

**GOVERNO DE GOIÁS**  
**SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA – SEINFRA**  
**PREFEITURA MUNICIPAL DE APARECIDA DE GOIÂNIA**

**Projeto Executivo de Engenharia para Geometria, Terraplenagem,  
Pavimentação, Drenagem, Obras de Artes Especiais, Paisagismo e  
Sinalização**

**Ligação Viária Avenida Copacabana / Vale das Pombas**

**VOLUME 03E – MEMORIAL DE CÁLCULOS ESTRUTURAIS**

**Trecho:** Ligação Viária Avenida Copacabana / Vale das Pombas  
**Processo:** 2021.364.426

MAIO/2026

**GOVERNO DE GOIÁS**  
**SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA – SEINFRA**  
**PREFEITURA MUNICIPAL DE APARECIDA DE GOIÂNIA**

**Projeto Executivo de Engenharia para Geometria, Terraplenagem,  
Pavimentação, Drenagem, Obras de Artes Especiais, Paisagismo e  
Sinalização**

**Ligação Viária Avenida Copacabana / Vale das Pombas**

**VOLUME 03E – MEMORIAL DE CÁLCULOS ESTRUTURAIS**

**COORDENAÇÃO:**  
**ELABORAÇÃO:**

Secretaria de Infraestrutura  
Basitec Projetos e Construções Ltda

# Índice

<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
1.1	MAPA DE LOCALIZAÇÃO .....	3
<b>2</b>	<b>SONDAGEM SPT .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>MEMÓRIA DESCRITIVA .....</b>	<b>15</b>
3.1	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E NORMAS TÉCNICAS .....	17
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS .....	17
3.3	CONSIDERAÇÕES PARA VIGAS PRÉ-MOLDADAS TIPO “T”:	18
<b>4</b>	<b>MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL.....</b>	<b>19</b>
4.1	VERIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DOS MOMENTOS FLETORES E CORTANTES .....	19
4.1.1	<i>Cargas consideradas por / metro e metro<sup>2</sup>.....</i>	<i>19</i>
4.1.2	<i>Carga distribuída ao longo da longarina, e Carga secundária submetida ao coeficiente de impacto</i>	<i>19</i>
4.1.3	<i>Carga do Trem tipo móvel rodoviária (450 kN):.....</i>	<i>19</i>
4.1.4	<i>Considerações para faixa de caminhamento do trem-tipo, sobre o conjunto de longarinas:.....</i>	<i>19</i>
4.2	SOLICITAÇÕES CRÍTICAS NA LONGARINA .....	20
4.2.1	<i>Solicitações nos pontos críticos, para o vão da longarina de 3000 cm para DEC E DMF, respectivamente: (trem-tipo na entrada da ponte e meio do vão) .....</i>	<i>20</i>
4.3	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS FINAIS DAS ENVOLTÓRIAS.....	20
4.4	VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL DAS LONGARINAS.....	21
4.4.1	<i>Determinação das áreas de aço.....</i>	<i>21</i>
4.4.2	<i>Resultados da verificação do programa .....</i>	<i>23</i>
4.4.3	<i>Alças de Içamento da Longarina .....</i>	<i>24</i>
4.5	VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO .....	26
4.5.1	<i>Apresentação gráfica do estado limite último.....</i>	<i>26</i>
4.5.2	<i>Avaliação dos resultados e tabela de esforços de protensão: .....</i>	<i>29</i>
4.6	VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS .....	29
4.6.1	<i>Apresentação gráfica das Flechas.....</i>	<i>29</i>
4.6.2	<i>Conclusão .....</i>	<i>30</i>
4.7	CÁLCULO DAS CARGAS TRANSFERIDAS PARA OS APOIOS DAS LONGARINAS: .....	30
4.7.1	<i>Considerações.....</i>	<i>30</i>
4.7.2	<i>Esquemas das Formas do Berço.....</i>	<i>30</i>
4.7.3	<i>Cálculo da Estrutura do Berço.....</i>	<i>31</i>
4.8	APARELHOS DE APOIO PARA AS LONGARINAS .....	33
4.8.1	<i>Dimensões Finais.....</i>	<i>33</i>
4.8.2	<i>Reação da laje de transição.....</i>	<i>34</i>
4.9	CONCLUSÕES .....	35
<b>5</b>	<b>TERMO DE ENCERRAMENTO.....</b>	<b>36</b>

## 1 APRESENTAÇÃO

O presente relatório denominado de Volume 03E – Memorial de Cálculos Estruturais é parte integrante do Projeto Executivo de Engenharia para a Ligação Viária correspondente a interligação da Avenida Copacabana, no Loteamento Real Grandeza, com a Avenida Vale das Pombas (estrada velha para Bela Vista), no setor Vale das Pombas.

O trabalho é composto pelos seguintes volumes:

- Volume 01 – Relatório de Projeto;
- Volume 02 – Projeto de Execução;
- Volume 3A – Notas de Serviço e Cálculos de Volumes de Terraplenagem;
- Volume 3B – Estudos Geotécnicos;
- Volume 3E – Memorial de Cálculos Estruturais;
- Volume 04 – Orçamento e Planejamento.

### 1.1 MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Figura 1: Mapa de localização regional





Figura 2: Mapa de Localização local

## 2 SONDAGEM SPT

---

A seguir são apresentadas as sondagens realizadas para o projeto estrutural da ponte de concreto.



## **RELATÓRIO DE SONDAGEM – SM**

---

### **MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA.**

CLIENTE: BASITEC PROJETOS E CONSTRUÇÕES LTDA  
OBRA: PONTE SOBRE RIO SANTO ANTONIO  
LOCAL: RUA SANTO ANTÔNIO - VALE DAS POMBAS - APARECIDA DE GOIÂNIA - GO

MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA  
Rua Jacumã Qd. 121 Lt. 13 Jardim Atlântico • Goiânia - GO  
Fone: (62) 3251-2202 • e-mail: [rodantunes@hotmail.com](mailto:rodantunes@hotmail.com)

Goiânia, 01 de setembro de 2023

CLIENTE: BASITEC PROJETOS E CONSTRUÇÕES LTDA  
OBRA: PONTE SOBRE RIO SANTO ANTONIO  
LOCAL: RUA SANTO ANTÔNIO - VALE DAS POMBAS - APARECIDA DE GOIÂNIA - GO

Prezado (s) Senhor (es):

Apresentamos em anexo, o relatório da sondagem mista executada para a obra acima citada. Foram executados 02 (DOIS) furo de sondagem mista.

## **1. Sondagens Mistas**

### **1.1 - Definição**

Sondagem rotativa é um método de investigação que consiste no uso de um conjunto motomecanizado projetado para a obtenção de amostras de materiais rochosos, contínuas e com formato cilíndrico, através de ação perfurante dada basicamente por forças de penetração e rotação que, conjugadas, atuam com poder cortante. A amostra de rocha obtida é chamada de testemunho.

### **1.2 – Identificação**

As sondagens mistas foram identificadas pelas letras SM, seguidas de número indicativo. Em cada obra, o número indicativo deve ser sempre crescente, independentemente do local, fase ou objetivo da sondagem.

### **1.3 – Equipamentos e ferramentas**

**A)** A firma empreiteira forneceu equipamentos, acessórios e ferramentas para a execução de sondagens que atenderam a programação e às especificações estabelecidas no contrato de serviços.

**B)** Os equipamentos e ferramentas constaram dos seguintes elementos principais: tripé, sonda rotativa, bomba d'água, hastes, barriletes, coroas, luvas alargadoras (calibradores), tubos de revestimento e demais acessórios e ferramentas necessárias à execução de sondagens mista.

**C)** Os equipamentos utilizados seguiram as normas de padronização de dimensões e de nomenclatura de equipamentos de sondagens, para permitir a permutabilidade de peças provenientes de diversos fabricantes. Existem dois sistemas que normatizam mundialmente as dimensões e as



nomenclaturas para sondagens mistas: padrão DCDMA (Diamond Core Drill Manufacturers Association) ou americano, que adota a combinação de duas ou mais letras para designar diâmetros e modelos dos equipamentos; e o padrão europeu, também conhecido por sistema métrico ou Craellius, que expressa o diâmetro do furo em milímetros e uma ou mais letras, para designar o modelo do equipamento.

**D)** O diâmetro utilizado na execução da sondagem mista foi **NW**.

**E)** O barrilete utilizado foi o Barrilete duplo-livre, constituído por dois tubos. Entre as partes da cabeça do barrilete, onde os tubos são rosqueados, existe um sistema de rolamentos. Assim, enquanto o tubo externo gira com a coluna de perfuração, o tubo interno permanece estacionário ou gira lentamente. O testemunho fica protegido do atrito com a parede do barrilete e o contato do testemunho com o fluido de circulação se dá entre a extremidade do tubo interno e a face da coroa. Existem variações desse barrilete, com saída do fluido de circulação na face interna da coroa (saída lateral) ou na parte inferior (saída frontal), para obter recuperação de boa qualidade de maciço alterado e muito fraturado. É utilizado também quando se pretende recuperar materiais de preenchimento de fraturas.

#### **1.4 – Execução da sondagem**

**A)** A sondagem em terra foi inicializada após uma limpeza de uma área que permitiu o desenvolvimento de todas as operações sem obstáculos e a abertura de um sulco ao redor, que desviou as águas de enxurradas, nos dias de chuva.

**B)** Foram empregados todos os recursos das sondagens rotativas, de maneira a assegurar a perfeita recuperação de todos os materiais atravessados. Os principais recursos foram à escolha de equipamentos e acessórios apropriados às condições geológicas, emprego de lamas bentoníticas como fluido de perfuração, realização de manobras curtas e adequação da velocidade de perfuração às características geológicas da rocha perfurada. A alta recuperação de testemunho, especificamente de trechos de maciços rochosos extremamente alterados e/ou muito fraturados, pode ser conseguida com emprego de sonda rotativa de avanço manual, sob controle de um bom sondador.

C) Quando a sondagem atingiu o nível freático, foi registrada sua profundidade. Os níveis d'água foram medidos todos os dias, antes de início dos trabalhos e na manhã seguinte a conclusão da sondagem.

Atenciosamente,

MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA.







Rodrigo Antunes da Rocha  
Engenheiro Civil  
MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA


Eng. Civil Rodrigo Antunes da Rocha.  
CREA: 11.373/D-GO.



## RELATÓRIO DE SONDAGEM MISTA (SM)

<div>MASTERSOLO</div> <div>ENGENHARIA</div>				Tipologia do Estudo:		Nº FURO:		INÍCIO: 15/08/2023				FOLHA					
				PONTE		01		TÉRMINO: 23/08/2023				1/1					
CONTRATANTE: BASITEC PROJETOS E CONSTRUÇÕES LTDA						LOTE:		COORDENADAS UTM									
OBRA: PONTE SOBRE RIO SANTO ANTONIO						0		E: 695287				FUSO:					
LOCAL: RUA SANTO ANTÔNIO - VALE DAS POMBAS - APARECIDA DE GOIÂNIA - GO				Km:		ÚNICO		N: 8142585				22K					
Φ DO REVESTIMENTO: NW - BARRILETE: Φ EXT.: 81,1 mm - Φ INT.: 76,4 mm						COTA(m):		POSIÇÃO:		DESLOCAMENTO:		Datum: SIRGAS2000					
						EIXO		0,00									
COTA (m)	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	PROFUNDIDADE(m)	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO "N"		MANOBRAS (m)	PERCENTUAL DE RECUPERAÇÃO		ALTERAÇÃO	FRATURAMENTO	COERÊNCIA	Esc 1:1	AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK	R m v e s t	MÉTODO DE PERFORAÇÃO	NÍVEL D'ÁGUA (m)	
				PENETRAÇÃO (GOLPES 30 cm)													
				1º e 2º 2º e 3º			REC. R.Q.D.										Nº DE GOLPES
10 20 30 40 50																	
0,00		1,00	Argila arenosa marrom (Aterro)									1				TC	
1,45		Argila arenosa, dura, marrom com pedregulhos	39	42								2				SP + TH	
1,62		Argila arenosa, dura, marrom com pedregulhos e formação de rocha	30/2										3				CA
3,12		Rocha xisto muito pobre, pouco alterada, muito fraturada e muito coerente			1,50	30%	0%	A1	F3	C1		4					CA
4,62					1,50	33%	0%	A1	F3	C1		5				CA	
-5,00		6,12	Rocha xisto excelente, praticamente sã, medianamente fraturada e muito coerente			1,50	62%	54%	A0	F2	C1		6				CA
		6,62	Rocha xisto excelente, praticamente sã, pouco fraturada e muito coerente			0,50	100%	100%	A0	F1	C1		7				CA
-10,00													8				
													9				
													10				
												11					
												12					
												13					
												14					
												15					
												16					
												17					
-15,00												18					
												19					
												20					
Limite da sondagem(m): 6,62				Motivo da paralização : Paralisado a pedido do cliente.													
LAVAGEM POR TEMPO (30min)				Avanço (m)				LEGENDA				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA					
Profundidade (cm)		Tempo de Lavagem		Trado:		1,00		SPT 30 cm INICIAIS		DATA		HORA		PROF.(m)			
-		0 a 10 min		por lavagem:		0,00		SPT 30 cm FINAIS		INICIAL:		15/08/23		3,48			
-		10 a 20 min		Prof. Revestimento:		2,00		SP - Percussão, TC - Trado concha, TH - Trado helicoidal e CA - Circulação de água		Após 12 horas:		23/08/23		3,25			
-		20 a 30 min															
Sondagem executada em conformidade com as Normas ABNT NBR 6454/2020 e DNER-PRO 102/97.				R.T.: Rodrigo Rocha - CREA 11.373/D-GO				Fiscal:									
				<div>Rodrigo Rocha</div> <div>Engenheiro Civil</div> <div>MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA</div>													

	<b>RELATÓRIO FOTOGRÁFICO</b>	FOLHA: 1
		DATA: 15/08/23
		FURO
		01
CONTRATANTE: BASITEC PROJETOS E CONSTRUÇÕES LTDA		Estaca/Km: -
OBRA: PONTE SOBRE RIO SANTO ANTONIO		
LOCAL: RUA SANTO ANTÔNIO - VALE DAS POMBAS - APARECIDA DE GOIÂNIA - GO		
		
Foto 01 - Vista do local da sondagem		Foto 02 - Vista da execução da sondagem.
		
Foto 03 - Vista do local da sondagem		Foto 04 - Vista da execução da sondagem.

RELATÓRIO DE SONDAGEM MISTA (SM)															
				Tipologia do Estudo:	Nº FURO:	INÍCIO:	FOLHA								
CONTRATANTE: BASITEC PROJETOS E CONSTRUÇÕES LTDA				PONTE	02	15/08/2023	1/1								
OBRA: PONTE SOBRE RIO SANTO ANTONIO				Km:	LOTE:	COORDENADAS UTM									
LOCAL: RUA SANTO ANTÔNIO - VALE DAS POMBAS - APARECIDA DE GOIÂNIA - GO					0	E:	FUSO:								
Φ DO REVESTIMENTO: NW - BARRILETE: Φ EXT.: 81,1 mm - Φ INT.: 76,4 mm				COTA(m):	ÚNICO	N:	22K								
					POSICÃO:	DESLOCAMENTO:		Datum: SIRGAS2000							
COTA (m)	PERFIL ESTRATIGRAFICO	PROFUNDIDADE(m)	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO "N"	MANOBRAS (m)	PERCENTUAL DE RECUPERAÇÃO		ALTERAÇÃO	FRATURAMENTO	COERÊNCIA	Esc 1:1	AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK	REVESTIMENTO	MÉTODO DE PERFURAÇÃO	NÍVEL DA ÁGUA (m)
				PENETRAÇÃO (GOLPES 30 cm)		REC.	R.Q.D.								
1º e 2º	2º e 3º											10 20 30 40 50			
0,00		1,00	Argila arenosa marrom (Aterro)									1		TC	
		2,00	Argila arenosa, rija, marrom	12	12							2		SP + TH	
		2,45	Silte arenoso, pouco compacto, marrom com veios variegados	9	6							3		CA	
		2,93	Silte arenoso, muito compacto, marrom com veios variegados e alteração de rocha	30/3								4		CA	
		4,43	Rocha xisto muito pobre, pouco alterada, muito fraturada e muito coerente		1,50	29%	18%	A1	F3	C1		5		CA	
		5,93			1,50	33%	22%	A1	F3	C1		6		CA	
		7,43	Rocha xisto regular, praticamente sã, medianamente fraturada e muito coerente		1,50	60%	49%	A0	F2	C1		7		CA	
		7,93	Rocha xisto boa, praticamente sã, pouco fraturada e muito coerente		0,50	100%	78%	A0	F1	C1		8		CA	
												9			
												10			
												11			
												12			
												13			
												14			
												15			
												16			
												17			
												18			
												19			
												20			


Limite da sondagem(m): **7,93**

LAVAGEM POR TEMPO (30min)		Avanço (m)	
Profundidade (cm)	Tempo de Lavagem	Trado:	1,00
-	0 a 10 min	por lavagem:	0,00
-	10 a 20 min	Prof. Revestimento:	2,00
-	20 a 30 min		

Motivo da paralização: Paralisado a pedido do cliente.

LEGENDA		PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA		
—	SPT 30 cm INICIAIS	DATA	HORA	PROF.(m)
—	SPT 30 cm FINAIS	INICIAL:	15/08/23	3,60
		Após 12 horas:	25/08/23	3,20


Sondagem executada em conformidade com as Normas ABNT NBR 6484/2020 e DNPR-PRO 102/97.

  
**R.T.: Rodrigo Rocha - CREA 11.373/D-GO**

Fiscal:

OBSERVAÇÃO:



 <p style="text-align: center;"><b>RELATÓRIO FOTOGRÁFICO</b></p>	FOLHA: 1
	DATA: 15/08/23
	FURO
	02
CONTRATANTE: BASITEC PROJETOS E CONSTRUÇÕES LTDA	Estaca/Km: -
OBRA: PONTE SOBRE RIO SANTO ANTONIO	
LOCAL: RUA SANTO ANTÔNIO - VALE DAS POMBAS - APARECIDA DE GOIÂNIA - GO	
	
Foto 01 - Vista do local da sondagem	Foto 02 - Vista da execução da sondagem.
	
Foto 03 - Vista do local da sondagem	Foto 04 - Vista da execução da sondagem.

# MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA.

## LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM



*Rodrigo Antunes da Rocha*  
Rodrigo Antunes da Rocha  
Engenheiro Civil  
MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA

ENG. CIVIL RODRIGO ANTUNES DA ROCHA  
CREA:11.373/D-GO

### 3 MEMÓRIA DESCRITIVA

A travessia do Ribeirão Santo Antônio está definida com 24,50 metros de largura, sendo composta por duas passagens de vias e uma ciclovia entre as passagens, e 30,00 metros de comprimento, sendo a infraestrutura constituída de berços apoiados sobre estacas tipo Raiz, sendo cada berço, apoiado sobre 24 estacas raiz com diâmetro de 41 cm, que deverão ser executadas a uma profundidade média de 8,00 metros, cada estaca, devido as condições do solo, na região de implantação da ponte.

Os berços foram alterados para moldados no local, se apoiarão sobre as estacas tipo Raiz, usadas também para a fixação das alas de encabeçamento do berço.

A superestrutura está constituída de 24 vigas pré-fabricadas em concreto armado e protendido, com seção transversal (40/18/100x140) em formato "T".

O tabuleiro armado com armação convencional em Aço CA-50, com espessura de 25 centímetros, que será o elemento de solidarização das peças pré-fabricadas, executado no local.

A ponte está dimensionada para CLASSE-TB-450.

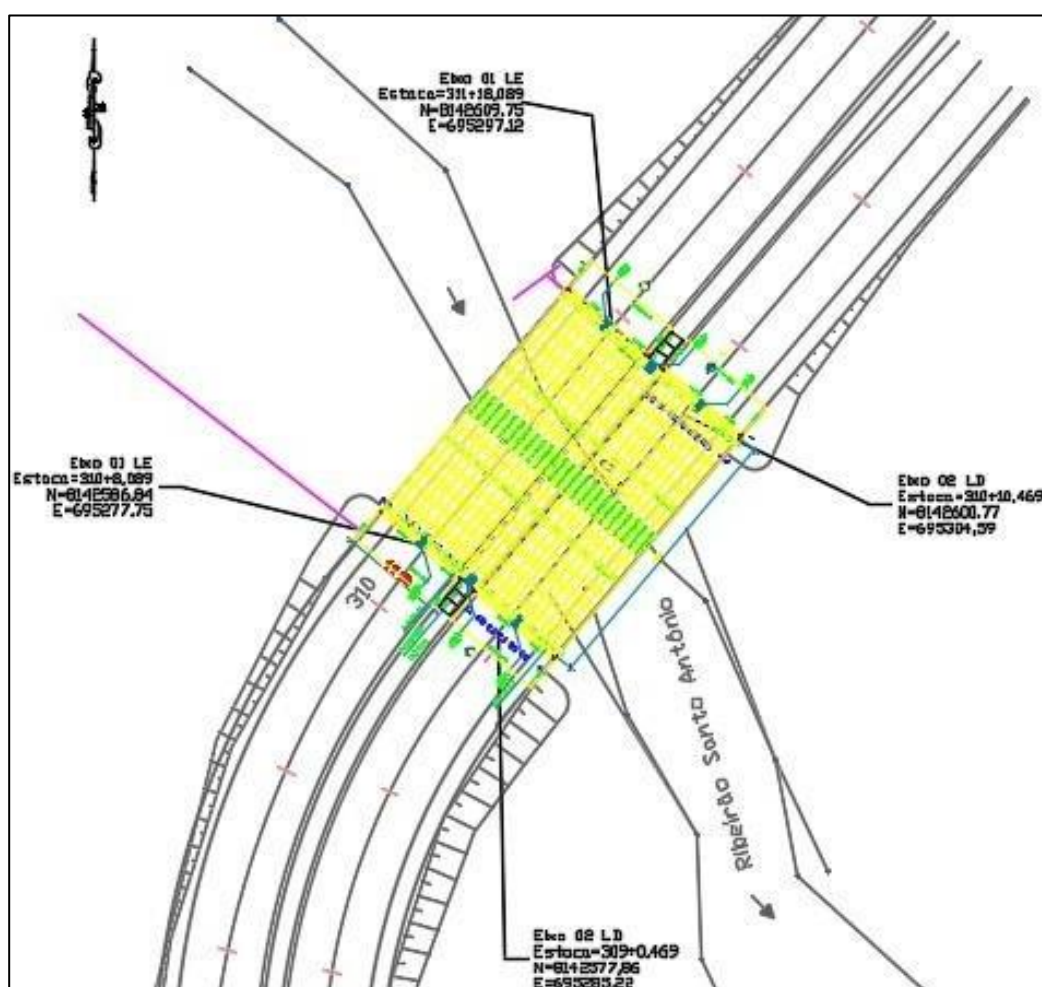


Figura 3: Vista Superior da OAE projetada (Ponte Direita + Ciclovia + Ponte Esquerda).



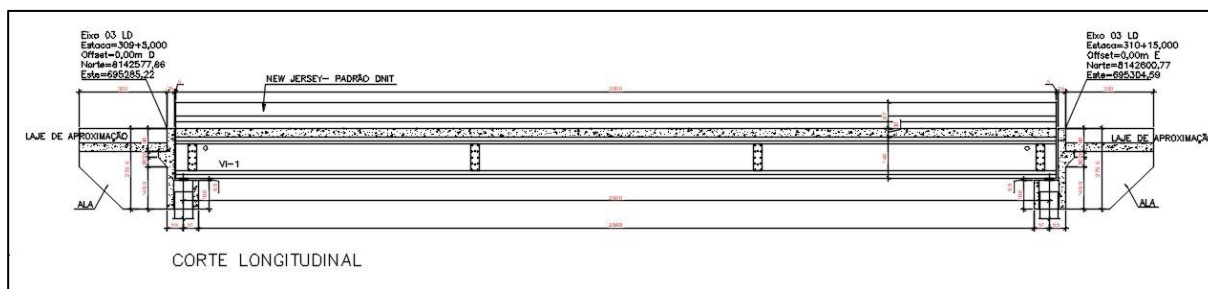


Figura 4: Vista Lateral da OAE (Seção Longitudinal).

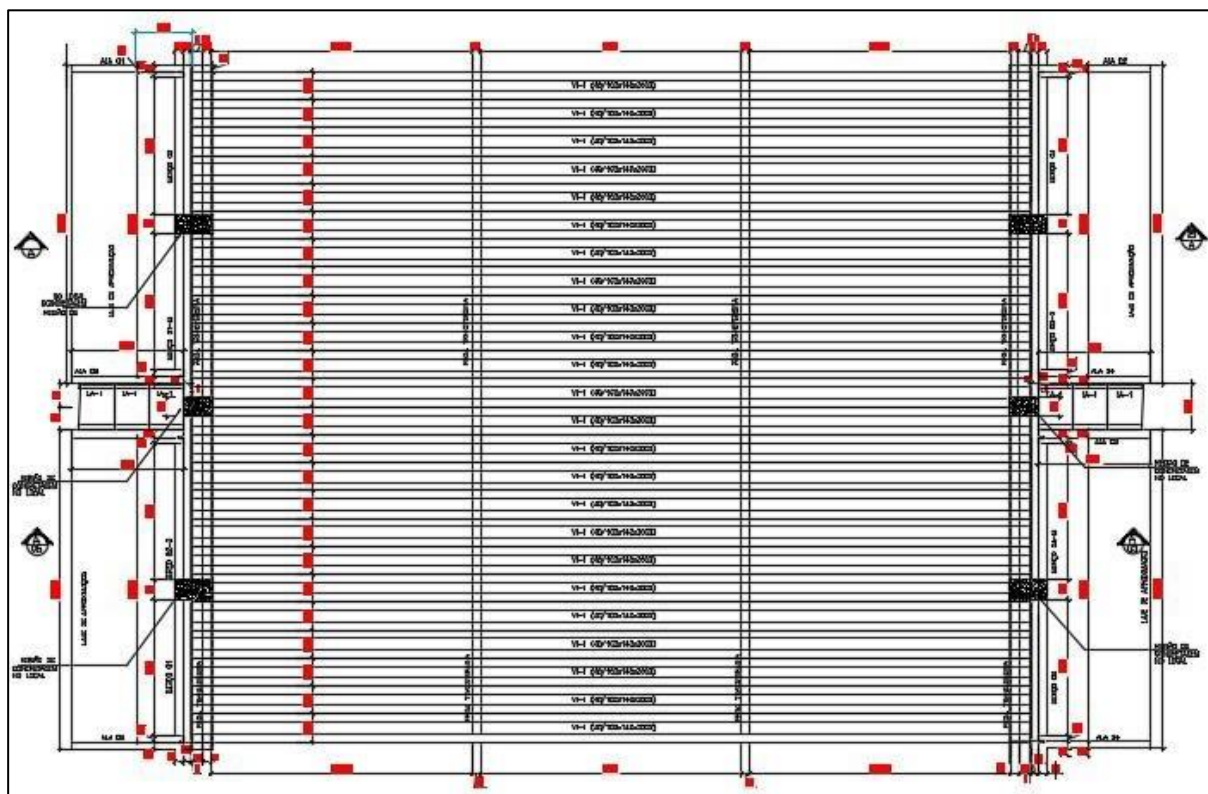


Figura 5: Vista Superior da OAE (Fôrma do Tabuleiro).

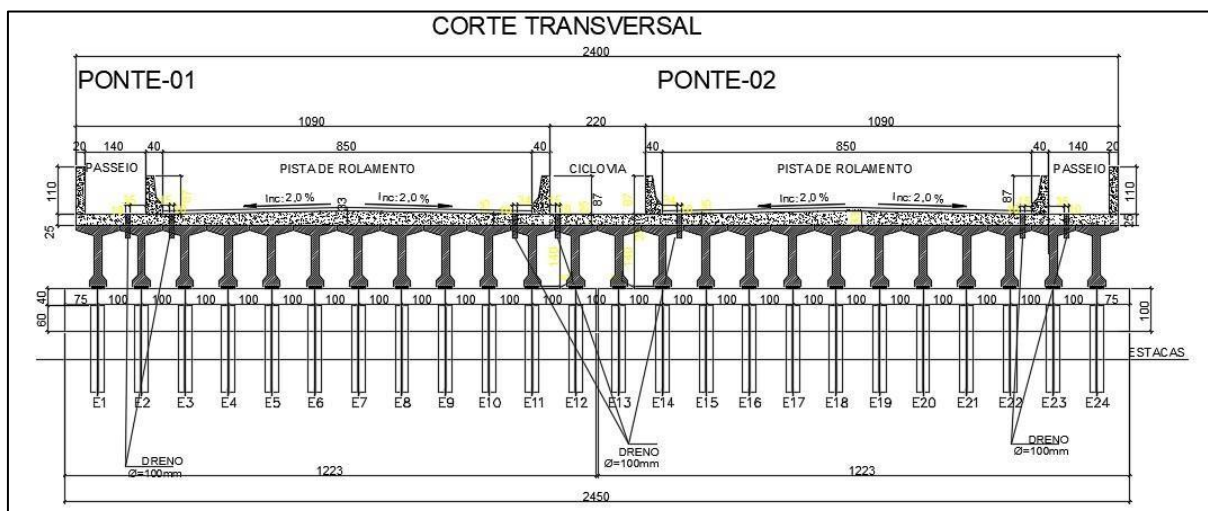


Figura 6: Corte Transversal da OAE.

### 3.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E NORMAS TÉCNICAS

- **NBR-8681** - Ações e segurança nas Estruturas- procedimento.
- **NBR-6118** - Projeto de Estruturas de Concreto-Procedimento.
- **NBR-7188** - Carga Móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres.
- **NBR-6120** - Cargas para cálculo de estruturas de edificações-Procedimento.
- **NBR-6122** - Projeto e execução de Fundações.
- **NBR-6123** - Forças devido ao vento nas edificações.
- **NBR-9062** – Projeto e Execução de Estruturas Pré-moldado.
- **698/100** – Manual de Projetos de Obras-de-Arte Especiais – MT -1996.

### 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

- **Concreto C50 (para peças protendidas)**

$F_{ck} = 50 \text{ Mpa}$

$E_{ci} = 35.000 \text{ Mpa}$  (Tabela 8.1 – NBR-6118)

$E_{cs} = 32.500 \text{ Mpa}$   $\rho_c = 25 \text{ kN/m}^3$

- **Concreto C30 (para peças moldadas no local e capeamento)**

$F_{ck} = 30 \text{ Mpa}$

$E_{ci} = 27.000 \text{ Mpa}$  (Tabela 8.1 – NBR-6118)

$E_{cs} = 19.5.000 \text{ Mpa}$

$\rho_c = 25 \text{ kN/m}^3$

- **Aço CA-50**

$F_{yk} = 500 \text{ Mpa}$

$E_s = 210.000 \text{ MPa}$

$\rho_c = 78,5 \text{ kN/m}^3$



- **Aço CP-190-RB**

$F_yk = 1900 \text{ Mpa}$

$E_s = 196.000 \text{ MPa}$  (Especificação do Fabricante: Acelor)  $\rho_c = 78,5 \text{ kN/m}^3$

- **Classe de Agressividade:**

CAA II - Moderada / Urbana (Tabela 6.1 – NBR-12655/6118) Cobrimento com rígido controle de qualidade

Cobrimento nominal = 30 mm

Conforme itens: 9.2.1.1.2–NBR-9062 e 7.4.7.4-NBR-6118

Fator Água/cimento  $\leq 0,55$

Aditivos Plastificantes: Visconcrete / Precast (Sika)

Controle de Cura do Concreto Pré-moldado: Cura úmida.

### 3.3 CONSIDERAÇÕES PARA VIGAS PRÉ-MOLDADAS TIPO “T”:

- Concreto:  $F_{ck} = 50 \text{ MPa}$ .
- Aço: CA-50 / CP-190-RB
- Dados da peça (VPU) : Seção transversal (40/18/100x140) (cm)
- Comprimentos das peças: 3000 cm (trechos principais)
- Comprimento de fabricação: variando neste intervalo em 1,0 cm
- Ponte Classe TB-45
- Coeficiente de impacto:  $\phi \text{ (CIV)} = 1,35$  (segundo a norma NBR-7188:2013)
- Coeficiente do número de faixas:  $CNF = 1,0$  (duas faixas)
- Coeficiente de impacto adicional:  $CIA = 1,25$  (estrutura em concreto)
- Inclinação da placa de entrada =  $10^\circ$
- Escondidade do tabuleiro:  $0^\circ$
- Espessura do capeamento: 25 cm (capeamento)
- Revestimento em Camada asfáltica: 7 cm (em função da variação de compactação da camada asfáltica).
- Consideradas 4 faixas de contraventamento nas vigas longarinas sendo, 1 na proximidade de cada apoio e duas espaçadas equidistantes no centro do vão, para garantir a homogeneidade do posicionamento das peças apoiadas sobre o berço, e alinhamento das longarinas, antes da execução do capeamento da laje.
- $\phi t = (CIV) + (CNF) + (CIA): 1,6875$
- O coeficiente majorador de cargas ( $\chi_f$ ), terá duas considerações:
  - $\chi_{f1} = 1,35$  para cargas permanentes
  - $\chi_{f2} = 1,50$  para cargas acidentais (trem-tipo) e secundárias.

## 4 MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL

### 4.1 VERIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DOS MOMENTOS FLETORES E CORTANTES

#### 4.1.1 Cargas consideradas por / metro e metro<sup>2</sup>

- Peso próprio da longarina (P1):  $g = A \times \gamma_c = 0,4392 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 10,98 \text{ kN/m}$
- Capeamento em concreto (Ca):  $g = A \times \gamma_c = 0,25 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 6,25 \text{ kN/m}^2$
- Revestimento asfáltico (Ra):  $g = A \times \gamma_a = 0,070 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 1,68 \text{ kN/m}^2$
- Sobrecarga Secundária (Ss):  $g = 5,00 \text{ kN/m}^2$

#### 4.1.2 Carga distribuída ao longo da longarina, e Carga secundária submetida ao coeficiente de impacto

- Cargas permanentes (q):  
 $q: ((Ca + Ra) \times 1,0 \text{ m}) \times \phi \times \gamma_f1 = 18,07 / \text{KN/m}$
- Cargas permanentes (q) (longarina):  
 $q:L (P1) \times \phi \times \gamma_f1 = 25,01 \text{ KN/m}$
- Cargas secundárias (qp):  
 $qp: Ss \times (CIV \times CNF) \times \gamma_f2 = 5,00 \text{ KN/m}^2 \times (1,35 \times 1,0) \times 1,5 \times 1,00 = 10,12 \text{ KN/m}^2$
- Cargas consideradas no trecho fora do posicionamento do trem-tipo (q\*):  
 $q^*: q + qp = 18,07 + 25,01 + 10,12 = 53,20 \text{ KN/m}^2$
- Cargas consideradas no trecho junto ao posicionamento do trem-tipo (q<sup>1\*</sup>):  
 $q^{1*}: q + qp = 18,07 + 25,01 = 43,08 \text{ KN/m}^2$

#### 4.1.3 Carga do Trem tipo móvel rodoviária (450 kN):

- Carga concentrada na roda (P):  $450 \text{ kN} / 6 = 75 \text{ kN}$

$$Q_{tp}: P \times (CIV \times CNF \times CIA) \times \gamma_f2 = 75 \text{ kN} \times (1,35 \times 1,0 \times 1,25) \times 1,50 = 189,84 \text{ KN}$$

#### 4.1.4 Considerações para faixa de caminhamento do trem-tipo, sobre o conjunto de longarinas:

É considerada a colaboração de um conjunto de 09 longarinas para cada 02 faixas de rolamento do trem-tipo, já que as longarinas são justapostas e conectadas por transversinas, permitindo o uso do conjunto de nove vigas por duas faixas de rolamento.

- Carga concentrada na roda (P):  $450 \text{ kN} / 6 = 75 \text{ kN}$

$$Q_{tp}: P \times (CIV \times CNF \times CIA) \times \gamma_f2 = 75 \text{ kN} \times (1,35 \times 1,0 \times 1,25) \times 1,50 = 189,84 \text{ KN}$$

Modelo estrutural final dos carregamentos:

Carga de 02 (trem-tipo) / 9 = 84,37 KN por roda.

#### NOTA (01): Introdução aos dados computacionais par análise do Projeto:

Os ensaios de verificação do caminho do trem-tipo sobre a Longarina, foram feitos com a divisão do vão em 10 trechos, intervalando os trechos a cada 3,00 metros. Verificou-se que para todos os ensaios, os comportamentos finais apresentaram os esforços máximos, nas posições de carregamentos que estão representados a seguir.

Como a Longarina será pré-tensionada, ou seja, o feixe de cordoalhas é montado e tensionado antes da concretagem, é possível observar que, caso haja algum comportamento desforme ao projeto especificado, a peça irá apresentar problemas no próprio canteiro de fabricação, antes de ser encaminhada para a montagem em seu local definitivo. Em função da aplicação de tensão nas cordoalhas ser feita antes da concretagem da peça, os cabos são posicionados em linha reta, sem curvaturas, e não apresentam um traçado de cabos, como acontece nas pós-tensões. Por esse fato, é que se adota o método da verificação dos esforços nas seções críticas, seja para os esforços de cisalhamento; seja para os esforços de momento fletor.

A Protensão da peça conduz a praticamente zero, a abertura de fissuras, o que também garante a maior qualidade da peça pronta.

A faixa de carregamento para o comprimento total da peça foi a faixa de 100 cm, o que segue o afastamento entre eixos das longarinas da peça é de 100 cm.

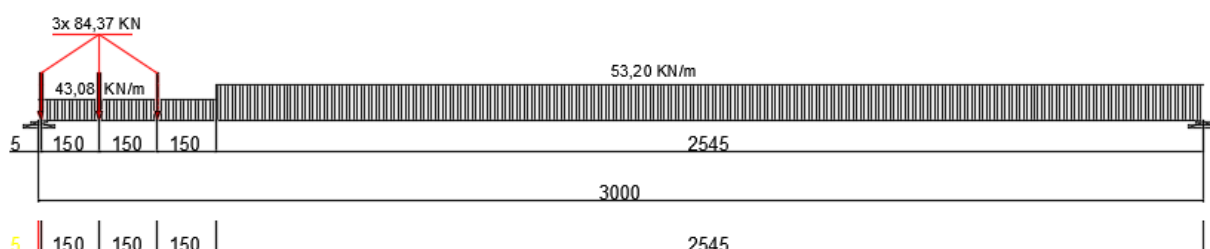
- Cargas consideradas no trecho fora do posicionamento do trem-tipo ( $q^*$ ):

$$q^* = (q + q_p) = 53,20 \text{ KN/m}^2$$

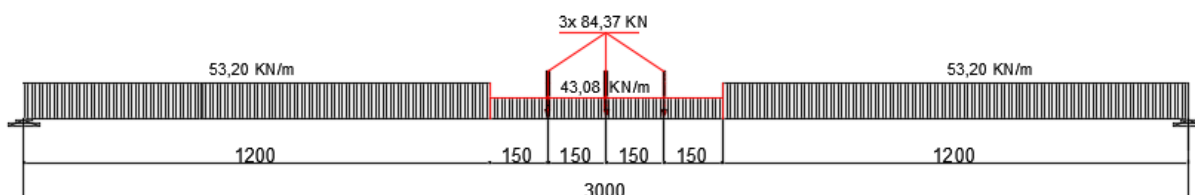
## 4.2 SOLICITAÇÕES CRÍTICAS NA LONGARINA

### 4.2.1 Solicitações nos pontos críticos, para o vão da longarina de 3000 cm para DEC E DMF, respectivamente: (trem-tipo na entrada da ponte e meio do vão)

CARREGAMENTO COM TREM-TIPO POSICIONADO NA EXTREMIDADE DA LONGARINA



CARREGAMENTO COM TREM-TIPO POSICIONADO NO PONTO CENTRAL DA LONGARINA



## 4.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS FINAIS DAS ENVOLTÓRIAS

Resultados segundo o programa de verificação Pro-Uni-(TQS), que faz diversas interações de esforços, em função do posicionamento indicado do feixe de cordoalhas.

Os seguintes dados são coletados do programa Pro-Uni, do Anexo I deste relatório:

- Envoltória máxima para momento fletor: 5885,54 KN.m
- Envoltória mínima para momento fletor: 4527,30 KN.m
- Envoltória máxima para esforço cortante: 1036,27 KN

- Envoltória mínima para esforço cortante: 741,23 KN

Os esforços obtidos nos resultados são coletados do programa Pro-Uni, do Anexo I deste relatório da peça submetida à protensão apresentam:

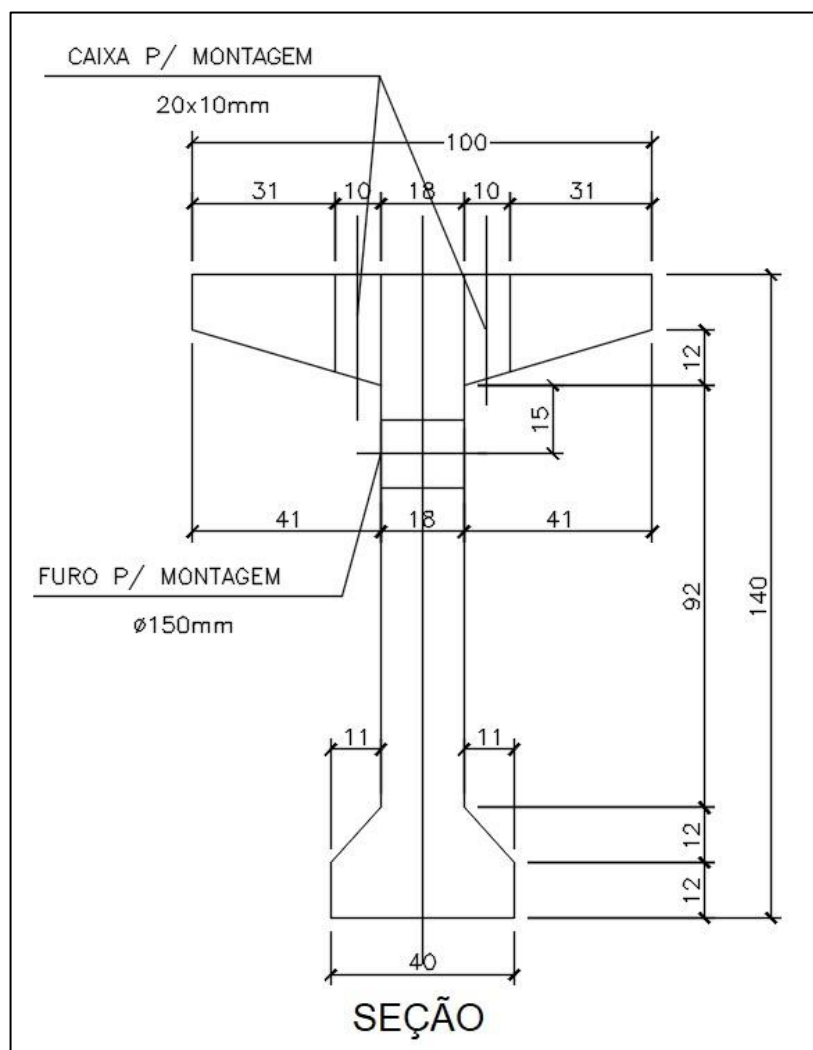
- Momento máximo solicitante:  $M_{sd} = 5950,09 \text{ KN.m}$
- Momento máximo resistente:  $M_{su} = 6639,80 \text{ KN.m}$

A pequena diferença entre os esforços obtidos pela envoltória dos momentos e o resultado do programa de protensão Pro-Uni, se dá pelo fato de existir a consideração da contribuição das fases de carregamento atuantes na peça para a protensão, o que altera e majora um pequeno valor, nos resultados finais do programa.

## 4.4 VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL DAS LONGARINAS

### 4.4.1 Determinação das áreas de aço

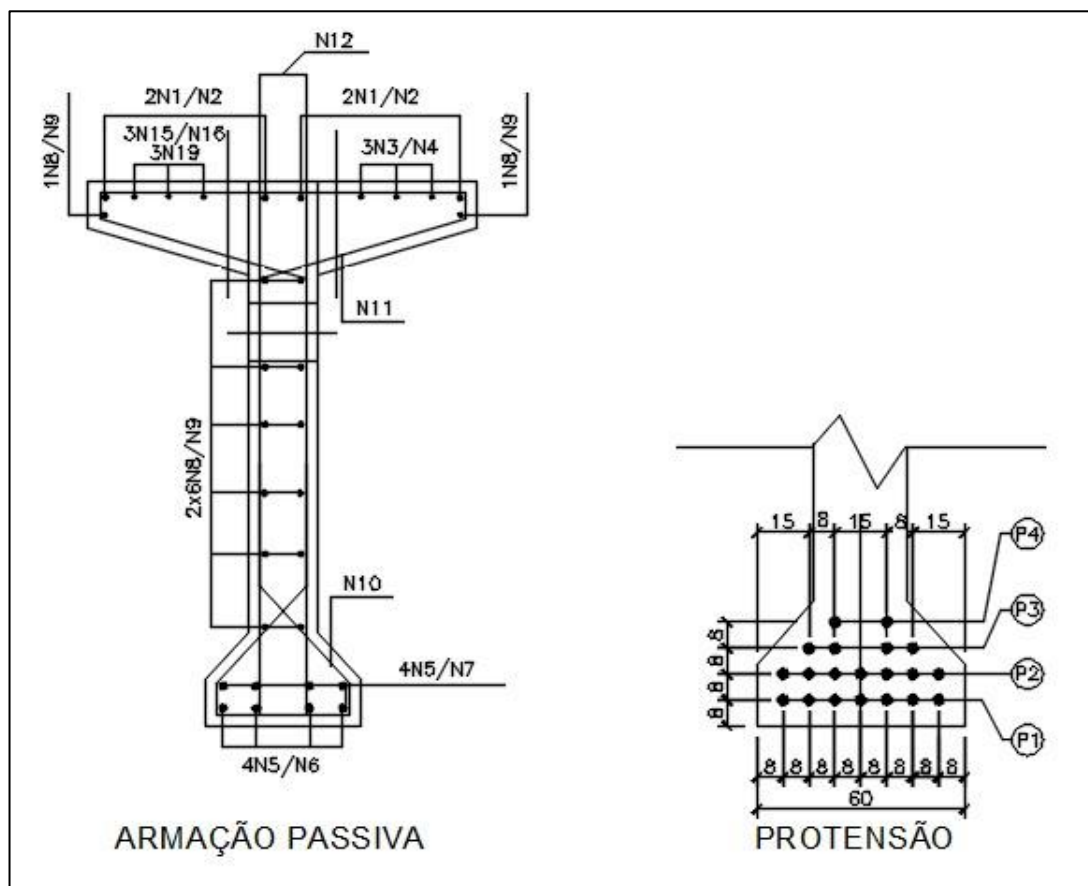
Dados utilizados:



- Seção transversal da Longarina em concreto pré-moldado protendido.

O programa Pro-Uni não oferece uma área de aço necessária em protensão, pois o mesmo é um programa de verificação. Portanto, é de responsabilidade da equipe de projetistas, propor um feixe de armação, conforme o apresentado na seção em corte, e com este feixe posicionado, o programa faz a verificação dos estados limites, conforme também está apresentado nas imagens em tela do programa, com os resultados do ELU, conforme a NBR-6118-2014.

#### Proposição de armação passiva e protendida:

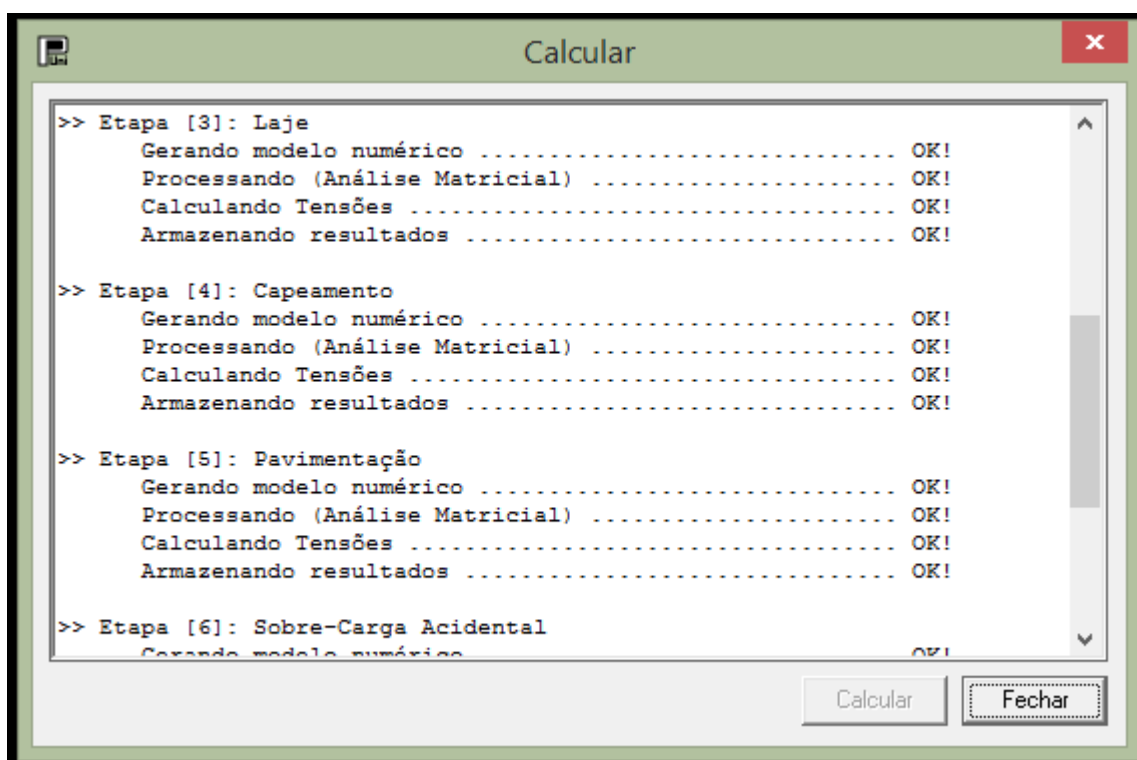
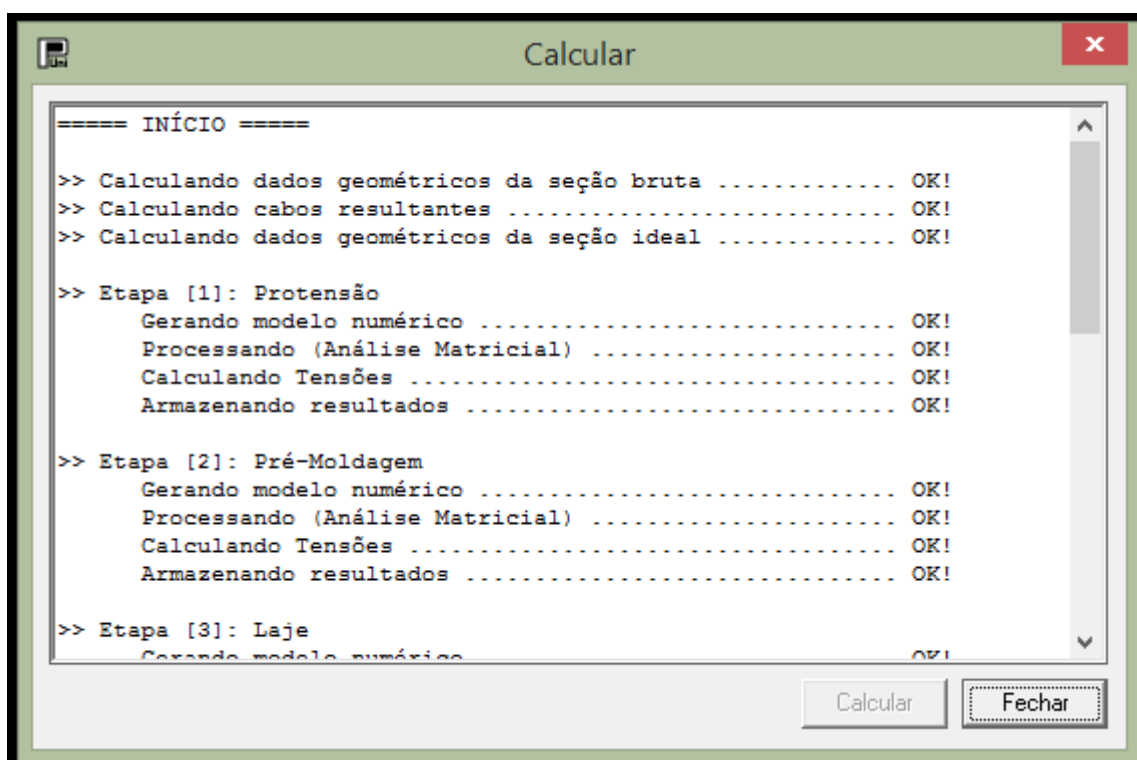


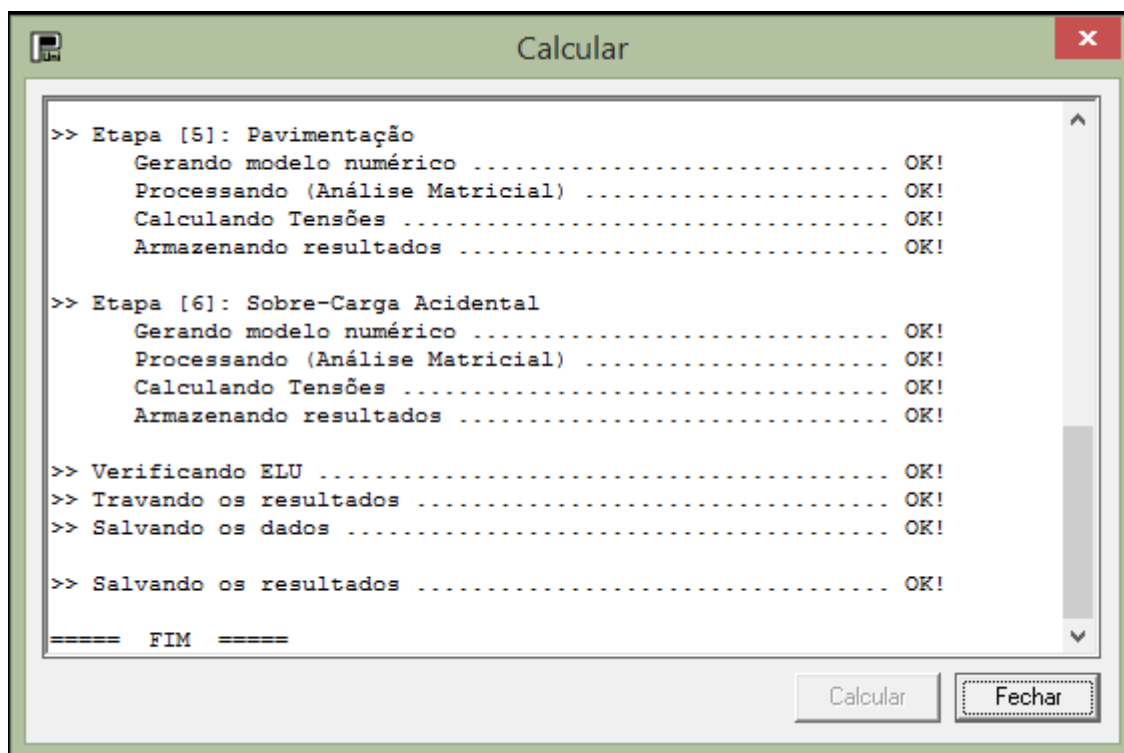
Para as Longarinas de 3000 cm:

- 07 cordoalhas de Aço CP190RB -  $\varnothing 15.2$  mm (1ª feixe) + 07 cordoalhas de Aço CP190RB -  $\varnothing 15.2$  mm (2ª feixe) + 04 cordoalhas de Aço CP190RB  $\varnothing 15.2$  mm (3ª feixe) e 02 cordoalhas de Aço CP190RB  $\varnothing 15.2$  mm, como armadura de tração, associadas a 8  $\varnothing 20.0$  mm, como armaduras passivas.
- 4 barras de Aço CA-50 –  $\varnothing 12.5$  mm, como armadura de tração na mesa superior da Longarina tipo "T", como equilíbrio de contra-flechas de protensão.
- Estribos de Aço CA-50 – 2x $\varnothing 8.0$  mm c/11 cm, para armaduras de cisalhamento, a partir da face externa da peça até 840 cm de cada face. O intervalo conta com estribos de  $\varnothing 8.0$  mm c/15 cm.
- 2 x 7  $\varnothing 8.0$  mm por face, como armação para as costelas.



#### 4.4.2 Resultados da verificação do programa





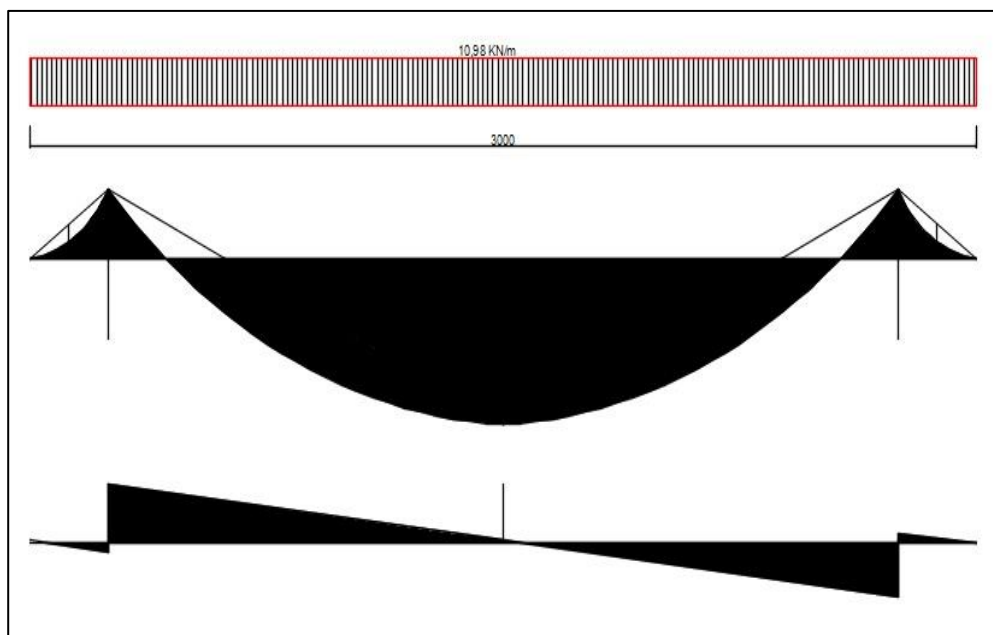
Os resultados apresentados nos quadros acima mostram as verificações que são feitas pelo programa, onde as confirmações das etapas é apresentada pelo resultado ok!. Não aparece a necessidade de nenhuma verificação complementar, o que indica que a peça foi testada em todas as fases de carregamento e protensão.

#### 4.4.3 Alças de Içamento da Longarina

##### Cargas de içamento consideradas

- Peso próprio da Longarina: 10,98 kN/m
- Comprimento total: 3000 cm
- Distância do eixo da alça a borda da peça: 250 cm.

##### Apresentação dos momentos fletores e esforços cortantes



#### Cálculo da seção de aço do içamento:

- Cortante de alça:

$$V_a: \Delta V \times \lambda_f = (27,45 + 137,25) \times 1,40 = 230,30 \text{ kN}$$

- Seção de aço:

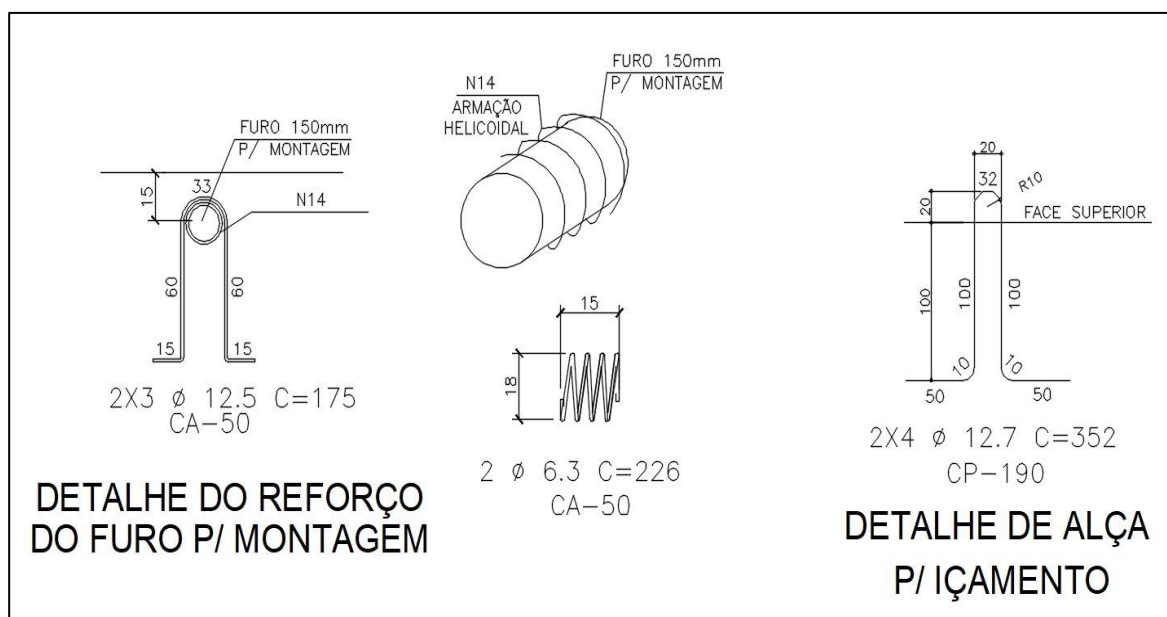
$$\tau = V_a / A_s$$

$$A_s = V_a / \tau$$

$$A_s = 230,30 \text{ kN} / (190 \text{ kN/cm}^2 / 1,40) = 0,87 \text{ cm}^2$$

- Solução adotada:
- 2 Ø12.7 mm CP190RB (1,01 cm<sup>2</sup>)
- 0,68 cm<sup>2</sup> / 2 = 0,34 cm<sup>2</sup> por alça.
- Serão utilizadas 4 alças de Ø12.7 mm CP190RB para o içamento.

#### Detalhe da Alça de içamento:



## 4.5 VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

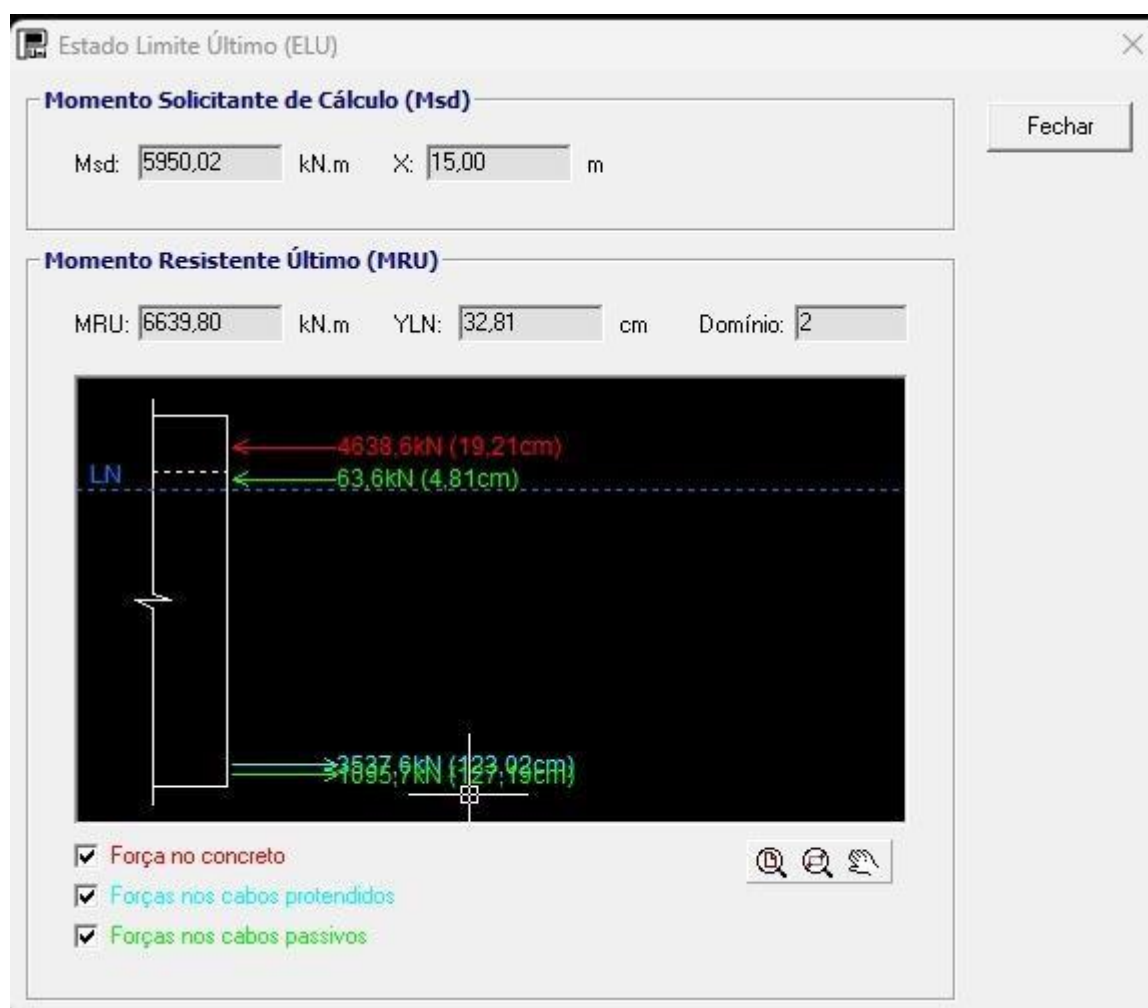
### 4.5.1 Apresentação gráfica do estado limite último

A apresentação do Anexo I informa os dados colhidos do programa de análise de protensão Pro-Uni, onde é possível verificar todas as fases de solicitação dos esforços.

Com este processo é possível controlar o comportamento da peça em seus estados limites, e com isso estabelecer a melhor condição para a peça pretendida.

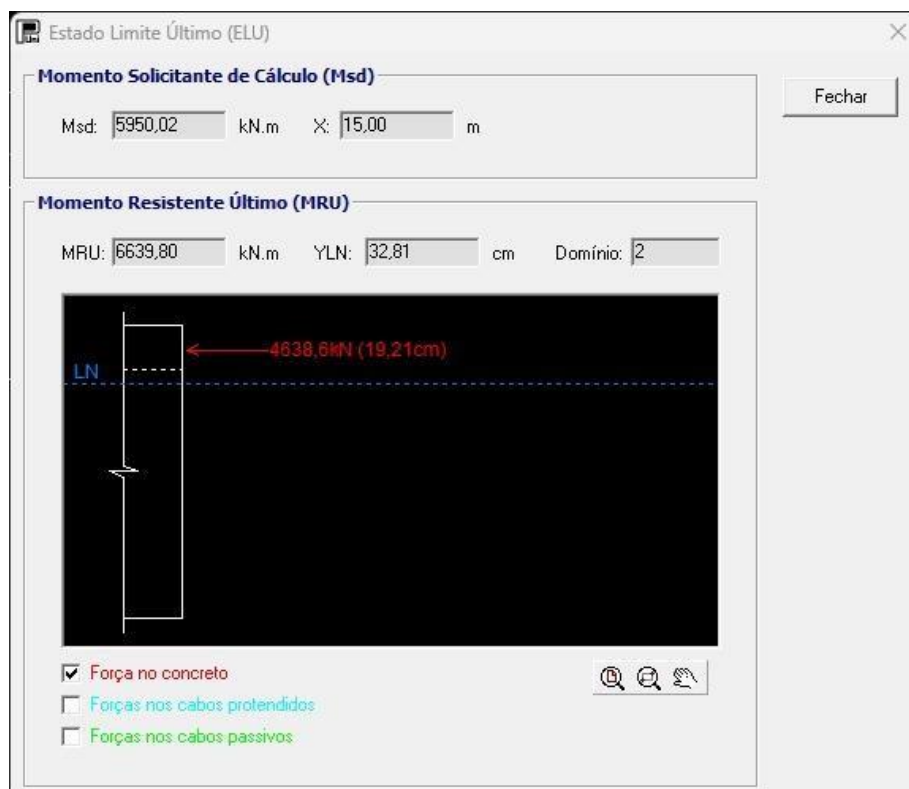
Abaixo, está apresentado o resultado do controle do estado limite último obtido na verificação, segundo a tela do computador:

ELU – COM TODOS OS ESFORÇOS:

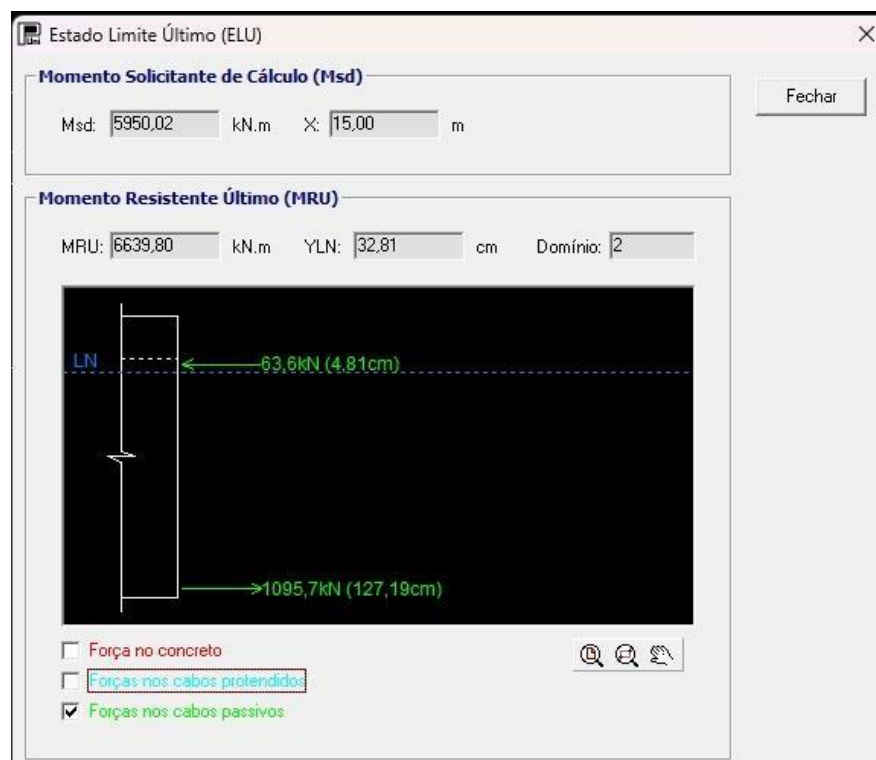


ELU – ESFORÇOS NO CONCRETO:

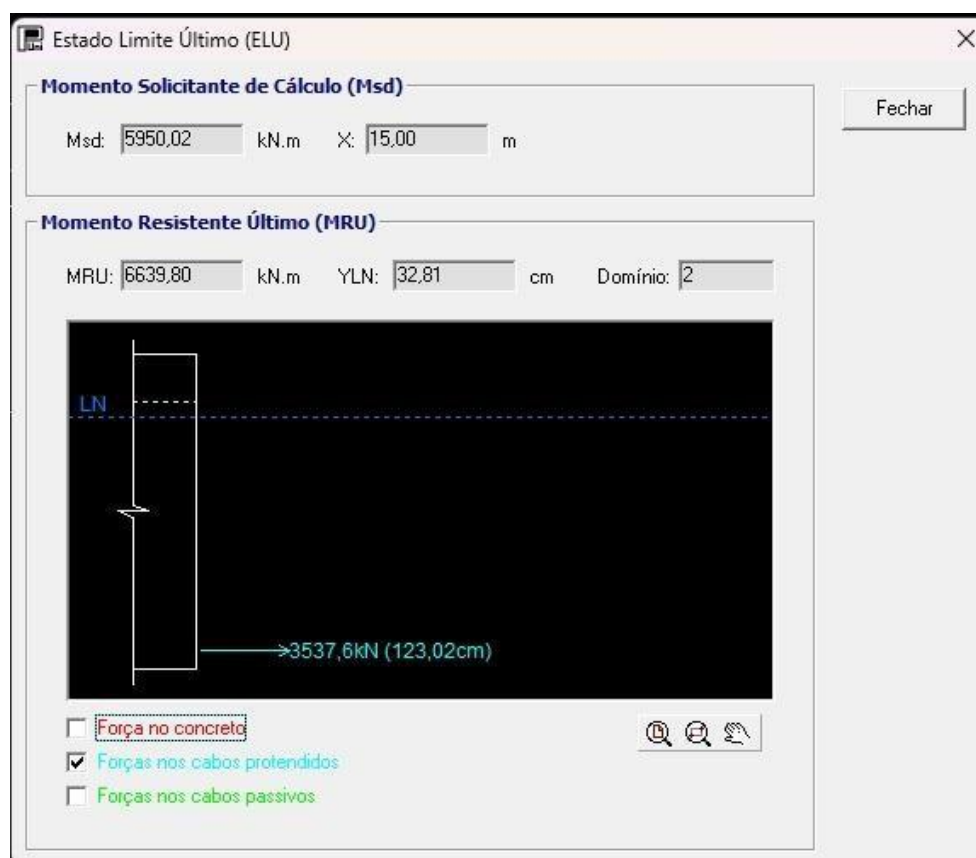




ELU – ESFORÇOS PARA CABOS PASSIVOS:



ELU – ESFORÇOS PARA CABOS PROTENDIDOS:



#### 4.5.2 Avaliação dos resultados e tabela de esforços de protensão:

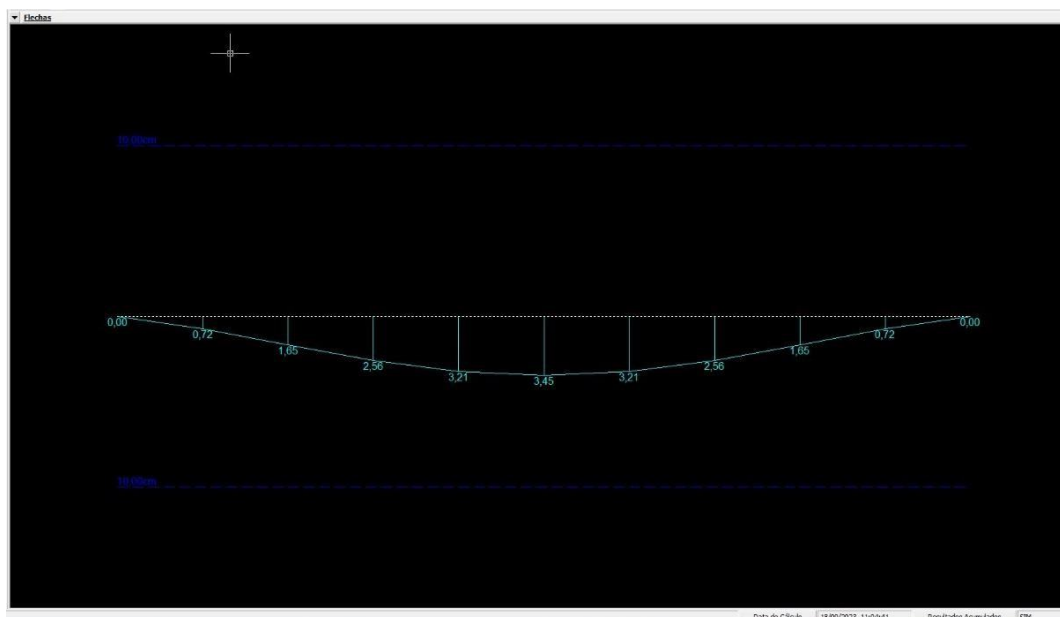
Com este resultado é possível conferir se as cordoalhas e as armaduras passivas estão atendendo as solicitações máximas da peça.

Em função da pretensão aplicada aos cabos, não existe a curvatura dos mesmos, portanto, as peças por serem pretendidas, podem ser dimensionadas no Domínio-2.

### 4.6 VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS

#### 4.6.1 Apresentação gráfica das Flechas

Flechas para carregamento total da Longarina:



#### 4.6.2 Conclusão

No gráfico anterior, as flechas estão medidas em centímetros, obtidos do programa de análise de protensão Pro-Uni.

As flechas de deformação pós-carregamento estão dentro dos limites da Norma.

### 4.7 CÁLCULO DAS CARGAS TRANSFERIDAS PARA OS APOIOS DAS LONGARINAS:

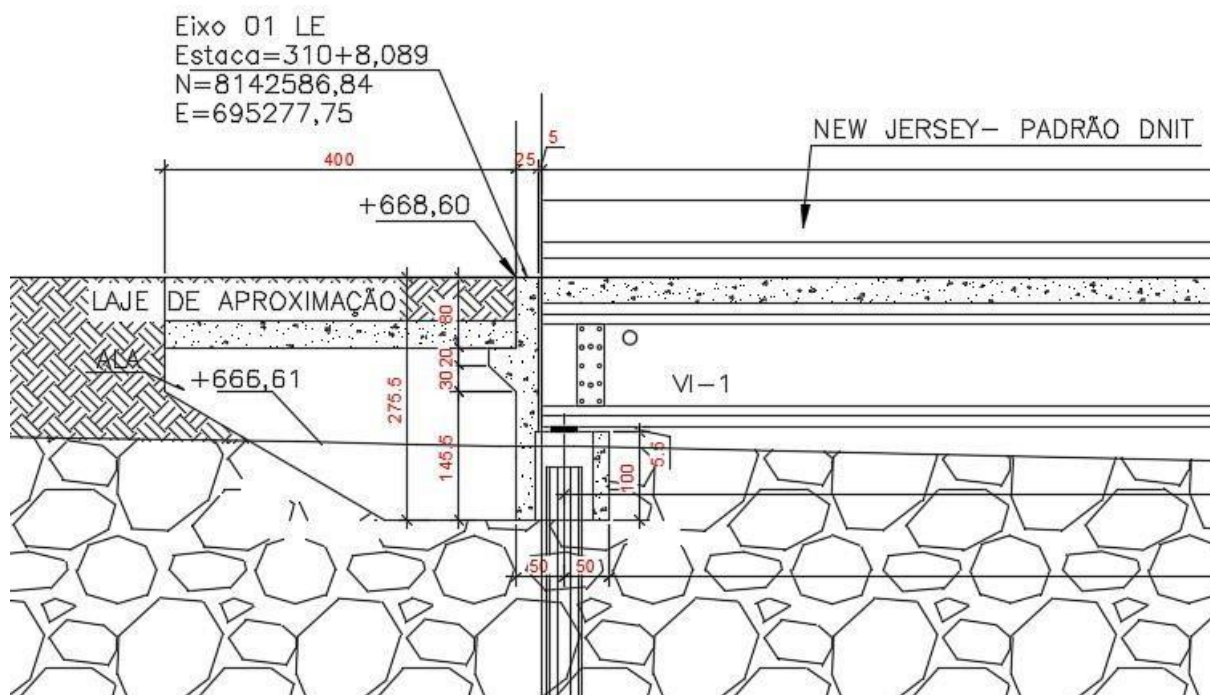
#### 4.7.1 Considerações

Os Berços para apoio das longarinas da ponte foram considerados com seção equivalente a do desenho inicialmente projetado, apoiados sobre um conjunto de pilares ou um conjunto de estacas, conforme o caso.

Estes berços deverão estar apoiados sobre pilares ou sobre um bloco de fundação, adequado para a recepção dos esforços atuantes.

#### 4.7.2 Esquemas das Formas do Berço

**BERÇOS EXTREMOS:**



### 4.7.3 Cálculo da Estrutura do Berço

#### Hipótese de atuação dos carregamentos das longarinas nos berços:

- As longarinas vão transmitir um efeito máximo de carregamento aos berços, quando as atuações do trem-tipo, estiverem atuando na sua extremidade. Como as faixas de carregamento, envolvem a relação de 4 eixos / 09 longarinas para os 02 (trem-tipos) por via, teremos um total de 09 vigas sendo solicitadas ao mesmo tempo, com o maior esforço. Será considerado o mesmo carregamento para as vigas externas.

#### Transmissão dos esforços cortantes das vigas ao berço

Berço de entrada – Estaca Inicial: 309 + 5,000

- Carga oriunda da Longarina: 797,13 kN
- Carga aplicada em 09 Longarinas: 797,13 kN x 9 = 7174,17 kN
- Comprimento do berço considerado para dispersão das cargas: 9,00 m
- Carga do conjunto de longarinas aplicada no berço: 797,13 kN/m

Berço de entrada oposta – Estaca Final: 310 + 15,000

- Carga oriunda da Longarina: 797,13 kN
- Carga aplicada em 08 Longarinas: 797,13 kN x 9 = 7174,17 kN
- Comprimento do berço considerado: 9,00 m
- Carga do conjunto de longarinas aplicada no berço: 797,13 kN/m

#### Verificação da variação térmica do Tabuleiro e seu efeito no berço:

- $\Delta t$  (variando entre 10 °C até 15 °C) para elementos cuja menor dimensão seja inferior a 50 cm.
- $\Delta l = \pm \alpha t \times \Delta t \times L$ , onde:  $\alpha = 0,000010 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- $\Delta l = 0,549 \text{ cm}$

- $\epsilon = \Delta l / L$
- $\epsilon = 0,549 / 2500 \Rightarrow \epsilon = 2.196 \times 10^{-4}$  (alongamento relativo)
- Para o  $F_{ck} = 30 \text{ Mpa}$ ;  $E = 27.000 \text{ Mpa}$
- $E = T / \epsilon \Rightarrow T = E \times \epsilon$
- $T = 27.000 \times 0,1 \text{ KN/cm}^2 \times 2,196 \times 10^{-4}$
- $T = 0,593 \text{ KN/cm}^2$  (que será dividida por 2, para atuar sobre um berço isoladamente)
- $F = T / A$  (Área da seção da longarina, sobre o apoio de Neoprene)
- $A = 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \Rightarrow A = 900 \text{ cm}^2$
- $F = 0,593 / 2 \times 900 \Rightarrow F = 266,81 \text{ KN}$
- Verificação na seção resistente do berço, equivalente a espessura do berço que recebe a longarina:
- $F_{ck}$  do berço = 30 Mpa
- Seção equivalente da estaca raíz ( $\Phi 410 \text{ mm}$ )  $\Rightarrow A_{sEst} = 1320,3 \text{ cm}^2$  (de projeção)
- $T = F / A_{sp} \Rightarrow T = 266,81 \text{ KN} / (1320,3 \times 7) \text{ cm}^2$
- $T = 0,029 \text{ KN/cm}^2 \Rightarrow T = 0,29 \text{ Mpa}$  é < 30 Mpa! OK!
- $\Rightarrow$  A seção equivalente do berço, suporta o esforço provocado pela variação térmica que o tabuleiro poderá sofrer e seu conjunto de apoio.
- A variação do maior comprimento ( $\Delta l$ ) apresentou 0,549 cm como resultado, o que será totalmente absorvido pelo aparelho de apoio em Neoprene, onde a Longarina será apoiada, que será a região de transferência de esforço da Longarina, para o conjunto (berço + pilar), não necessitando de acréscimo de armadura para este esforço, pois a armação do pilar já contemplar solicitações em outras direções, que obrigam a uma taxa de armação maior que a mínima estabelecida.

#### Peso próprio do berço

##### Berços de extremidades: (entrada e entrada oposta)

- A área lateral do berço, (corpo principal) =  $1,543 \text{ m}^2$
- $P$  (corpo principal) =  $1,543 \text{ m}^2 \times 24,50 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 945,09 \text{ kN}$
- $A$  (alas) =  $2,30 \text{ m}^3$
- $P$  (alas) =  $2 \text{ un} \times 2,3 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 115,00 \text{ kN}$
- Peso total do berço:  $P_{total} = P$  (corpo principal) +  $P$  (abas) =  $945,09 \text{ kN} + 115,00 \text{ kN} = 1060,09 \text{ kN}$ .
- Peso linear do berço:  $P_{linear} = P_{total} / \text{comprimento} = 1060,09 \text{ kN} / 24,50 \text{ m} = 43,27 \text{ kN/m}$

##### Transmissão dos esforços cortantes do berço lateral para as estacas:

- Carga total do berço transmitida ao conjunto de estacas:

$P = \text{Esforço cortante} + \text{peso próprio} + \text{reação da laje de transição}$

$P = 797,13 \text{ kN/m} + 43,27 \text{ kN/m} + 26,90 \text{ kN/m} = 867,29 \text{ kN/m}$

$867,29 \text{ kN/m} \times 24,50 \text{ m} = 21248,83 \text{ kN}$

Número de estacas propostas = 24 estacas

Carga nominal sobre cada estaca = 885,37 kN

## 4.8 APARELHOS DE APOIO PARA AS LONGARINAS

1

Aparelhos de apoio de elastômero fretado

2

Cliente: PREEITURA DE APARECIDA

3

Obra: PONTE VALE DAS POMBAS

4

Local: AV. COPACABANA-AV.DAS POMBAS-CORREGO SANTO ANTONIO

5

Data: 05/mar/26

6

Carga permanente53122 kgf

7

Carga acidental35415 kgf

8

Fator majoração cargas vivas1

9

Rotação long. permanente7,00E-03 rad

10

Rotação long. acidental4,00E-03 rad

11

Horizontal long. permanente100 kgf

12

Horizontal long. acidental100 kgf

13

Deslocamento long. permanente0 cm

14

Deslocamento long. acidental0 cm

15

16

Deslocamento total permanente0,04 cm

17

Deslocamento total acidental0,02 cm

18

Tensão normal considerando área total do aparelho98 kgf/cm2

19

Tensão normal com área reduzida102,6 kgf/cm2

20

Tensão normal permanente com área reduzida61,5 kgf/cm2

21

Tmin - deslizamento - cargas permanentes0,03 cm

22

Tmin - deslizamento - cargas totais0,05 cm

23

Tmin - limitação deslocamento horizontal0,09 cm

24

Tmáx para estabilidade14,04 cm

25

Soma das deflexões das camadas internas0,2724 cm

26

Soma das deflexões das camadas de cobrimto0,0071 cm

27

Deflexão total0,2795 cm

28

Rotação admissível pela análise da estabilidade2,85E-02 rad

29

Rotação admissível sem considerar camadas cobrimto2,78E-02 rad

30

Rotação adicional permanente pelo limite deformação 59,05E-03 rad

31

Deformação de cisalhamento por esforços normais2,09

32

Deformação de cisalhamento por esforços horizontais0,02

33

Deformação de cisalhamento devida às rotações1,58

34

Deformações totais por cisalhamento no elastômero3,70

35

Deformações totais por cisalhamento no cobrimto3,97

36

Espessura mínima para a chapa interna de aço1,27 mm

37

38

39

40

41

42

43

NEOPREX - EN 1337

Versão 0.0

espessura da chapa externa3 mm

espessura da chapa interna3 mm

cobrimto vertical3 mm

cobrimto horizontal3 mm

nº de aparelhos para uso24 unidades

nº de aparelhos p/ ensaio1 unidades

Fator de forma ti7,35

Fator de forma cobrimto17,50

H total48,0 mm

$\sigma_{adm}$  adm em área reduzida150 kgf/cm2

$\sigma_{adm}$  adm em área reduzida30 kgf/cm2

Volume Unitário4,320 dm3

Volume Total para Compra108,000 dm3

VERIFICAÇÃO PELO UIC-CODE

Soma deflexões cam.internas0,1162 cm

Soma deflexões cam. cobrim.0,0045 cm

Deflexão total0,1207 cm

Rot.adm. por estabilidade (K=1)2,41E-02 rad

Idem, sem cam. cobrimto (K=1)2,32E-02 rad

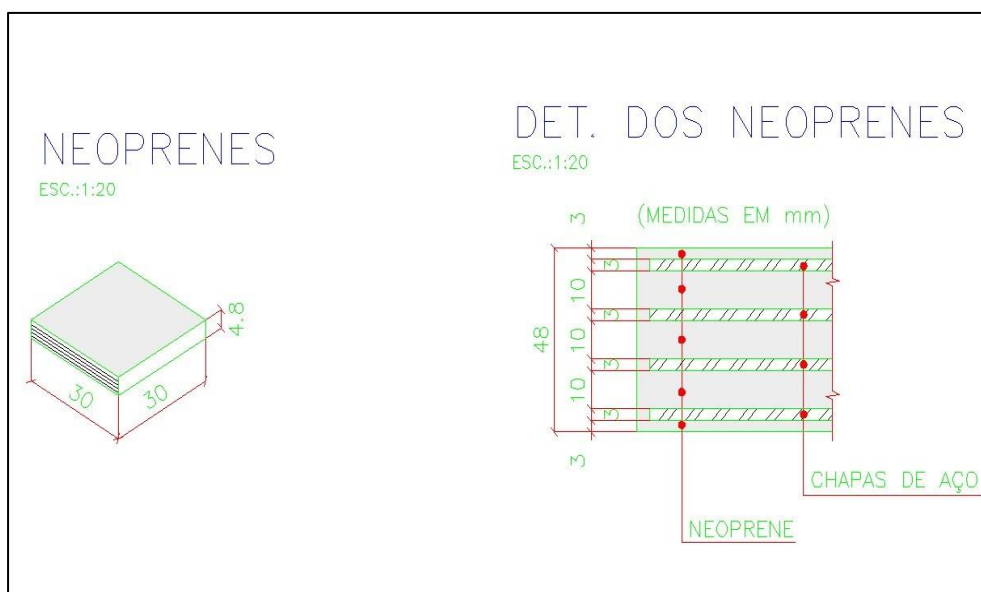
Rot. adm. permanente1,46E-02 rad

<

### 4.8.1 Dimensões Finais

- Elastômero fretado com: 30 x 30 cm com espessura de 4,8 cm
- Dureza shore >= 60



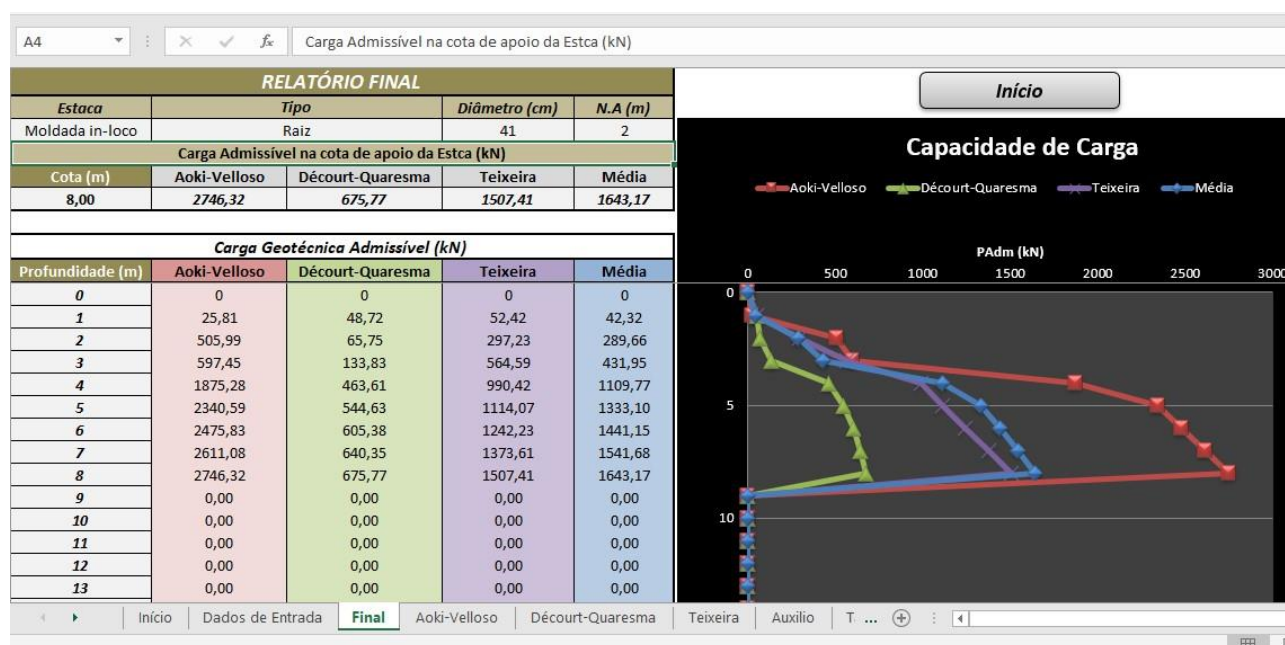


#### 4.8.2 Reação da laje de transição

Cargas verticais que atuam sobre a laje de transição por metro linear:

- Revestimento asfáltico (Ra):  $g = A \times \gamma_c = 0,10 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} \times 18 \text{ kN/m}^3 = 1,80 \text{ kN/m}$
- Base granulométrica (Ba):  $g = A \times \gamma_c = 0,30 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} \times 18 \text{ kN/m}^3 = 5,40 \text{ kN/m}$
- Concreto da laje (Cl):  $g = A \times \gamma_c = 0,25 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 6,25 \text{ kN/m}$
- Total carga vertical da laje ao berço:  
 $q = Ra + Bg + Cl = 1,80 + 5,40 + 6,25 = 13,45 \text{ kN/m}$
- A reação vertical da laje sobre o berço:  
 $Rq = q \times l / 2 = 13,45 \text{ kN/m} \times 4 \text{ m}^2 / 2 = 26,90 \text{ kN por metro linear}$

Gráfico de análise das estacas tipo Raiz:



## 4.9 CONCLUSÕES

O modelo estrutural em longarinas tipo “T”, se aplica neste tipo ponte, pela eficiência mecânica da peça.

Este modelo se aplica para vão teóricos de pontes para classe-45, de 30,00 metros, vencidos por longarinas afastadas de 149 cm entre eixos, como é o caso.

A opção pela protensão desta peça, se dá pela eficiência obtida por este tipo de execução. As solicitações não seriam atendidas para esta seção transversal, com a peça simplesmente armada, o que justifica o uso da protensão.

A Opção por pré-moldagem se deu pela rapidez de montagem; adequação ao vão a ser vencido e eficiência do comportamento mecânico já consolidado em outras obras executadas anteriormente com este conceito.

## 5 TERMO DE ENCERRAMENTO

---

O presente volume denominado Volume 03E – Memorial de Cálculos Estruturais é parte integrante do Projeto Executivo de Engenharia para Ligação Viária Avenida Copacabana / Vale das Pombas e contém 36 páginas numeradas.