-9.70	-9.27

X - ABCISSA DA SEÇÃO

 $\Sigma_{c,min}$  - TENSÃO MÍNIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO) $\Sigma_{c,max}$  - TENSÃO MÁXIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO)

- Protensão – Longarina 2

### **Geometria:**



#### **Concreto:**

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3.51 \text{ MPa}$$

$$E_c = 31 \text{ GPa}$$

$$f_{cj} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm,j} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$E_{c,j} = 29 \text{ GPa}$$

$$\gamma_c = 1.40$$

#### **Armadura ativa:**

$$f_{ptk} = 1900.00$$

$$f_{pyk} = 1710.00$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$\gamma_p = 1.15$$

#### **Armadura passiva:**

$$f_{yk} = 500.00$$

$$E_s = 210 \text{ GPa}$$

$$\gamma_s = 1.15$$

**Seção transversal**

TABELA 1: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS SEÇÃO TRANSVERSAL (ATO DE PROTENSÃO)

Seção	x (m)	h (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>s</sub> (m)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	I <sub>c</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )
1	0	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
2	1.65	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
3	3.3	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
4	4.95	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
5	6.6	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
6	8.25	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
7	9.9	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
8	11.55	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
9	13.2	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
10	14.85	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
11	16.5	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
12	18.15	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
13	19.8	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
14	21.45	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
15	23.1	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
16	24.75	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
17	26.4	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
18	28.05	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
19	29.7	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
20	31.35	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777
21	33	1.9	0.98236	0.91764	0.7335	0.31913	0.32485	0.34777

X - ABCISSA DA SEÇÃO

H - ALTURA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Y<sub>i</sub> - DISTÂNCIA DO CENTRO DE GRAVIDADE DA SEÇÃO À FIBRA INFERIORY<sub>s</sub> - DISTÂNCIA DO CENTRO DE GRAVIDADE DA SEÇÃO À FIBRA SUPERIORA<sub>c</sub> - ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSALI<sub>c</sub> - MOMENTO DE INÉRCIA SEÇÃO TRANSVERSALW<sub>i</sub> - MÓDULO RESISTENTE DA SEÇÃO EM RELAÇÃO A FIBRA INFERIORW<sub>s</sub> - MÓDULO RESISTENTE DA SEÇÃO EM RELAÇÃO A FIBRA SUPERIOR

TABELA 11: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS SEÇÃO TRANSVERSAL (FASE FINAL)

Seção	x (m)	h (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>s</sub> (m)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	I <sub>c</sub> (m <sup>4</sup> )	W <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )
1	0	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
2	1.65	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
3	3.3	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
4	4.95	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
5	6.6	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
6	8.25	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
7	9.9	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
8	11.55	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
9	13.2	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
10	14.85	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
11	16.5	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
12	18.15	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
13	19.8	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
14	21.45	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
15	23.1	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
16	24.75	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
17	26.4	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
18	28.05	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
19	29.7	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
20	31.35	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717
21	33	2.1	1.41387	0.68613	1.2735	0.64302	0.45479	0.93717

X - ABCISSA DA SEÇÃO

H - ALTURA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Y<sub>i</sub> - DISTÂNCIA DO CENTRO DE GRAVIDADE DA SEÇÃO À FIBRA INFERIORY<sub>s</sub> - DISTÂNCIA DO CENTRO DE GRAVIDADE DA SEÇÃO À FIBRA SUPERIORA<sub>c</sub> - ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSALI<sub>c</sub> - MOMENTO DE INÉRCIA SEÇÃO TRANSVERSALW<sub>i</sub> - MÓDULO RESISTENTE DA SEÇÃO EM RELAÇÃO A FIBRA INFERIORW<sub>s</sub> - MÓDULO RESISTENTE DA SEÇÃO EM RELAÇÃO A FIBRA SUPERIOR**Ações consideradas**

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

TABELA 12: CASOS DE CARREGAMENTOS CONSIDERADOS

Caso	γ <sub>f</sub>	γ <sub>f</sub> (fav.)	ψ <sub>0</sub>	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>
Peso próprio (G0)	1.35	1	-	-	-
Hiperestático de protensão (HP)	1.1	0.9	-	-	-
Permanente (G1)	1.35	1	-	-	-
Acidental (Q)	1.5	-	0.7	0.5	0.3

$\gamma_F$  – COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO PARA AS AÇÕES  
 $\psi_0$  – FATOR DE REDUÇÃO DE COMBINAÇÃO PARA ELU  
 $\psi_1$  – FATOR DE REDUÇÃO DE COMBINAÇÃO FREQUENTE PARA ELS  
 $\psi_2$  – FATOR DE REDUÇÃO DE COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTE PARA ELS

### **Combinações**

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

### **Combinações últimas das ações (ELU)**

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left( F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$  é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$  é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

### **Combinações de serviço das ações**

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM):  $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ):  $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA):  $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

**Protensão**TABELA 13: FORÇA E MOMENTO DE PROTENSÃO NOS INSTANTES  $T_0$  E  $T_\infty$ 

Seção	x (m)	$P_i$ (kN)	$P_o$ (kN)	$MP_o$ (kN.m)	$P_\infty$ (kN)	$MP_\infty$ (kN.m)
1	0	7784.00	6820.59	-335.02	5574.24	-273.80
2	165	7784.00	6857.43	-1485.07	5543.00	-1200.41
3	330	7784.00	6887.23	-2495.52	5515.82	-1998.60
4	495	7784.00	6913.26	-3362.69	5496.23	-2673.43
5	660	7784.00	6938.38	-4084.94	5486.69	-3230.26
6	825	7784.00	6965.02	-4661.76	5488.76	-3673.69
7	990	7784.00	6995.11	-5092.99	5503.38	-4006.89
8	1155	7784.00	7030.11	-5378.16	5531.04	-4231.34
9	1320	7784.00	7068.18	-5517.56	5569.67	-4347.79
10	1485	7784.00	7092.94	-5550.12	5601.35	-4382.97
11	1650	7784.00	7104.39	-5560.37	5614.30	-4394.13
12	1815	7784.00	7092.94	-5550.12	5601.35	-4382.97
13	1980	7784.00	7068.18	-5517.56	5569.67	-4347.79
14	2145	7784.00	7030.11	-5378.16	5531.04	-4231.34
15	2310	7784.00	6995.11	-5092.99	5503.38	-4006.89
16	2475	7784.00	6965.02	-4661.76	5488.76	-3673.69
17	2640	7784.00	6938.38	-4084.94	5486.69	-3230.26
18	2805	7784.00	6913.26	-3362.69	5496.23	-2673.43
19	2970	7784.00	6887.23	-2495.52	5515.82	-1998.60
20	3135	7784.00	6857.43	-1485.07	5543.00	-1200.41
21	3300	7784.00	6820.59	-335.02	5574.24	-273.80

X - ABCISSA DA SEÇÃO

 $P_i$  – FORÇA MÁXIMA APLICADA À ARMADURA DE PROTENSÃO PELO EQUIPAMENTO DE TRAÇÃO $P_o$  – FORÇA DE PROTENSÃO APÓS AS PERDAS IMEDIATAS ( $T=0$ ) $MP_o$  – MOMENTO ISOSTÁTICO APÓS AS PERDAS IMEDIATAS ( $T=0$ ) $P_\infty$  – FORÇA DE PROTENSÃO APÓS TODAS AS PERDAS AO LONGO DO TEMPO ( $T=\infty$ ) $MP_\infty$  – MOMENTO ISOSTÁTICO DE PROTENSÃO APÓS TODAS AS PERDAS AO LONGO DO TEMPO ( $T=\infty$ )



**Esforços solicitantes**

TABELA 14: MOMENTO FLETOR COMBINAÇÕES ELS E ELU (KN.M)

Seção	x (m)	M <sub>CQP,max</sub>	M <sub>CQP,min</sub>	M <sub>CF,max</sub>	M <sub>CF,min</sub>	M <sub>CR,max</sub>	M <sub>CR,min</sub>	M <sub>SD,max</sub>	M <sub>SD,min</sub>
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
2	1.65	1169.59	904.72	1346.17	904.72	1787.62	904.72	2545.72	904.72
3	3.3	2211.43	1714.21	2542.91	1714.21	3371.61	1714.21	4800.28	1714.21
4	4.95	3129.60	2428.47	3597.02	2428.47	4765.57	2428.47	6784.09	2428.47
5	6.6	3924.33	3047.49	4508.90	3047.49	5970.31	3047.49	8498.34	3047.49
6	8.25	4595.64	3571.27	5278.55	3571.27	6985.82	3571.27	9943.04	3571.27
7	9.9	5143.51	3999.83	5905.96	3999.83	7812.10	3999.83	11118.18	3999.83
8	11.55	5572.44	4333.15	6398.64	4333.15	8464.14	4333.15	12046.24	4333.15
9	13.2	5880.65	4571.23	6753.60	4571.23	8935.97	4571.23	12718.28	4571.23
10	14.85	6065.80	4714.08	6966.95	4714.08	9219.81	4714.08	13122.61	4714.08
11	16.5	6127.52	4761.70	7038.06	4761.70	9314.43	4761.70	13257.39	4761.70
12	18.15	6065.80	4714.08	6966.95	4714.08	9219.81	4714.08	13122.61	4714.08
13	19.8	5880.65	4571.23	6753.60	4571.23	8935.97	4571.23	12718.28	4571.23
14	21.45	5572.44	4333.14	6398.64	4333.14	8464.14	4333.14	12046.24	4333.14
15	23.1	5143.51	3999.83	5905.96	3999.83	7812.10	3999.83	11118.18	3999.83
16	24.75	4595.64	3571.27	5278.55	3571.27	6985.82	3571.27	9943.04	3571.27
17	26.4	3924.33	3047.49	4508.90	3047.49	5970.31	3047.49	8498.34	3047.49
18	28.05	3129.60	2428.47	3597.02	2428.47	4765.57	2428.47	6784.09	2428.47
19	29.7	2211.43	1714.21	2542.91	1714.21	3371.61	1714.21	4800.28	1714.21
20	31.35	1169.59	904.72	1346.17	904.72	1787.62	904.72	2545.72	904.72
21	33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00

X - ABCISSA DA SEÇÃO

M<sub>CQP,MAX</sub> – MOMENTO FLETOR MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTEM<sub>CQP,MIN</sub> – MOMENTO FLETOR MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTEM<sub>CF,MAX</sub> – MOMENTO FLETOR MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO FREQUENTEM<sub>CF,MIN</sub> – MOMENTO FLETOR MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO FREQUENTEM<sub>CR,MAX</sub> – MOMENTO FLETOR MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO RARAM<sub>CR,MIN</sub> – MOMENTO FLETOR MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO RARAM<sub>SD,MAX</sub> – MOMENTO FLETOR MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO ELUM<sub>SD,MIN</sub> – MOMENTO FLETOR MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO ELU

TABELA 15: ESFORÇO CORTANTE COMBINAÇÕES ELS E ELU (KN)

Seção	x (m)	V <sub>CQP,max</sub>	V <sub>CQP,min</sub>	V <sub>CF,max</sub>	V <sub>CF,min</sub>	V <sub>CR,max</sub>	V <sub>CR,min</sub>	V <sub>SD,max</sub>	V <sub>SD,min</sub>
1	0	752.11	578.78	867.66	578.78	1156.54	578.78	1648.00	578.78
2	1.65	682.01	518.50	789.41	516.91	1057.92	512.91	1508.74	508.92
3	3.3	612.26	455.96	711.74	451.25	960.46	439.47	1371.24	427.70
4	4.95	542.86	391.89	634.66	383.05	864.18	360.95	1235.50	338.85
5	6.6	473.81	327.39	558.17	314.14	769.07	281.01	1101.51	247.89
6	8.25	405.11	262.56	482.26	244.67	675.12	199.94	969.28	155.22
7	9.9	336.76	197.37	406.93	174.61	582.35	117.70	838.80	60.80
8	11.55	268.77	131.83	332.19	103.96	490.75	34.29	710.07	-35.38
9	13.2	201.12	65.94	258.04	32.73	400.31	-50.29	583.11	-133.31
10	14.85	133.83	-0.30	184.47	-39.08	311.05	-136.04	457.90	-233.00
11	16.5	66.89	-66.89	111.48	-111.48	222.96	-222.96	339.77	-339.77
12	18.15	0.30	-133.83	39.08	-184.47	136.04	-311.05	233.00	-457.90
13	19.8	-65.94	-201.12	-32.73	-258.04	50.29	-400.31	133.31	-583.11
14	21.45	-131.83	-268.77	-103.96	-332.19	-34.29	-490.75	35.38	-710.07
15	23.1	-197.37	-336.76	-174.61	-406.93	-117.70	-582.35	-60.80	-838.80
16	24.75	-262.56	-405.11	-244.67	-482.26	-199.94	-675.12	-155.22	-969.28
17	26.4	-327.39	-473.81	-314.14	-558.17	-281.01	-769.07	-247.89	-1101.51
18	28.05	-391.89	-542.86	-383.05	-634.66	-360.95	-864.18	-338.85	-1235.50
19	29.7	-455.96	-612.26	-451.25	-711.74	-439.47	-960.46	-427.70	-1371.24
20	31.35	-518.50	-682.01	-516.91	-789.41	-512.91	-1057.92	-508.92	-1508.74
21	33	-578.78	-752.11	-578.78	-867.66	-578.78	-1156.54	-578.78	-1648.00

X - ABCISSA DA SEÇÃO

V<sub>CQP,MAX</sub> – ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTEV<sub>CQP,MIN</sub> – ESFORÇO CORTANTE MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTEV<sub>CF,MAX</sub> – ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO FREQUENTEV<sub>CF,MIN</sub> – ESFORÇO CORTANTE MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO FREQUENTEV<sub>CR,MAX</sub> – ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO RARAV<sub>CR,MIN</sub> – ESFORÇO CORTANTE MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO RARAV<sub>SD,MAX</sub> – ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO PARA COMBINAÇÃO ELUV<sub>SD,MIN</sub> – ESFORÇO CORTANTE MÍNIMO PARA COMBINAÇÃO ELU

**Estado limite de formação de fissura (ELS-F)**TABELA 16: VERIFICAÇÃO ELS-F ( $\Sigma_c \leq 2.95$  MPA)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-8.44	-6.81
2	1.65	-8.85	-5.79
3	3.3	-9.11	-4.97
4	4.95	-9.27	-4.13
5	6.6	-9.32	-2.90
6	8.25	-9.30	-1.79
7	9.9	-9.20	-0.82
8	11.55	-9.05	0.04
9	13.2	-8.82	0.77
10	14.85	-8.60	1.31
11	16.5	-8.52	1.49
12	18.15	-8.60	1.31
13	19.8	-8.82	0.77
14	21.45	-9.05	0.04
15	23.1	-9.20	-0.82
16	24.75	-9.30	-1.79
17	26.4	-9.32	-2.90
18	28.05	-9.27	-4.13
19	29.7	-9.11	-4.97
20	31.35	-8.85	-5.79
21	33	-8.44	-6.81

X - ABCISSA DA SEÇÃO

 $\Sigma_{c,min}$  – TENSÃO MÍNIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO) $\Sigma_{c,max}$  – TENSÃO MÁXIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO)

**Estado limite de descompressão (ELS-D)**TABELA 17: VERIFICAÇÃO ELS-D ( $\Sigma_c \leq 0$ )

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-8.44	-6.81
2	1.65	-8.85	-5.79
3	3.3	-9.11	-4.97
4	4.95	-9.27	-4.33
5	6.6	-9.32	-3.87
6	8.25	-9.30	-3.58
7	9.9	-9.20	-3.44
8	11.55	-9.05	-3.45
9	13.2	-8.82	-3.61
10	14.85	-8.60	-3.64
11	16.5	-8.52	-3.52
12	18.15	-8.60	-3.64
13	19.8	-8.82	-3.61
14	21.45	-9.05	-3.45
15	23.1	-9.20	-3.44
16	24.75	-9.30	-3.58
17	26.4	-9.32	-3.87
18	28.05	-9.27	-4.33
19	29.7	-9.11	-4.97
20	31.35	-8.85	-5.79
21	33	-8.44	-6.81

X - ABCISSA DA SEÇÃO

 $\Sigma_{c,min}$  – TENSÃO MÍNIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO) $\Sigma_{c,max}$  – TENSÃO MÁXIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO)

**Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)**TABELA 18: VERIFICAÇÃO ELU-ATO ( $-24.5 \text{ MPA} \leq \Sigma_c \leq 3.84 \text{ MPA}$ )

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-11.36	-9.17
2	1.65	-13.86	-6.95
3	3.3	-16.02	-5.01
4	4.95	-17.85	-3.38
5	6.6	-19.33	-2.07
6	8.25	-20.48	-1.07
7	9.9	-21.30	-0.39
8	11.55	-21.78	-0.05
9	13.2	-21.93	-0.02
10	14.85	-21.84	-0.17
11	16.5	-21.82	-0.22
12	18.15	-21.84	-0.17
13	19.8	-21.93	-0.02
14	21.45	-21.78	-0.05
15	23.1	-21.30	-0.39
16	24.75	-20.48	-1.07
17	26.4	-19.33	-2.07
18	28.05	-17.85	-3.38
19	29.7	-16.02	-5.01
20	31.35	-13.86	-6.95
21	33	-11.36	-9.17

X - ABCISSA DA SEÇÃO

 $\Sigma_{c,min}$  – TENSÃO MÍNIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO) $\Sigma_{c,max}$  – TENSÃO MÁXIMA NAS FIBRAS DE CONCRETO (NEGATIVO PARA COMPRESSÃO)

## 4.6.4 Pilares

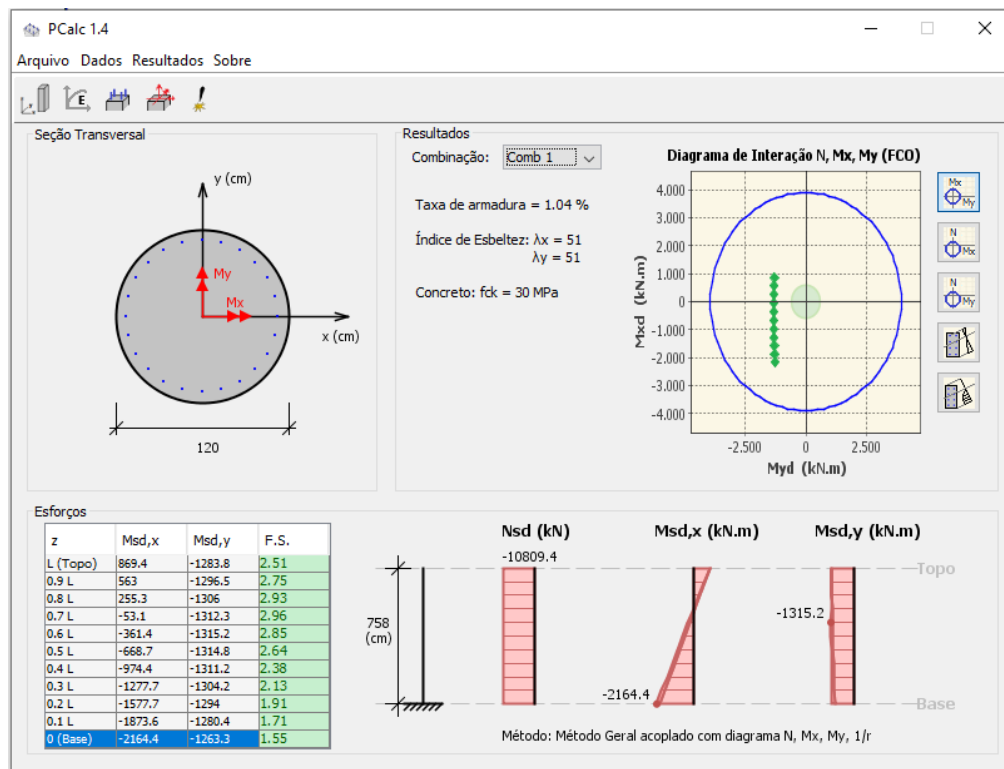


FIGURA 120 – DIMENSIONAMENTO ARMADURA PILARES

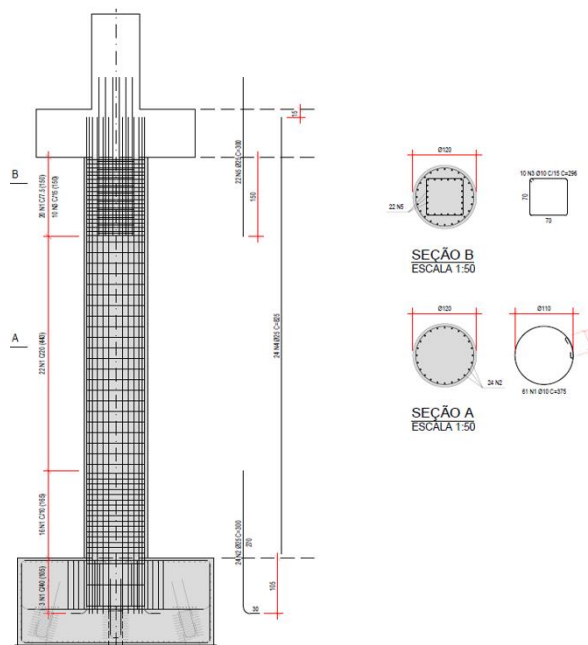


FIGURA 121 – ARMADURA PILARES

## 4.6.5 Capacidade de carga das estacas

Referências: SONDAGEM SPT-102

Tipo de Estaca:	Metálica	Modificador de atrito interno:	1,50
Seção Transversal:	Perfil simples	Perímetro (m):	1,210
Tipo de Ponta:	Fechada	Área da seção Aberta (m²):	
Largura da mesa - bf (m):	0,3060	Área da seção Fechada (m²):	0,0915
Altura - h (m):	0,2990	Profundidade para análise (m):	
Carga de Trabalho - Compressão (kN):	0	Lateral (%):	
Carga de Trabalho - Tração (kN):	0	Ponta (%):	
Fator de segurança:	2		
Perfil metálico adotado:	HP 310 x 79,0		
Deseja limitar ponta ?:	Não	Contribuição da ponta desejada (%):	

Prof. (m)	Nspt	Tipo de Solo	Ponta	Lateral	Total	Tração	Verificação		Total Adm.	
			Resistência (kN)	Resistência Acumulada (kN)	Resistência última (kN)	Resistência Total (kN)	Padm (kN) Qu/F.S	Padm <sub>tração</sub> (kN) Qu/F.S	Padm ≤ (kN)	Padm <sub>tração</sub> ≤ (kN)
1	0	Argila	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0	Argila siltosa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	3	Argila siltosa	34,51	9,13	43,63	9,13	21,82	4,56	21,82	4,56
4	4	Silte arenoso	115,02	25,86	140,88	25,86	70,44	12,93	70,44	12,93
5	4	Silte arenoso	115,02	42,59	157,61	42,59	78,81	21,30	78,81	21,30
6	15	Silte arenoso	431,33	105,34	536,67	105,34	268,33	52,67	268,33	52,67
7	13	Silte arenoso	373,82	159,72	533,54	159,72	266,77	79,86	266,77	79,86
8	20	Silte arenoso	575,11	243,38	818,49	243,38	409,24	121,69	409,24	121,69
9	29	Silte arenoso	833,90	364,69	1.198,60	364,69	599,30	182,35	599,30	182,35
10	41	Silte arenoso	1.178,97	536,20	1.715,17	536,20	857,58	268,10	857,58	268,10
11	45	Silte arenoso	1.293,99	724,44	2.018,43	724,44	1.009,22	362,22	1.009,22	362,22
12	45	Silte arenoso	1.293,99	912,69	2.206,67	912,69	1.103,34	456,34	1.103,34	456,34
13	45	Silte arenoso	1.293,99	1.100,93	2.394,91	1.100,93	1.197,46	550,46	1.197,46	550,46
14	45	Silte arenoso	1.293,99	1.289,17	2.583,16	1.289,17	1.291,58	644,58	1.291,58	644,58
15	45	Silte arenoso	1.293,99	1.477,41	2.771,40	1.477,41	1.385,70	738,71	1.385,70	738,71
16	45	Silte arenoso	1.293,99	1.665,65	2.959,64	1.665,65	1.479,82	832,83	1.479,82	832,83
17	45	Silte arenoso	1.293,99	1.853,89	3.147,88	1.853,89	1.573,94	926,95	1.573,94	926,95
18	45	Silte arenoso	1.293,99	2.042,13	3.336,12	2.042,13	1.668,06	1.021,07	1.668,06	1.021,07
19	45	Silte arenoso	1.293,99	2.230,38	3.524,36	2.230,38	1.762,18	1.115,19	1.762,18	1.115,19
20	45	Silte arenoso	1.293,99	2.418,62	3.712,60	2.418,62	1.856,30	1.209,31	1.856,30	1.209,31

FIGURA 122 – VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA – MÉTODO AOKI-VELLOSO

## 3.1.1. Muros de Contenção

MURO DE CONTENÇÃO		
DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO - M11 - HORIZONTAL		
Mkmáx	8,51	kNm
d'	5,00	cm
h	35,00	cm
bw	100,00	cm
fck	30	MPa
fy	500	MPa
Ky	0,01	
As	0,92	cm <sup>2</sup>
As nec	0,92	cm <sup>2</sup>
6,67	Ø	8
As adotado	3,33	cm <sup>2</sup>
DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO - M22 - VERTICAL		
Mkmáx	42,55	kNm
d'	5,00	cm
h	35,00	cm
bw	100,00	cm
fck	30	MPa
fy	500	MPa
Ky	0,04	
As	4,65	cm <sup>2</sup>
As nec	4,65	cm <sup>2</sup>
6,67	Ø	12,5
As adotado	8,33	cm <sup>2</sup>

FIGURA 123 – ARMADURA LONGITUDINAL PARA M11 E M22



#### 4. TERMO DE ENCERRAMENTO

O Volume 3C – Memória de Cálculo de Estruturas do Projeto Executivo de infraestrutura viária do Complexo Viário de Acesso ao Terminal de Ônibus e Autódromo do município de Pinhais, no Estado do Paraná, contemplando o **Trecho 1: Conexão da Avenida Prefeito Maurício Fruet (Curitiba/PR) e Avenida Iraí (Pinhais/PR). Trecho 2: Viaduto Rua 24 de Maio e Revitalização da Avenida Iraí (Autódromo-Avenida Camilo di Lellis) - Pinhais/PR. Trecho 3: Avenida Ayrton Senna da Silva e Rua Carlos Drummond de Andrade - Pinhais/PR.**, é composto por 75 páginas, numeradas sequencialmente a partir do sumário.