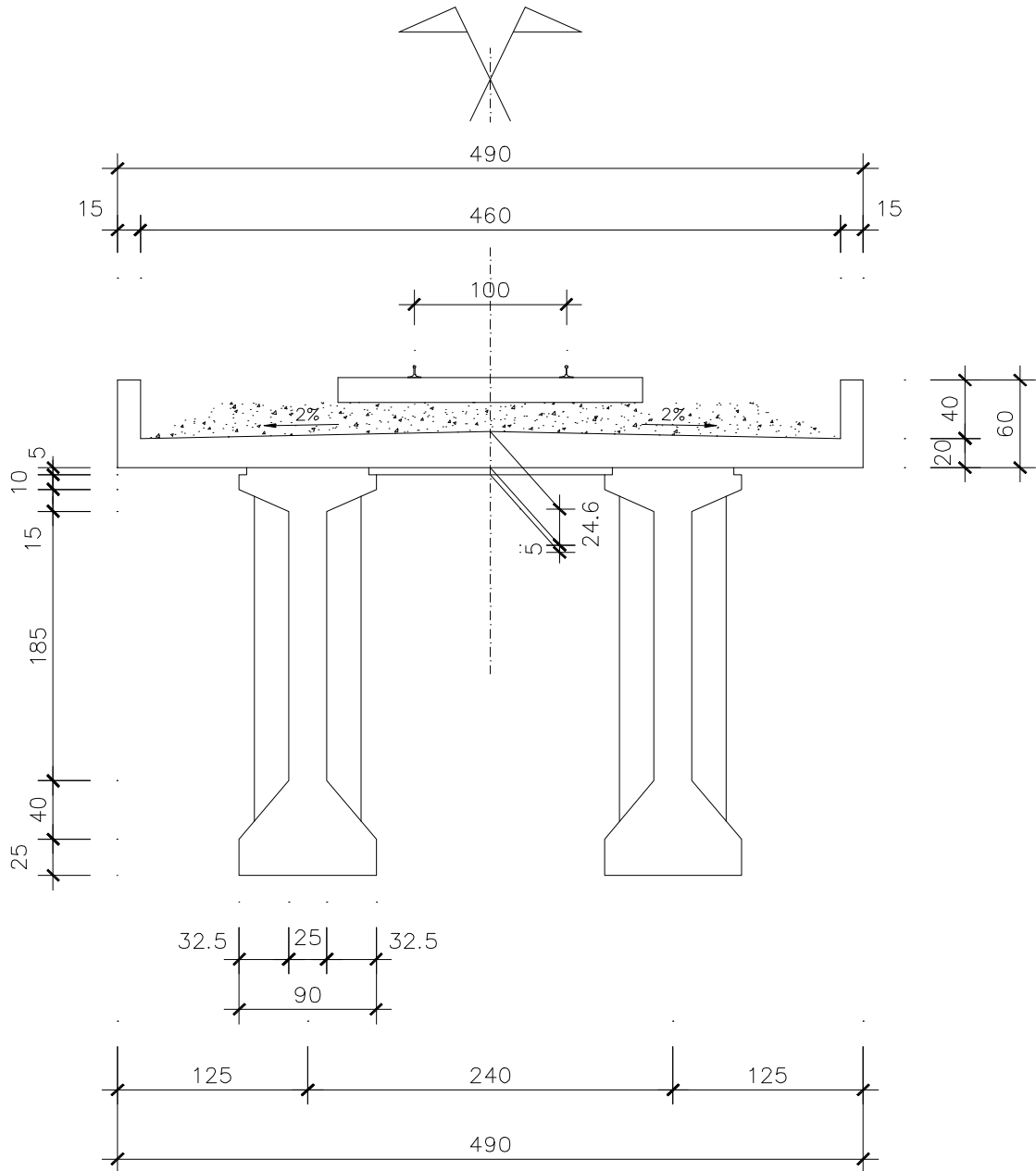
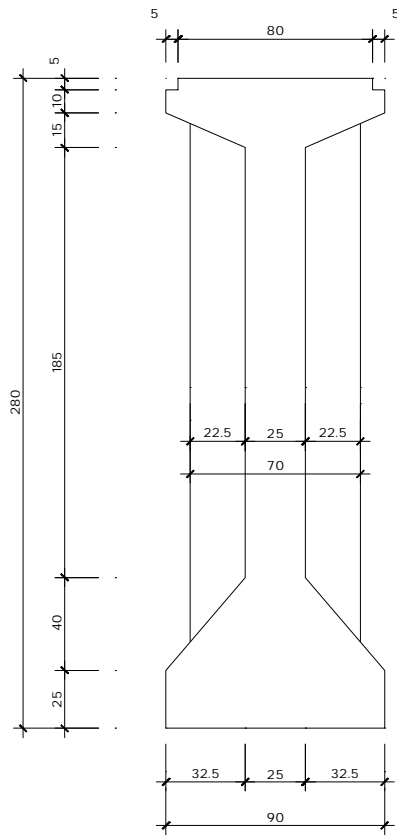


# Viaduto Ferroviário 1



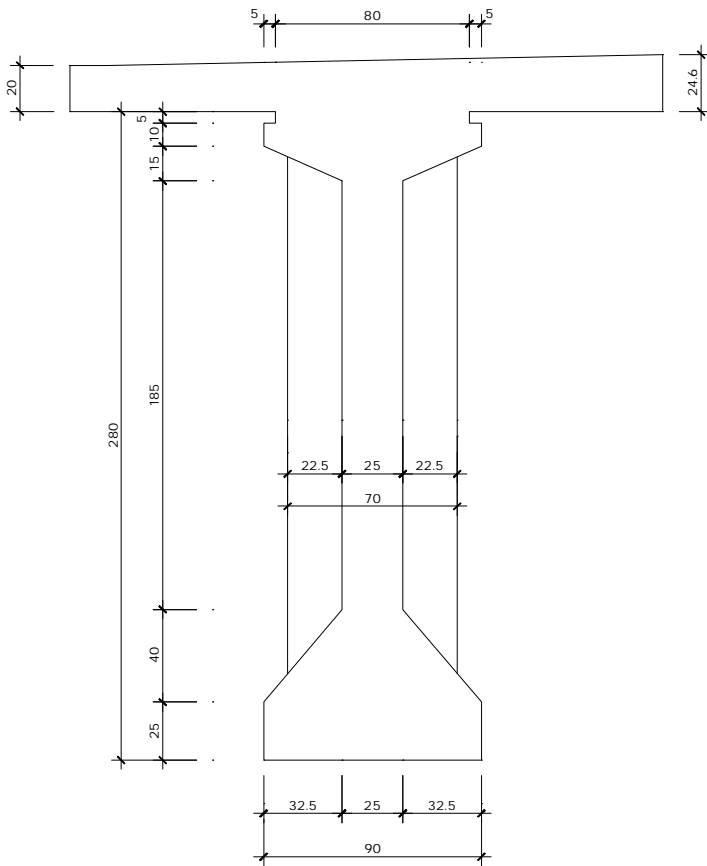
1. Viga Pré-moldada



aduela	a	b	c	y	
1	0,25	0,25	2,30	0,00	0,58
2	0,55	0,55	0,15	2,15	0,08
3	0,00	0,55	0,15	2,00	0,04
4	0,55	0,00	0,30	0,25	0,08
5	0,55	0,55	0,25	0,00	0,14
					0,919
$A_c =$	0,919	$m^2$			
$v_i =$	-1,064	m			
$v_s =$	1,236	m			
$J =$	0,578	$m^4$			
$w_i =$	-0,543	$m^3$			
$w_s =$	0,467	$m^3$			
$M_{sr} =$		$m^{-2}$			

2. Estrutura Pronta

Meia Seção



aduela	a	b	c	y	
1	0,25	0,25	2,55	0,00	0,64
2	0,55	0,55	0,15	2,15	0,08
3	0,00	0,55	0,15	2,00	0,04
4	0,55	0,00	0,30	0,25	0,08
5	0,55	0,55	0,25	0,00	0,14
6	1,95	1,95	0,25	2,30	0,49
7	2,00	0,00	0,06	2,55	0,06
					1,53
$A_c=$	1,529	$m^2$			
$v_i=$	-1,613	m			
$v_s=$	0,937	m			
$J=$	1,275	$m^4$			
$w_i=$	-0,791	$m^3$			
$w_s=$	1,361	$m^3$			
$M_{sr}=$		$m^{-2}$			

Cargas Permanentes -

1.	Inicial				t/m
	Viga Pré-moldada -	0,919 x 2,5	$g_o$	=	2,298
2.	Intermediária				
	$g_o$			=	2,298
	Laje -	$(0,25+0,31)/2 \times 4,40 / 2 \times 2,5$		=	1,540
	Laje Central Premoldada -	0,08 x 1,00 x 2,5		=	0,200
	Laje lateral -	0,70 x 0,25 x 2,5		=	0,438
			$g_i$	=	4,475
3.	Final				
	$g_i$			=	4,475
	Muretas -	$(2 \times 0,20 \times 0,35) \times 2,5$		=	0,350
	Guarda-corpo -			=	0,200
	Laje Lateral Premoldada -	0,08 x 0,50 x 2,5		=	0,100
	Lastro -	0,52 x 4,00 / 2 x 2,2		=	2,288
			$g_f$	=	7,413

Carga Acidental -

$$l = 23,80 \text{ m}$$

$$\text{Impacto Vertical - } f = 0,001(1600 - 60 \times l^{0,5} + 2,25 \times l) = 1,361$$

$$P = f \times 36,00 / 2 = 21,77 \text{ t}$$

$$p = f \times 12,00 / 2 = 8,17 \text{ t/m}$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Ação na Viga :

$$N_{CL} = 7,20 \times 0,65 / 2,60 = 1,80 \text{ t}$$

Ação do vento -

1) Viaduto Carregado -

$$w = 0,100 \times (2,55 + 0,65 + 3,50) = 0,67 \text{ t/m}$$

Ação na Viga :

$$N_w = 0,10 \times 3,50 \times (3,50/2 + 0,65) / 2,60 = 0,323 \text{ t/m}$$

1) Viaduto Descarregado -

$$w = 0,150 \times (2,55 + 0,65) = 0,48 \text{ t/m}$$

Ordenadas de Influência - Momentos Fletores

Seção	Área Mg	Área de Infl.		Ordenada de Infl.	
		S máx.	S mín.	Y máx.	Y mín.
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	25,490	11,254	0,000	7,368	0,000
2	45,315	20,151	0,000	12,832	0,000
3	59,476	26,392	0,000	16,792	0,000
4	67,973	29,977	0,000	19,248	0,000
5	70,805	32,101	0,000	19,900	0,000

Momentos Fletores -

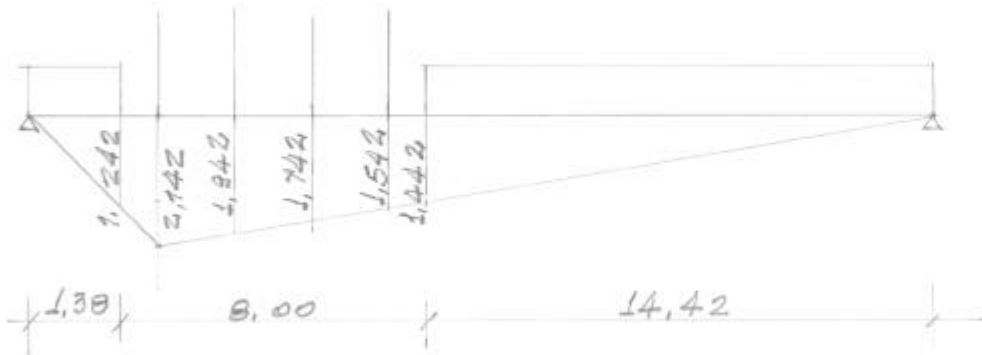
Seção	M <sub>go</sub>	M <sub>gi</sub>	M <sub>gf</sub>	M <sub>CL</sub>	M <sub>w</sub>	M <sub>p</sub>	
						máx	mín
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	58,56	114,07	188,96	3,86	8,24	252,31	0,00
2	104,11	202,79	335,92	6,85	14,64	443,93	0,00
3	136,65	266,16	440,90	9,00	19,22	581,11	0,00
4	156,17	304,18	503,88	10,28	21,96	663,86	0,00
5	162,67	316,85	524,88	10,76	22,88	695,40	0,00

Envoltória de Momentos Fletores -

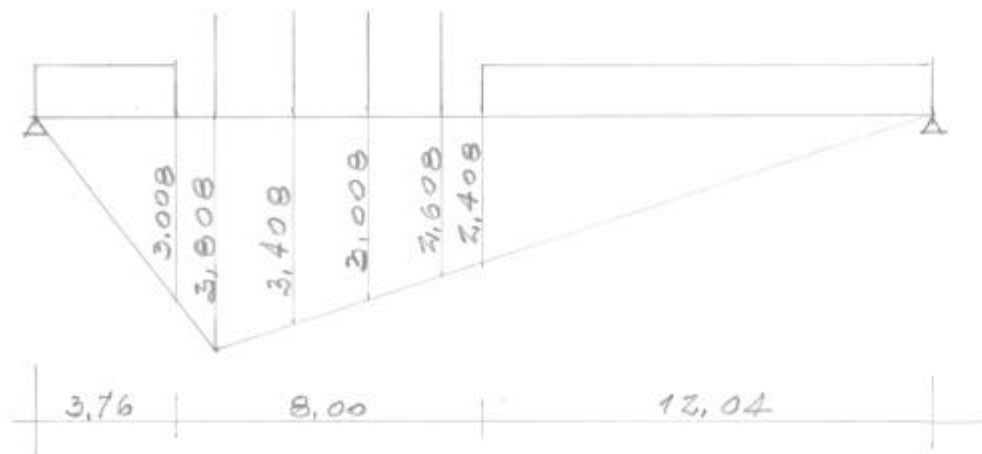
Seção	M <sub>total</sub>	
	máx	mín
0	0,00	0,00
1	453,36	176,87
2	801,35	314,43
3	1050,22	412,69
4	1199,98	471,64
5	1253,91	491,25

Momentos Fletores -  $f = 23,00$

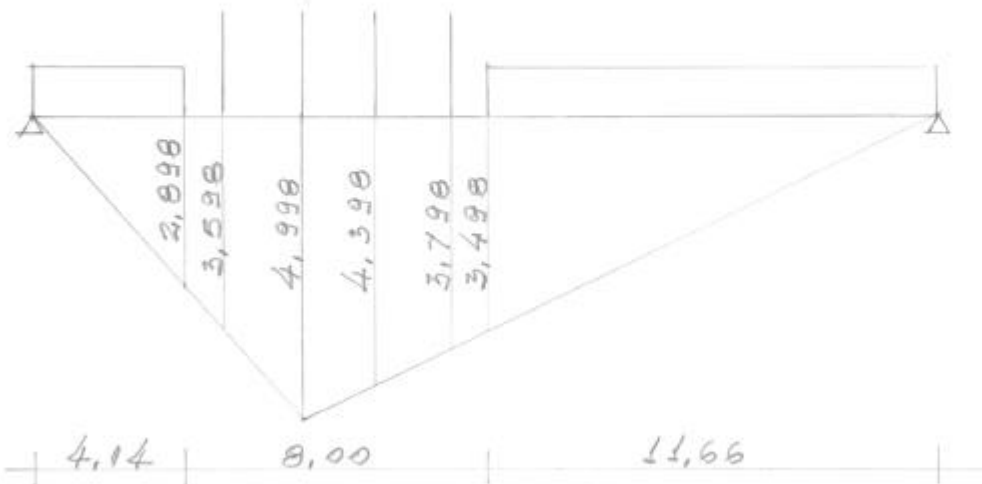
S 1 -



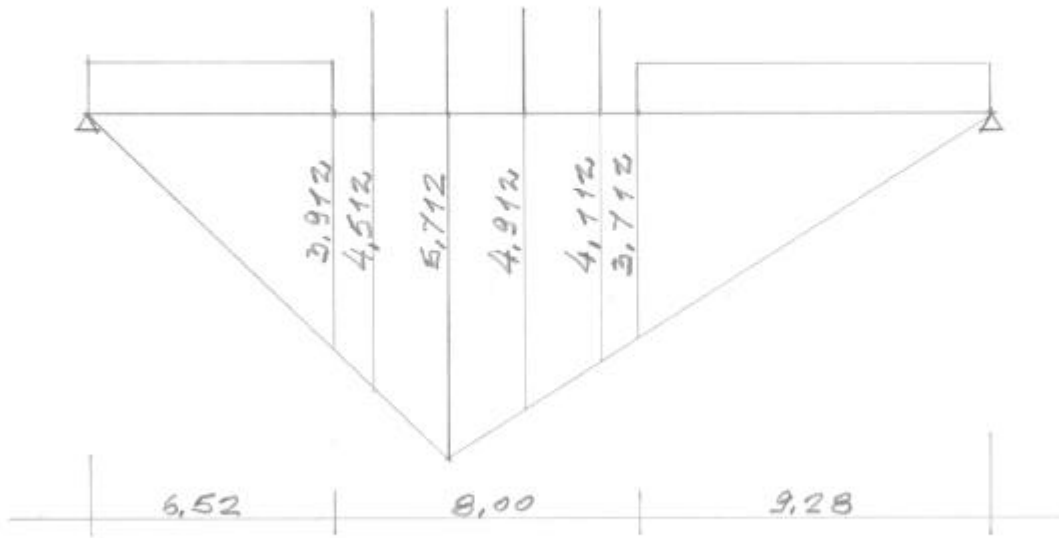
S 2 -



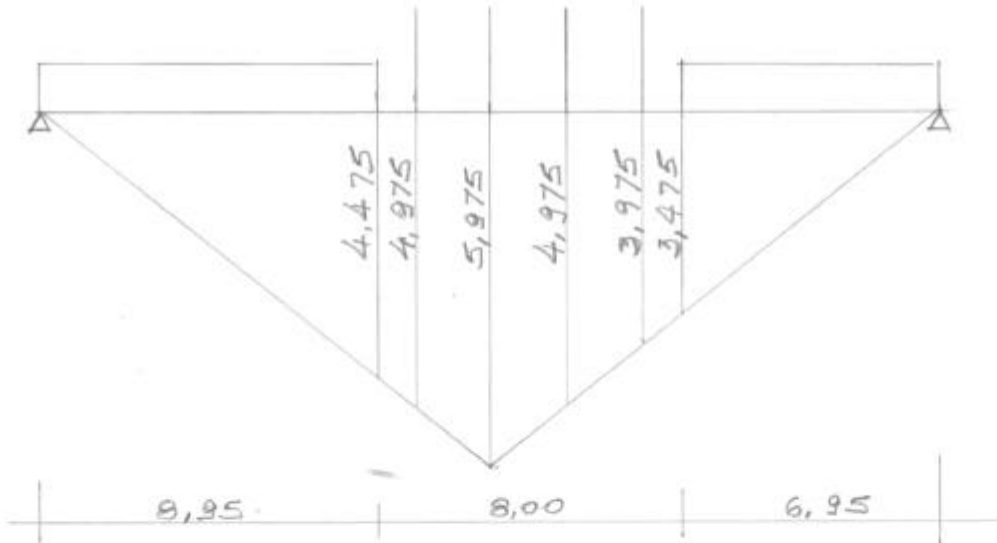
S 3 -



54 -



55 -



Ordenadas de Influência - Esforços Cortantes

Seção	Área Vg	Área de Infl.		Ordenada de Infl.	
		S máx.	S mín.	Y máx.	Y mín.
0	11,900	5,930	0,000	3,496	0,000
1	9,520	4,369	0,000	3,096	-0,116
2	7,140	3,046	0,000	2,696	-0,346
3	4,760	1,961	0,000	2,296	-0,696
4	2,380	1,114	-0,134	1,896	-1,096
5	0,000	0,505	-0,505	1,496	-1,496

Esforços Cortantes

Seção	V <sub>go</sub>	V <sub>gi</sub>	V <sub>gf</sub>	V <sub>CL</sub>		V <sub>w</sub>	
				máx	mín	máx	mín
0	27,34	53,25	88,21	1,80	0,00	3,84	0,00
1	21,87	42,60	70,57	1,62	-0,18	3,11	-0,04
2	16,40	31,95	52,93	1,44	-0,36	2,46	-0,15
3	10,94	21,30	35,29	1,26	-0,54	1,88	-0,35
4	5,47	10,65	17,64	1,08	-0,72	1,38	-0,62
5	0,00	0,00	0,00	0,90	-0,90	0,96	-0,96

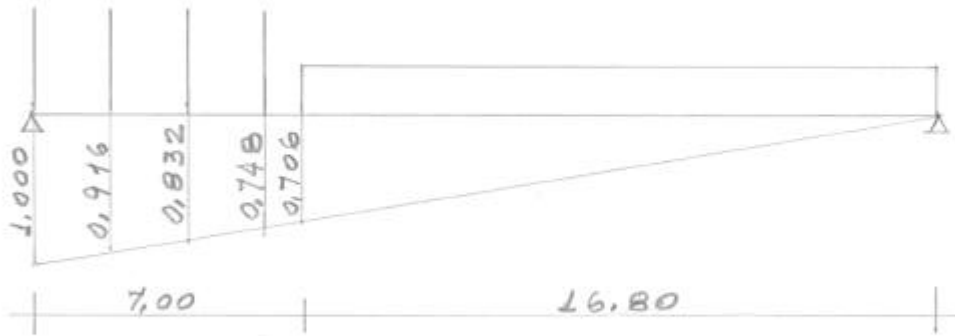
Envoltória de Esforços Cortantes

Seção	V <sub>p</sub>		V <sub>total</sub>			
	máx	mín	máx	mín		
0	124,54	0,00	218,40	88,21	130,19	0,00
1	103,09	-2,53	178,39	67,83	107,82	-2,74
2	83,57	-7,53	140,40	44,88	87,47	-8,05
3	66,00	-15,15	104,43	19,25	69,15	-16,04
4	50,38	-24,95	70,48	-8,65	52,84	-26,29
5	36,69	-36,69	38,56	-38,56	38,56	-38,56

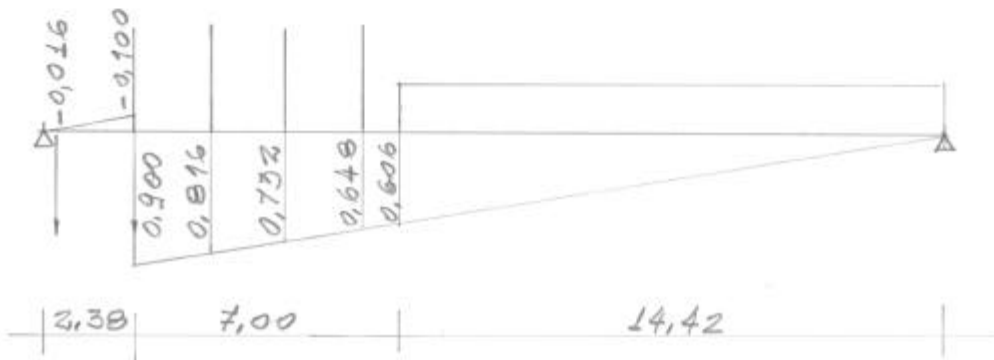


ESFORÇOS CORTANTES -  $l = 23,80$

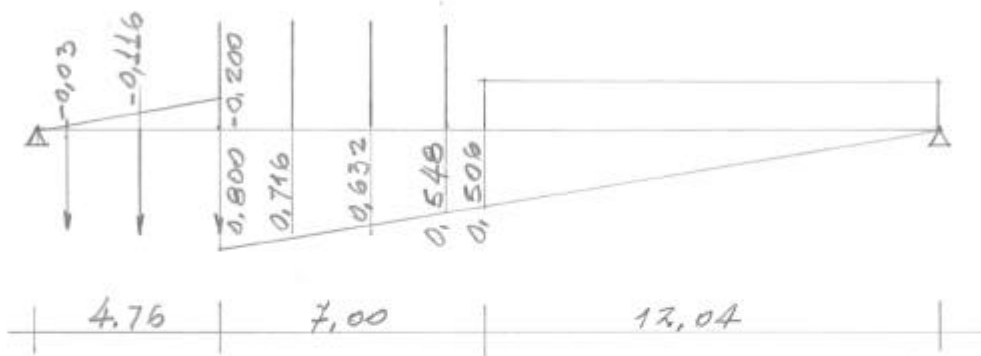
S0 -



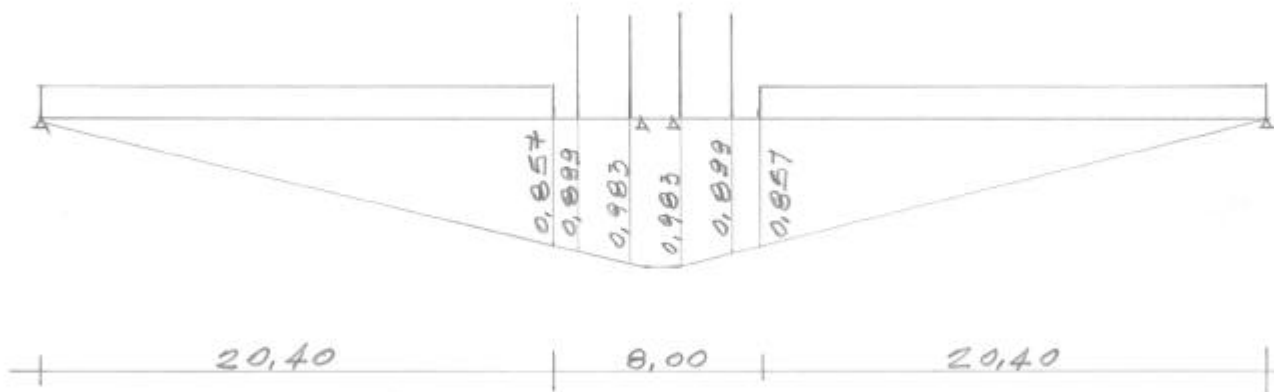
S1 -



S2 -



Reação de dois vãos -

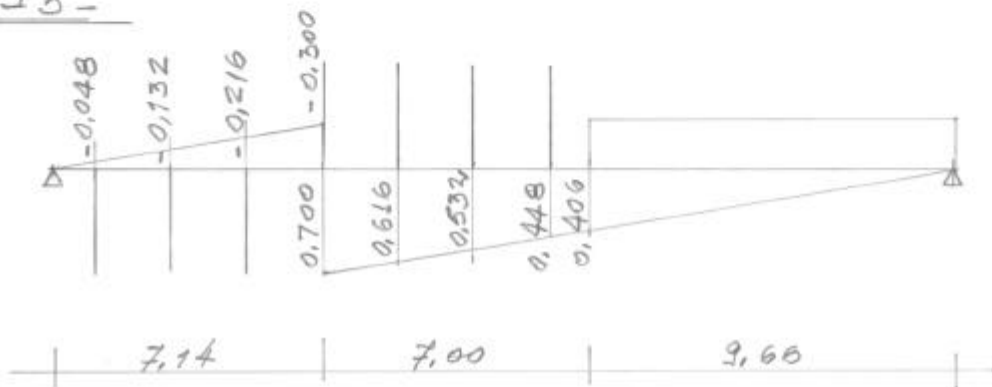


$$\begin{aligned} N_{\text{viga}} &= 21,773 \cdot (0,899 + 0,983 + 0,983 + 0,899) + \\ &+ 8,185 \times 20,40 \times 2/2 \\ &= 248,92 \text{ t/viga} \end{aligned}$$

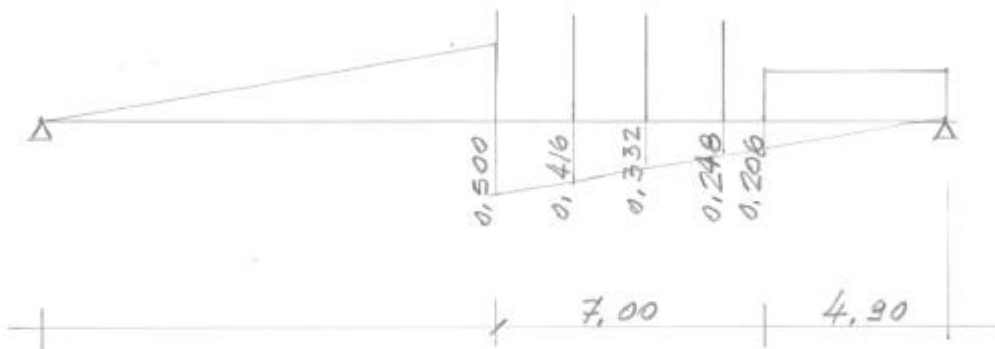
54 -



53 -



55 -



## Pré-dimensionamento à Flexão

### Seção 5

$$M_{go} = 162,67 \text{ tm}$$

$$\text{para } S_s = 0$$

$$0 = \frac{162,67}{0,467} + F \cdot \left( \frac{1}{0,919} - \frac{0,86}{0,467} \right) = 348,3 - 0,76 \times F$$

$$F = 457,2 \text{ t} \quad 3 \text{ cabos } 12 \phi 1/2''$$

$$S_s = \frac{162,67}{0,467} + 3 \cdot 156 \left( \frac{1}{0,919} + \frac{-0,86}{0,467} \right) = -8,3 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = \frac{162,67}{-0,543} + 3 \cdot 156 \left( \frac{1}{0,919} + \frac{-0,86}{-0,543} \right) = 954,3 \text{ t/m}^2$$

$$M_{gi} = 316,85 \text{ tm}$$

$$S_s = \frac{316,85}{0,467} + 3 \cdot 156 \left( \frac{1}{0,919} + \frac{-0,86}{0,467} \right) = 321,9 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = \frac{316,85}{-0,543} + 3 \cdot 156 \left( \frac{1}{0,919} + \frac{-0,86}{-0,543} \right) = 670,4 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- Cargas Máximas - } M_f = 1253,9 \text{ tm}$$

$$S_i = \frac{1253,91}{-0,791} = -1585,2 \text{ t/m}^2$$

$$-1585,2 = F \cdot \left( \frac{1}{1,529} + \frac{-1,41}{-0,791} \right) = 2,44 \times F$$

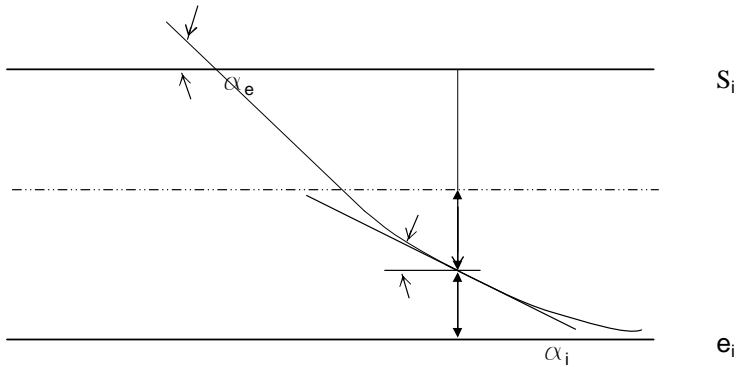
$$F = 649,6 \text{ t} \quad 5 \text{ cabos } 12 \phi 1/2''$$

$$S_s = \frac{1253,91}{1,361} + 5 \cdot 130 \left( \frac{1}{1,529} + \frac{-1,41}{1,361} \right) = 771,5 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = \frac{1253,91}{-0,791} + 5 \cdot 130 \left( \frac{1}{1,529} + \frac{-1,41}{-0,791} \right) = 1,0 \text{ t/m}^2$$

Cálculo do Cabeamento

Esquema e Formulário



$$f_{pi} = f_{pe} * e^{-(0.30 * \sum \alpha + 0.004 * L)}$$

$y_i$

0,004 x L = perda por atrito em reta

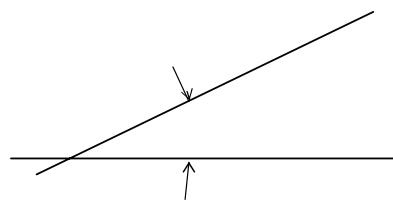
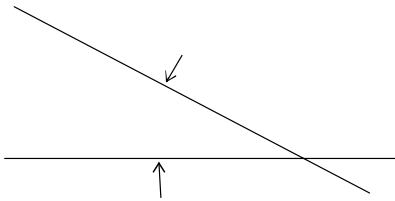
$$H_i = F_i * \cos \alpha$$

$$V_i = F_i * \sin \alpha$$

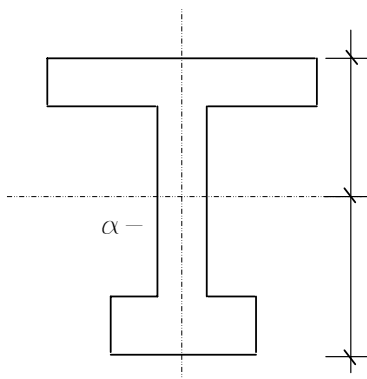
$$M_{pi} = H_i * e_i$$

Convenções:

- $\sum \alpha$  = somatório das deflexões em relação a origem
- L = distância a origem
- $\alpha$  = ângulo com a horizontal
- e = afastamento em relação a linha neutra



Cálculo das tensões:



$\sigma_s$

$$\sigma_s = \frac{\sum H}{W_s}$$

$$\sigma_s = \sigma_g + \frac{\sum M}{W_s}$$

$$\sigma_i = \sigma_g + \frac{\sum M}{W_i}$$

$$M_{sr} = \frac{M_{sr}}{b_w \times J}$$

$$\tau = \sum V \times M$$

$$\sigma_I = \frac{\sigma_g - \sqrt{\sigma_g^2 + 4 * \tau^2}}{2}$$

$$\sigma_{II} = \frac{\sigma_g + \sqrt{\sigma_g^2 + 4 * \tau^2}}{2}$$

$\alpha +$

## Laje em balanço do tabuleiro do encontro -

1.1	Carga Permanente -		tm/m
	mureta	$0,15 \times 0,40 \times 2,5 \times 0,775$	= -0,116
	laje -	$0,20 \times 0,85 \times 2,5 \times 0,85 / 2$	= -0,181
		$0,10 \times 0,85 / 2 \times 2,5 \times 0,85 / 3$	= -0,030
	pavimento -	$0,40 \times 0,70 \times 2,2 \times 0,70 / 2$	= -0,216
		$X_{g_1}$	= -0,543

## 1.2 Carga Acidental -

impacto vertical:  $l = 0,85 \text{ m}$   
 $f = 1,547$

veículo -

$$X_{p_1} = (1,547 \times 27,00 / 2,00 / 4,60) \times 0,70^2 / 2 = -1,112$$

## 1.3 Dimensionamento -

$f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$   
aço CA-50

$$X = -1,655 \text{ tm/m}$$
$$A_s = 3,6 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \phi 10 \text{ c/ } 10 \text{ cm}$$

## Materiais

1.	Aço de Protensão	12	φ	12,7	- CP 190-RB
	área mínima	12	x	98,7	= 1184,40 mm <sup>2</sup>
	carga de ruptura mínima	12	x	18,73	= 224,76 t
	carga mínima a 1% de alongamento	12	x	16,86	= 202,32 t

$$f_{ptk} = 190,00 \text{ kgf/mm}^2$$

$$0,77 f_{ptk} = 146,30 \text{ kgf/mm}^2$$

$$f_{ptk} (1\%) = 170,82 \text{ kgf/mm}^2$$

$$0,86 \cdot f_{ptk} (1\%) = 146,91 \text{ kgf/mm}^2$$

$$f_{pi} = 146,30 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\text{módulo de elasticidade: } E_p = 19600 \text{ kgf/mm}^2$$

### 2. Concreto

$$f_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2 = 40 \text{ Mpa}$$

$$\text{módulo de elasticidade } E_c = 378000 \text{ kgf/cm}^2$$

### Perdas de Protensão

#### Perdas Instantâneas de tensão

#### 1. Perdas por atrito

$$\text{coeficiente de atrito em curva} = 0,20$$

$$\text{coeficiente de atrito em reta} = 0,002$$

#### 2. Perdas por cravação do cone

$$12 \text{ } \phi \text{ } 12,7$$

$$\text{recuo do cone, considerado} = 6 \text{ mm}$$

#### 3. Perdas por deformação instantânea do concreto -

$$n^\circ \text{ de cabos} = 5$$

$$\text{tensão média de protensão} = 70 \text{ kgf/cm}^2$$

#### Perda instantânea de tensão

$$\Delta f_p = a_p \cdot (s_{cp} + s_{cg}) \cdot \frac{n - 1}{2 \cdot n} = \frac{1960000}{378000} \cdot 70 \cdot \frac{4}{10} = 145 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1,45 \text{ kgf/mm}^2$$

### Perdas diferidas de tensão

#### 1 - Perdas por relaxação do aço

Relaxação do aço,  $t = 0$ , 3,0% a 0,75  $F_r$

#### 2 - Perdas por fluência do Concreto

$$\phi_{cc}(t, t_0) = e_{cca} + e_{ccf} + e_{ccd} = \frac{s_c \cdot \phi(t, t_0)}{E_{c28}}$$

t = idade fictícia do concreto no instante considerado em dias = ∞

t<sub>0</sub> = idade fictícia do concreto ao ser feito o carregamento

Considerando-se aplicação da protensão aos 7 dias de idade do concreto:

$$t = a \cdot t_{ef} = 2 \times 7 = 14 \text{ dias}$$

$$\phi_a = 0,35$$

$$\phi_{f00} = 2,72$$

$$b_f (t = \infty) = 0,97$$

$$b_f (t_0 = 14) = 0,17$$

$$\phi_{d00} = 0,4$$

$$b_d = 1, \text{ como } t = \infty$$

$$\text{tensão média de protensão} = 70 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\phi(t, t_0) = \phi_a + \phi_{f00} \times [b_f(t) - b_f(t_0)] + \phi_{d00} \cdot b_d$$

$$\phi(t, t_0) = 2,93$$

$$\epsilon_{cc}(t, t_0) = \frac{S_c \cdot \phi(t, t_0)}{E_{c28}} = \frac{70}{378000} \times 2,93 = 5,43E-04$$

$$\Delta_{fp} = \epsilon_{cc}(t, t_0) \cdot E_p = 5,43E-04 \times 19600 = 10,64 \text{ kgf/mm}^2$$

### 3 - Perdas por retração do concreto

$$\epsilon_{cs}(t, t_0) = \epsilon_{cs00} \times [b_s(t) - b_s(t_0)]$$

$$\epsilon_{cs00} = \epsilon_{1s} \cdot \epsilon_{2s}$$

$$\epsilon_{1s} = 3,20E-04 \text{ (tabela 2 NBR-7197)}$$

$$\epsilon_{2s} = 0,80$$

$$b_s (t = \infty) = 1,00$$

$$b_s (t_0 = 14) = 0,06$$

$$\epsilon_{cs}(t, t_0) = 2,42E-04$$

$$\Delta_{fp} = \epsilon_{cs}(t, t_0) \cdot E_p = 2,42E-04 \times 19600 = 4,74 \text{ kgf/mm}^2$$

Soma perdas fluência + retração

$$\Delta_{fp} = 10,64 + 4,74 = 15,37 \text{ kgf/mm}^2$$



**Cálculo das Tensões em t / m<sup>2</sup>**

Seção	Ac <sub>o</sub>	Ws <sub>o</sub>	Wi <sub>o</sub>	h <sub>o</sub>	Fp	Mp	Mg <sub>o</sub>	Mgcompl	Ac	Ws	Wi	Fp2	Mp2	D Fp	D Mp	h	Mg-comp	Macid.
1	0,919	0,467	-0,543	2,30	413,55	-78,48	0,00	0,00										
2	0,919	0,467	-0,543	2,30	435,65	-295,03	58,56	46,49										
3	0,919	0,467	-0,543	2,30	454,30	-408,05	104,11	84,11										
4	0,919	0,467	-0,543	2,30	462,59	-441,31	136,65	112,86										
5	0,919	0,467	-0,543	2,30	464,91	-443,52	156,17	128,29										
6	0,919	0,467	-0,543	2,30	466,16	-444,71	162,67	132,72										

fase 1 = viga premoldada (peso próprio inicial + protensão (fpo) t = 0)

fase 2 = fase 1 + laje premoldada + enchimento

fase 3 = fase 2 + protensão segunda fase

fase 4 = fase 3 + carga permanente complementar

fase 5 = fase 4 + perdas de protensão

fase 6 = fase 5 + carga accidental

**Cálculo das Tensões Protensão Superior**

Seção	Ac <sub>o</sub>	Ws <sub>o</sub>	Wi <sub>o</sub>	h <sub>o</sub>	Fp	Mp	Mg <sub>o</sub>	Mgcompl	Ac	Ws	Wi	Fp2	Mp2	D Fp	D Mp	h	Mg-comp	Macid.
1	0,919	0,467	-0,543	2,30	499,82	-88,20	0,00	0,00	1,529	1,361	-0,791	0,00	0,00	-143,04	20,44	2,55	0,00	0,00
2	0,919	0,467	-0,543	2,30	511,82	-344,08	58,56	55,51	1,529	1,361	-0,791	305,84	120,55	-240,09	47,68	2,55	74,89	264,40
3	0,919	0,467	-0,543	2,30	518,15	-464,80	104,11	98,68	1,529	1,361	-0,791	324,88	-140,50	-227,81	154,97	2,55	133,13	465,43
4	0,919	0,467	-0,543	2,30	519,83	-495,92	136,65	129,51	1,529	1,361	-0,791	340,12	-359,25	-216,49	215,54	2,55	174,74	609,32
5	0,919	0,467	-0,543	2,30	519,83	-495,92	156,17	148,01	1,529	1,361	-0,791	346,13	-443,60	-206,73	225,94	2,55	199,70	696,10
6	0,919	0,467	-0,543	2,30	519,83	-495,92	162,67	154,18	1,529	1,361	-0,791	346,56	-448,10	-203,91	223,94	2,55	208,03	729,03

fase 1 = viga premoldada (peso próprio inicial + protensão (fpi) t = 0)

fase 2 = fase 1 + laje premoldada + enchimento

fase 3 = fase 2 + protensão segunda fase

fase 4 = fase 3 + carga permanente complementar

fase 5 = fase 4 + perdas de protensão

fase 6 = fase 5 + carga accidental

**Cálculo das Tensões Protensão Inferior**

Seção	Ac <sub>o</sub>	Ws <sub>o</sub>	Wi <sub>o</sub>	h <sub>o</sub>	Fp	Mp	Mg <sub>o</sub>	Mgcompl	Ac	Ws	Wi	Fp2	Mp2	D Fp	D Mp	h	Mg-comp	Macid.
1	0,919	0,467	-0,543	2,30	499,82	-88,20	0,00	0,00	1,529	1,361	-0,791	0,00	0,00	-174,82	24,98	2,55	0,00	0,00
2	0,919	0,467	-0,543	2,30	511,82	-344,08	58,56	55,51	1,529	1,361	-0,791	305,84	120,55	-293,45	58,27	2,55	74,89	264,40
3	0,919	0,467	-0,543	2,30	518,15	-464,80	104,11	98,68	1,529	1,361	-0,791	324,88	-140,50	-278,44	189,41	2,55	133,13	465,43
4	0,919	0,467	-0,543	2,30	519,83	-495,92	136,65	129,51	1,529	1,361	-0,791	340,12	-359,25	-264,60	263,44	2,55	174,74	609,32
5	0,919	0,467	-0,543	2,30	519,83	-495,92	156,17	148,01	1,529	1,361	-0,791	346,13	-443,60	-252,66	276,15	2,55	199,70	696,10
6	0,919	0,467	-0,543	2,30	519,83	-495,92	162,67	154,18	1,529	1,361	-0,791	346,56	-448,10	-249,22	273,70	2,55	208,03	729,03

fase 1 = viga premoldada (peso próprio inicial + protensão t = 0)

fase 2 = fase 1 + laje premoldada + enchimento

fase 3 = fase 2 + protensão segunda fase

fase 4 = fase 3 + carga permanente complementar

fase 5 = fase 4 + perdas de protensão

fase 6 = fase 5 + carga accidental

Seção	fase 1		fase 2		Tensão (Fp2)			fase 3			Tensão ( Mg-compl )			fase 4			Tensão (DFp2)			fase 5			Tensão ( Macid )			fase 6			As			
	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	s1	s	i	
1	281,9	594,5	281,9	594,5																												
2	-32,3	909,5	67,2	823,9																												
3	-156,5	1054,1	23,6	899,2																												
4	-149,0	1064,5	92,6	856,6																												
5	-109,4	1035,1	165,3	798,8																												
6	-96,7	1026,6	187,5	782,2																												

Seção	fase 1		fase 2		Tensão (Fp2)			fase 3			Tensão ( Mg-compl )			fase 4			Tensão (DFp2)			fase 5			Tensão ( Macid )			fase 6			As		
	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	s1	s	i
1	355,0	706,3	355,0	706,3	0,0	0,0	0,0	0,0	355,0	706,3	0,0	0,0	0,0	0,0	355,0	706,3	-78,5	-82,5	-119,4	-78,5	272,5	586,9	0,0	0,0	0,0	-78,5	272,5	586,9			
2	-54,4	1082,7	64,4	980,5	288,6	265,0	47,6	288,6	329,4	1028,1	55,0	40,3	-94,7	343,6	369,7	933,5	-122,0	-131,3	-217,3	221,6	238,4	716,2	194,3	142,5	-334,3	415,9	380,9	381,9			
3	-208,5	1228,1	2,8	1046,3	109,2	136,8	390,1	109,2	139,6	1436,4	97,8	71,7	-168,3	207,1	211,3	1268,1	-35,1	-65,5	-344,9	171,9	145,8	923,2	342,0	250,8	-588,4	513,9	396,5	334,8			
4	-203,7	1227,3	73,7	988,8	-41,5	28,9	676,6	-41,5	102,5	1665,4	128,4	94,1	-220,9	86,9	196,7	1444,5	16,8	-25,5	-414,1	103,7	171,2	1030,4	447,7	328,3	-770,3	551,4	499,5	260,1			
5	-161,9	1191,3	155,1	918,8	-99,6	-12,6	787,2	-99,6	142,4	1706,0	146,7	107,6	-252,5	47,2	250,0	1453,5	30,8	-13,5	-420,8	78,0	236,6	1032,6	511,5	375,0	-880,0	589,4	611,6	152,6	-20,4		
6	-147,9	1179,4	182,2	895,4	-102,6	-14,8	793,1	-102,6	167,4	1688,6	152,9	112,1	-263,0	50,3	279,5	1425,6	31,2	-12,7	-416,5	81,4	266,8	1009,1	535,7	392,8	-921,7	617,1	659,6	87,5	-21,0		

Seção	fase 1		fase 2		Tensão (Fp2)			fase 3			Tensão ( Mg-compl )			fase 4			Tensão (DFp2)			fase 5			Tensão ( Macid )			fase 6			As		
	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>st</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	s1	s	i
1	355,0	706,3	355,0	706,3	0,0	0,0	0,0	0,0	355,0	706,3	0,0	0,0	0,0	0,0	355,0	706,3	-96,0	-100,9	-145,9	-96,0	254,1	560,4	0,0	0,0	0,0	-96,0	254,1	560,4			79,2
2	-54,4	1082,7	64,4	980,5	288,6	265,0	47,6	288,6	329,4	1028,1	55,0	40,3	-94,7	343,6	369,7	933,5	-149,1	-160,5	-265,6	194,5	209,2	667,9	194,3	142,5	-334,3	388,8	351,7	333,6			0,6
3	-208,5	1228,1	2,8	1046,3	109,2	136,8	390,1	109,2	139,6	1436,4	97,8	71,7	-168,3	207,1	211,3	1268,1	-42,9	-80,1	-421,6	164,1	131,2	846,6	342,0	250,8	-588,4	506,1	382,0	258,2			6,7
4	-203,7	1227,3	73,7	988,8	-41,5	28,9	676,6	-41,5	102,5	1665,4	128,4	94,1	-220,9	86,9	196,7	1444,5	20,5	-31,1	-506,1	107,4	165,6	938,4	447,7	328,3	-770,3	555,1	493,9	168,1	-6,4		
5	-161,9	1191,3	155,1	918,8	-99,6	-12,6	787,2	-99,6	142,4	1706,0	146,7	107,6	-252,5	47,2	250,0	1453,5	37,7	-16,5	-514,4	84,8	233,6	939,1	511,5	375,0	-880,0	596,3	608,6	59,1	-15,5		
6	-147,9	1179,4	182,2	895,4	-102,6	-14,8	793,1	-102,6	167,4	1688,6	152,9	112,1	-263,0	50,3	279,5	1425,6	38,1	-15,5	-509,0	88,4	264,0	916,6	535,7	392,8	-921,7	624,0	656,8	-5,1	-15,9		0,0

## Esforços Cortantes

Estado limite último

$$V_d = 1,35 \times V_g + 1,5 \times V_q$$

$$V_d = 1,00 \times V_g + 1,5 \times V_q$$

Seção	Vg	Vp		Vprot		Vrd		fadiga
		máx	mín	sup	inf	máx	mín	
0	88,21	130,19	0,00	-92,01	-83,39	230,98	-3,80	1,064
1	70,57	107,82	-2,74	-165,84	-148,57	108,43	-99,39	1,107
2	52,93	87,47	-8,05	-98,64	-88,94	113,73	-57,78	1,215
3	35,29	69,15	-16,04	-44,94	-40,93	110,43	-33,72	1,457
4	17,64	52,84	-26,29	-8,91	-8,20	94,88	-30,70	1,786
5	0,00	38,56	-38,56	0,00	0,00	57,83	-57,83	1,786

## Dimensionamento aos Cortantes

$$f_{ctk} = 0,06 \times f_{ck} + 7 = 28,0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_{wd} = V_d / (b_w \times d)$$

$$t_{wd} \leq 0,25 f_{ctd} = 0,25 \times 350 / 1,5 = 58,3 \text{ kg/cm}^2 \leq 45,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_o = 1,15 \times t_{wd}$$

$$t_c = 0,24 \times f_{ck}^{0,5} = 4,5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_d = t_o - t_c$$

$$r_{mín} = 0,14\% \times b_w \quad \text{cm}^2/\text{m}$$

Seção	Vrd	twd	td	As	As x fad	φ	esp.
0	230,98	36,2	37,2	21,4	22,7	12,5	11,0
1	108,43	17,0	15,1	8,7	9,6	12,5	26,1
2	113,73	17,8	16,0	9,2	11,2	12,5	22,3
3	110,43	17,3	15,4	8,9	12,9	12,5	19,4
4	94,88	14,9	12,6	7,3	13,0	12,5	19,3
5	57,83	9,1	5,9	3,4	6,1	12,5	41,0

### Dimensionamento dos Conectores

$$t_{ld} = V_d \cdot m_s / (b \cdot J)$$

$$t_{wd} \leq 0,20 f_{ccd} = 0,20 \times 350 / 1,5 = 46,6 \text{ kg/cm}^2$$

Seção	Vd	J	ms	b	td	As	φ	esp.
0	314,37	1,275	0,446	0,80	13,7	25,3	12,5	9,9
1	257,00	1,275	0,446	0,80	11,2	20,7	12,5	12,1
2	202,66	1,275	0,446	0,80	8,9	16,3	12,5	15,3
3	151,36	1,275	0,446	0,80	6,6	12,2	12,5	20,5
4	103,08	1,275	0,446	0,80	4,5	8,3	12,5	30,1
5	57,83	1,275	0,446	0,80	2,5	4,7	12,5	53,7

### Dimensionamento ao Cortante sem efeito da protensão

Seção	Vrd	bw	twd	td	As	As x fad	φ	esp.
0	314,37	70	17,6	15,8	25,4	27,0	12,5	9,3
1	257,00	25	40,3	41,9	24,1	26,6	12,5	9,4
2	202,66	25	31,8	32,1	18,4	22,4	12,5	11,2
3	151,36	25	23,7	22,8	13,1	19,1	12,5	13,1
4	103,08	25	16,2	14,1	8,1	14,5	12,5	17,3
5	57,83	25	9,1	5,9	3,4	6,1	12,5	41,0

**Perda por Atrito, cravação e deformação instantânea**

viga I - vão 24,50 - vão curvo  
cabos 12  $\phi$  12,7 CP-190/RB (pós tracionado) C1 a C5

- $f_{p-atrito}$  perdas por atrito
- $Df_{p-crav}$  perdas por cravação do cone de ancoragem
- $f_{p-dinst}$  perdas por deformação instantânea do concreto
- $f_p t=0$  tensão de protensão após as perdas acima
- $f_p t=?$  tensão de protensão após todas as perdas

Cabo 1			12 $\phi$ 12,7							t=0	t= inf.	$f_{pi}$ t=0	$f_{po}$ (x) t=0			$f_p$ (x) t= inf.				
Seção	$x_i$	$y_i$	a	Da	$f_{pi}$	$f_{p-atrito}$	$Df_{p-crav}$	$f_{p-crav}$	$f_{p-dinst}$	$f_p$	$f_p$	$N_{pi}$	$V_{pi}$	$M_{pi}$	$N_{po}$	$V_{po}$	$M_{po}$	$N_p$	$V_p$	$M_p$
0	0,35	0,344	6,0	0,0	146,3	146,2	-17,6	128,6	126,5	126,5	105,1	172,33	18,10	-124,08	148,99	15,65	-107,27	123,74	13,00	-89,10
1	2,73	0,120	3,0	3,0	146,3	144,0	-13,2	130,8	128,7	128,7	107,2	173,04	9,06	-163,35	152,22	7,97	-143,69	126,79	6,64	-119,69
2	5,11	0,110	0,0	6,0	146,3	141,8	-8,8	133,0	130,9	130,9	109,3	173,28	0,00	-165,31	155,01	0,00	-147,88	129,47	0,00	-123,51
3	7,49	0,110	0,0	6,0	146,3	141,1	-7,5	133,7	131,5	131,5	110,0	173,28	0,00	-165,31	155,81	0,00	-148,64	130,24	0,00	-124,25
4	9,87	0,110	0,0	6,0	146,3	140,5	-6,1	134,3	132,2	132,2	110,6	173,28	0,00	-165,31	156,60	0,00	-149,40	131,02	0,00	-124,99
5	12,25	0,110	0,0	6,0	146,3	139,8	-4,8	135,0	132,9	132,9	111,3	173,28	0,00	-165,31	157,39	0,00	-150,15	131,78	0,00	-125,72
Cabo 2			12 $\phi$ 12,7							t=0	t= inf.	$f_{pi}$ t=0	$f_{po}$ (x) t=0			$f_p$ (x) t= inf.				
Seção	$x_i$	$y_i$	a	Da	$f_{pi}$	$f_{p-atrito}$	$Df_{p-crav}$	$f_{p-crav}$	$f_{p-dinst}$	$f_p$	$f_p$	$N_{pi}$	$V_{pi}$	$M_{pi}$	$N_{po}$	$V_{po}$	$M_{po}$	$N_p$	$V_p$	$M_p$
0	0,35	0,889	17,0	0,0	146,3	146,2	-25,6	120,6	118,5	118,5	97,3	165,71	50,64	-29,00	134,21	41,01	-23,49	110,20	33,67	-19,29
1	2,73	0,336	10,0	7,0	146,3	142,0	-17,2	124,8	122,7	122,7	101,4	170,65	30,07	-124,23	143,11	25,22	-104,19	118,25	20,84	-86,09
2	5,11	0,110	0,0	17,0	146,3	136,5	-6,1	130,3	128,2	128,2	106,7	173,28	0,00	-165,31	151,87	0,00	-144,88	126,42	0,00	-120,61
3	7,49	0,110	0,0	17,0	146,3	135,8	-4,8	131,0	128,9	128,9	107,4	173,28	0,00	-165,31	152,63	0,00	-145,61	127,17	0,00	-121,32
4	9,87	0,110	0,0	17,0	146,3	135,2	-3,5	131,6	129,5	129,5	108,0	173,28	0,00	-165,31	153,40	0,00	-146,34	127,91	0,00	-122,03
5	12,25	0,110	0,0	17,0	146,3	134,5	-2,2	132,3	130,2	130,2	108,6	173,28	0,00	-165,31	154,16	0,00	-147,07	128,65	0,00	-122,73
Cabo 3			12 $\phi$ 12,7							t=0	t= inf.	$f_{pi}$ t=0	$f_{po}$ (x) t=0			$f_p$ (x) t= inf.				
Seção	$x_i$	$y_i$	a	Da	$f_{pi}$	$f_{p-atrito}$	$Df_{p-crav}$	$f_{p-crav}$	$f_{p-dinst}$	$f_p$	$f_p$	$N_{pi}$	$V_{pi}$	$M_{pi}$	$N_{po}$	$V_{po}$	$M_{po}$	$N_p$	$V_p$	$M_p$
0	0,35	1,465	21,0	0,0	146,3	146,2	-26,2	120,0	117,9	117,9	96,7	161,78	62,07	64,87	130,36	50,01	52,27	106,94	41,03	42,88
1	2,73	0,728	14,0	7,0	146,3	142,0	-17,8	124,2	122,1	122,1	100,8	168,14	41,90	-56,49	140,32	49,60	-47,15	115,84	28,87	-38,92
2	5,11	0,282	8,0	13,0	146,3	138,4	-10,6	127,8	125,7	125,7	104,3	171,59	24,10	-134,19	147,43	29,38	-115,29	122,33	17,18	-95,66
3	7,49	0,110	0,0	21,0	146,3	133,9	-1,7	132,3	130,2	130,2	108,6	173,28	0,00	-165,31	154,16	0,00	-147,06	128,64	0,00	-122,73
4	9,87	0,110	0,0	21,0	146,3	133,3	-0,4	132,9	130,8	130,8	109,2	173,28	0,00	-165,31	154,91	0,00	-147,78	129,38	0,00	-123,42
5	12,25	0,110	0,0	21,0	146,3	132,7		132,7	130,5	130,5	109,0	173,28	0,00	-165,31	154,61	0,00	-147,49	129,08	0,00	-123,14



**Cordoalhas de 1 a 3 - protensão t= 0**

Seção	Np <sub>o</sub>	Mp <sub>o</sub>	Vp <sub>o</sub>
1	413,55	-78,48	106,67
2	435,65	-295,03	82,79
3	454,30	-408,05	29,38
4	462,59	-441,31	0,00
5	464,91	-443,52	0,00
6	466,16	-444,71	0,00

**Cordoalhas de 1 a 3 - protensão t= 0**

Seção	Np <sub>i</sub>	Mp <sub>i</sub>	Vp <sub>i</sub>
1	499,82	-88,20	-130,81
2	511,82	-344,08	-81,04
3	518,15	-464,80	-24,10
4	519,83	-495,92	0,00
5	519,83	-495,92	0,00
6	519,83	-495,92	0,00

**Cordoalhas de 4 a 6 - protensão t= 0**

Seção	Np <sub>i</sub>	Mp <sub>i</sub>	Vp <sub>i</sub>
1	0,00	0,00	0,00
2	305,84	120,55	-162,52
3	324,88	-140,50	-118,18
4	340,12	-359,25	-63,01
5	346,13	-443,60	-12,08
6	346,56	-448,10	0,00

**Cordoalhas de 1 a 6 - protensão t= inf.**

Seção	Np	Mp	Vp
1	340,89	-65,50	-87,70
2	550,90	-170,55	-157,21
3	589,91	-433,11	-93,79
4	619,41	-615,68	-42,94
5	636,27	-688,48	-8,55
6	639,82	-695,20	0,00
			-92,01
			-165,84
			-98,64
			-44,94
			-8,91
			0,00
			-83,39
			-148,57
			-88,94
			-40,93
			-8,20
			0,00

**Cordoalhas de 1 a 6 - perdas prot t= inf.**

Seção	DNp	DMp	DVp
1	-158,93	22,71	43,10
2	-266,77	52,97	86,36
3	-253,12	172,19	48,50
4	-240,54	239,49	20,07
5	-229,70	251,05	3,53
6	-226,57	248,82	0,00

**Cordoalhas de 1 a 6 - perdas - prot (sup.)**

Seção	DNp	DMp	DVp
0	-143,04	20,44	38,79
1	-240,09	47,68	77,72
2	-227,81	154,97	43,65
3	-216,49	215,54	18,06
4	-206,73	225,94	3,18
5	-203,91	223,94	0,00

**Cordoalhas de 1 a 6 - perdas - prot (inf.)**

Seção	DNp	DMp	DVp
0	-174,82	24,98	47,41
1	-293,45	58,27	94,99
2	-278,44	189,41	53,35
3	-264,60	263,44	22,07
4	-252,66	276,15	3,88
5	-249,22	273,70	0,00

**Meso e Infraestrutura cargas máximas**

fck = 30,0 Mpa

**Reações da Superestrutura****Cargas Permanentes**

Apoio	V1 ton	V2 ton	V1 + V2 ton
E1	90,80	90,80	181,60
P1	181,60	181,60	363,20
P2	181,60	181,60	363,20
P3	181,60	181,60	363,20
P4	181,60	181,60	363,20
E2	90,80	90,80	181,60

**Cargas Acidentais**

Apoio	V1 ton	V2 ton	Mt tm		V1 + V2 ton	Mt total tm
			CL	W		
E1	124,54	124,54	23,04	28,89	249,08	51,93
P1	248,92	248,92	23,04	57,79	497,84	80,83
P2	248,92	248,92	23,04	57,79	497,84	80,83
P3	248,92	248,92	23,04	57,79	497,84	80,83
P4	248,92	248,92	23,04	57,79	497,84	80,83
E2	124,54	124,54	23,04	28,89	249,08	51,93

**Aparelhos de Apoio de Neoprene Fretado -**

Apoio de E1, P1, P2, P3, P4, E2

$$A n = \frac{(90800 + 124540 + (23040 + 28890) \cdot 2,60)}{1000} = 2353 \text{ cm}^2$$

42 x 70

$$\sigma_{\text{máx}} = 80,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{mín}} = 30,9 \text{ kg/cm}^2$$



### Rigidez dos Pilares -

Apoio	kp t/cm	espessura neoprene	kn t/cm	kc t/cm
E1	∞	6,0	9,80	9,80
P1	30,2	4,8	24,50	13,52
P2	30,2	4,8	24,50	13,52
P3	30,2	4,8	24,50	13,52
P4	30,2	4,8	24,50	13,52
E2	∞	6,0	9,80	9,80

Esforços Horizontais Longitudinais -

Centro Elástico da Meso estrutura

$$9,80 \cdot (50,00+x) + 13,52 \cdot (25,00+x) + 13,52 \cdot x = 13,52 \cdot (25,00-x) + 13,52 \cdot (50,00-x) + 9,80 \cdot (75,00-x)$$

$$-921 = -73,68 \cdot x \quad x = 12,50 \text{ m}$$

à direita do pilar P2

1, Retração e Temperatura

Pilar	x	Δ	Fh
E1	62,50	2,81	27,56
P1	37,50	1,69	22,81
P2	12,50	0,56	7,60
P3	12,50	0,56	7,60
P4	37,50	1,69	22,81
E2	62,50	2,81	27,56

$$\Sigma kp = 73,67 \text{ t/cm}$$

2, Frenagem ou Aceleração

Aceleração Fhv =  $0,20 \times 36,00 \times 4 = 28,80 \text{ t}$

Frenagem: Fhc =  $0,15 \times 12,00 \times 5 \times 25,00 = 225,00 \text{ t}$

Pilar	Fh
E1	29,93
P1	41,28
P2	41,28
P3	41,28
P4	41,28
E2	29,93

Somatório dos Esforços Longitudinais

Pilar	Fh
E1	57,49
P1	64,09
P2	48,89
P3	48,89
P4	64,09
E2	57,49

Distorção dos Neoprenes -

Encontros E1 = E2 -

Permanente -

$$dn = 0,51 < 0,7$$

Total -

$$dn = 0,98 < 1,2$$

Pilares P1, P2, P3 e P4 -

Permanente -

$$dn = 0,35 < 0,7$$

Total -

$$dn = 0,55 < 1,2$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Ação do vento -

1) Viaduto Carregado -

$$w = 0,100 \times (2,55 + 0,65 + 3,50) = 0,67 \text{ t/m}$$

1) Viaduto Descarregado -

$$w = 0,150 \times (2,55 + 0,65) = 0,48 \text{ t/m}$$

Pilar	linfl.	W (t)	CL (t)	W + CL
E1	12,50	8,38	7,20	15,58
P1	25,00	16,75	7,20	23,95
P2	25,00	16,75	7,20	23,95
P3	25,00	16,75	7,20	23,95
P4	25,00	16,75	7,20	23,95
E2	12,50	8,38	7,20	15,58

**Composição de Cargas para dimensionamento dos Pilares -**

**Cargas Máximas -**

1)

Apoio	Ng ton	Np ton	N g+p ton	Mt tm	W + CL ton	FI ton
E1	181,60	249,08	430,68	51,93	15,58	57,49
P1	363,20	497,84	861,04	80,83	23,95	64,09
P2	363,20	497,84	861,04	80,83	23,95	48,89
P3	363,20	497,84	861,04	80,83	23,95	48,89
P4	363,20	497,84	861,04	80,83	23,95	64,09
E2	181,60	249,08	430,68	51,93	15,58	57,49

**Meso e Infraestrutura    cargas mínimas**

fck = 30,0 Mpa

**Reações da Superestrutura****Cargas Permanentes**

Apoio	V1 ton	V2 ton	V1 + V2 ton
E1	90,80	90,80	181,60
P1	181,60	181,60	363,20
P2	181,60	181,60	363,20
P3	181,60	181,60	363,20
P4	181,60	181,60	363,20
E2	90,80	90,80	181,60

**Cargas Acidentais**

Apoio	V1 ton	V2 ton	Mt tm		V1 + V2 ton	Mt total tm
			CL	W		
E1	0,00	0,00	0,00	28,89	0,00	28,89
P1	0,00	0,00	0,00	57,79	0,00	57,79
P2	0,00	0,00	0,00	57,79	0,00	57,79
P3	0,00	0,00	0,00	57,79	0,00	57,79
P4	0,00	0,00	0,00	57,79	0,00	57,79
E2	0,00	0,00	0,00	28,89	0,00	28,89

### Aparelhos de Apoio de Neoprene Fretado -

Apoio de E1, P1, P2, P3, P4, E2

$$A_n = \frac{(90800 + 124540 + (23040 + 28890) / 2,60) / 1000}{42 \times 70} = 1019 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 34,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{mín}} = 30,9 \text{ kg/cm}^2$$

### Rigidez dos Pilares -

Apoio	kp t/cm	espessura neoprene	kn t/cm	kc t/cm
E1	$\infty$	6,0	9,80	9,80
P1	30,2	4,8	24,50	13,52
P2	30,2	4,8	24,50	13,52
P3	30,2	4,8	24,50	13,52
P4	30,2	4,8	24,50	13,52
E2	$\infty$	6,0	9,80	9,80

Esforços Horizontais Longitudinais -

Centro Elástico da Meso estrutura

$$9,80 \cdot (50,00 + x) + 13,52 \cdot (25,00 + x) + 13,52 \cdot x = 13,52 \cdot (25,00 - x) + 13,52 \cdot (50,00 - x) + 9,80 \cdot (75,00 - x)$$

$$-921 = -73,68 \cdot x$$

$$x = 12,50 \text{ m}$$

à direita do pilar P2

1, Retração e Temperatura

Pilar	x	$\Delta$	Fh
E1	62,50	2,81	27,56
P1	37,50	1,69	22,81
P2	12,50	0,56	7,60
P3	12,50	0,56	7,60
P4	37,50	1,69	22,81
E2	62,50	2,81	27,56

$$\Sigma kp = 73,67 \text{ t/cm}$$

## 2, Frenagem ou Aceleração

Aceleração:  $F_{hv} = 0,20 \times 36,00 \times 4 = 28,80 \text{ t}$   
 Frenagem:  $F_{hc}^* = 0,15 \times 12,00 \times 3 \times 25,00 = 135,00 \text{ t p/três vão carr.}$   
 $F_{hc}^{**} = 0,15 \times 12,00 \times 4 \times 25,00 = 180,00 \text{ t p/quatro vãos carr.}$

Pilar	Fh	
E1	23,95	**
P1	24,77	*
P2	24,77	*
P3	24,77	*
P4	24,77	*
E2	23,95	**

## Somatório dos Esforços Longitudinais

Pilar	Fh
E1	51,51
P1	47,58
P2	32,37
P3	32,37
P4	47,58
E2	51,51

### Distorcão dos Neoprenes -

Encontros E1 = E2 -

Permanente -

$$dn = 0,41 < 0,7$$

Total -

$$dn = 0,88 < 1,2$$

Pilares P1, P2, P3 e P4 -

Permanente -

$$dn = 0,21 < 0,7$$

Total -

$$dn = 0,40 < 1,2$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Ação do vento -

1) Viaduto Carregado -

$$w = 0,100 \times (2,55 + 0,65 + 3,50) = 0,67 \text{ t/m}$$

1) Viaduto Descarregado -

$$w = 0,150 \times (2,55 + 0,65) = 0,48 \text{ t/m}$$

Pilar	linfl.	W (t)	CL (t)	W + CL
E1	12,50	6,00	0,00	6,00
P1	25,00	12,00	0,00	12,00
P2	25,00	12,00	0,00	12,00
P3	25,00	12,00	0,00	12,00
P4	25,00	12,00	0,00	12,00
E2	12,50	6,00	0,00	6,00

**Composição de Cargas para dimensionamento dos Pilares -  
Cargas Mínimas -**

1)

Apoio	Ng ton	Np ton	N g+p ton	Mt tm	W + CL ton	FI ton
E1	181,60	0,00	181,60	6,46	6,00	51,51
P1	363,20	0,00	363,20	12,92	12,00	47,58
P2	363,20	0,00	363,20	12,92	12,00	32,37
P3	363,20	0,00	363,20	12,92	12,00	32,37
P4	363,20	0,00	363,20	12,92	12,00	47,58
E2	181,60	0,00	181,60	6,46	6,00	51,51

**Sapatas****cargas máximas**

fck = 30,0 Mpa

**Reações da Superestrutura****Cargas Permanentes**

Apoio	V1 ton	V2 ton	V1 + V2 ton
P1	181,60	181,60	363,20
P2	181,60	181,60	363,20
P3	181,60	181,60	363,20
P4	181,60	181,60	363,20

**Cargas Acidentais**

Apoio	V1 ton	V2 ton	Mt tm		V1 + V2 ton	Mt total tm
			CL	W		
P1	248,92	248,92	23,04	57,79	497,84	80,83
P2	248,92	248,92	23,04	57,79	497,84	80,83
P3	248,92	248,92	23,04	57,79	497,84	80,83
P4	248,92	248,92	23,04	57,79	497,84	80,83

**Composição de Cargas para dimensionamento dos Sapatas -****1) Cargas Máximas -**

Apoio	Ng ton	Np ton	N pilar ton	N sapata ton	Ntotal ton	Mt tm	W + CL ton	FI ton
P1	363,20	497,84	151,28	172,65	1184,97	80,83	23,95	64,09
P2	363,20	497,84	151,28	172,65	1184,97	80,83	23,95	48,89
P3	363,20	497,84	151,28	172,65	1184,97	80,83	23,95	48,89
P4	363,20	497,84	151,28	172,65	1184,97	80,83	23,95	64,09

**Peso dos Pilares -**

Apoio	altura m	Topo do pilar		Base do pilar		A topo m <sup>2</sup>	A base m <sup>2</sup>	Volume m <sup>3</sup>	Peso ton
		a	b	a	b				
P1	17	1,90	3,60	1,90	3,60	3,12	3,12	60,510	151,28
P2	17	1,90	3,60	1,90	3,60	3,12	3,12	60,510	151,28
P3	17	1,90	3,60	1,90	3,60	3,12	3,12	60,510	151,28
P4	17	1,90	3,60	1,90	3,60	3,12	3,12	60,510	151,28

Apoio	Ntotal ton	Mt tm	W + CL ton	FI ton	Vento no Pilar			base sapata	
					Área	y	W (t)	Mt	MI
P1	1184,97	80,83	23,95	64,09	32,30	8,50	3,23	564,42	1204,94
P2	1184,97	80,83	23,95	48,89	32,30	8,50	3,23	564,42	919,07
P3	1184,97	80,83	23,95	48,89	32,30	8,50	3,23	564,42	919,07
P4	1184,97	80,83	23,95	64,09	32,30	8,50	3,23	564,42	1204,94

**Tensões na base das Sapatas -**

Apoio	base da sapata		$\epsilon_l$	$\epsilon_t$	$\mu$	máx $\sigma_{solo}$ t/m <sup>2</sup>
	a	b				
P1	6,70	8,40	0,15	0,06	2,27	47,8
P2	6,70	8,40	0,12	0,06	2,08	43,8
P3	6,70	8,40	0,12	0,06	2,08	43,8
P4	6,70	8,40	0,15	0,06	2,27	47,8

**Dimensionamento das Sapatas -**

Apoio	$X_L$ tm/m	As cm <sup>2</sup> /m	$X_T$ tm/m	As cm <sup>2</sup> /m
P1	174,21	41,7	174,21	41,7
P2	159,63	38,2	159,63	38,2
P3	159,63	38,2	159,63	38,2
P4	174,21	41,7	174,21	41,7



**Sapatas****cargas mínimas**

fck = 30,0 Mpa

**Reações da Superestrutura****Cargas Permanentes**

Apoio	V1 ton	V2 ton	V1 + V2 ton
P1	181,60	181,60	363,20
P2	181,60	181,60	363,20
P3	181,60	181,60	363,20
P4	181,60	181,60	363,20

**Cargas Acidentais**

Apoio	V1 ton	V2 ton	Mt tm		V1 + V2 ton	Mt total tm
			CL	W		
P1	0,00	0,00	0,00	56,11	0,00	56,11
P2	0,00	0,00	0,00	56,11	0,00	56,11
P3	0,00	0,00	0,00	56,11	0,00	56,11
P4	0,00	0,00	0,00	56,11	0,00	56,11

**Composição de Cargas para dimensionamento dos Sapatas -****1) Cargas Mínimas -**

Apoio	Ng ton	Np ton	N pilar ton	N sapata ton	Ntotal ton	Mt tm	W + CL ton	FI ton
P1	363,20	0,00	151,28	172,65	687,13	56,11	12,00	47,58
P2	363,20	0,00	151,28	172,65	687,13	56,11	12,00	32,37
P3	363,20	0,00	151,28	172,65	687,13	56,11	12,00	32,37
P4	363,20	0,00	151,28	172,65	687,13	56,11	12,00	47,58

**Peso dos Pilares -**

Apoio	altura m	Topo do pilar		Base do pilar		A topo m <sup>2</sup>	A base m <sup>2</sup>	Volume m <sup>3</sup>	Peso ton
		a	b	a	b				
P1	17	1,90	3,60	1,90	3,60	3,12	3,12	60,510	151,28
P2	17	1,90	3,60	1,90	3,60	3,12	3,12	60,510	151,28
P3	17	1,90	3,60	1,90	3,60	3,12	3,12	60,510	151,28
P4	17	1,90	3,60	1,90	3,60	3,12	3,12	60,510	151,28

Apoio	Ntotal ton	Mt tm	W + CL ton	FI ton	Vento no Pilar			base sapata	
					Área	y	W (t)	Mt	MI
P1	687,13	56,11	12,00	47,58	32,30	8,50	3,23	315,04	894,49
P2	687,13	56,11	12,00	32,37	32,30	8,50	3,23	315,04	608,62
P3	687,13	56,11	12,00	32,37	32,30	8,50	3,23	315,04	608,62
P4	687,13	56,11	12,00	47,58	32,30	8,50	3,23	315,04	894,49

**Tensões na base das Sapatas -**

Apoio	base da sapata		$\epsilon_l$	$\epsilon_t$	$\mu$	máx $\sigma_{solo}$ t/m <sup>2</sup>
	a	b				
P1	6,70	8,40	0,19	0,05	2,49	30,4
P2	6,70	8,40	0,13	0,05	2,08	25,4
P3	6,70	8,40	0,13	0,05	2,08	25,4
P4	6,70	8,40	0,19	0,05	2,49	30,4

**Dimensionamento das Sapatas -**

Apoio	$X_L$ tm/m	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m	$X_T$ tm/m	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m
P1	110,81	26,5	110,81	26,5
P2	92,56	22,2	92,56	22,2
P3	92,56	22,2	92,56	22,2
P4	110,81	26,5	110,81	26,5

## Encontros

$$f_{ck} = 30,0 \text{ Mpa}$$

### 1. Cargas Permanentes -

#### 1.1. distribuidas -

laje em balanço -

$$((0,20 + 0,277)/2 \times 1,10) \times 2 \times 2,5 = 1,312$$

laje de fundo -

$$0,60 \times 3,60 \times 2,50 = 5,400$$

paredes -

$$0,40 \times 14,40 \times 2 \times 2,5 = 28,800$$

mureta -

$$0,20 \times 0,35 \times 4 \times 2,5 = 0,525$$

enchimento de brita -

$$2,80 \times 14,40 \times 2,2 = 88,704$$

lastro -

$$(0,52 \times 4,00) \times 2,2 = 4,576$$

$$gf = 129,317$$

#### 1.2. concentradas -

t

**alas -**

$$(0,60 + 1,90)/2 \times 2,00 \times 0,30 \times 2 \times 2,5 = 3,750$$

mureta sobre as alas -

$$0,20 \times 0,35 \times 2 \times 2,00 \times 2,5 = 0,700$$

travessa de sustentação da ala -

$$1,10 \times 1,90 \times 0,30 \times 2 \times 2,50 = 3,135$$

$$7,585$$

painel de entrada -

$$0,40 \times 2,80 \times 14,40 \times (2,5 - 2,2) = 4,838$$

painel intermediário -

$$0,40 \times 2,80 \times 13,80 \times (2,5 - 2,2) = 4,637$$

painel de apoio frontal - sob a viga do viaduto

$$(0,40 \times 2,80 \times 14,40 + 0,80 \times 3,60 \times 12,40) \times 2,5 = 129,60$$

## 2. Carga Acidental -

$$l = 20,00 \text{ m}$$

$$\text{Impacto Vertical - } f = 0,001(1600 - 60 \times l^{0,5} + 2,25 \times l) = 1,377$$

$$P = f \times 36,00 = 49,56 \text{ t}$$

$$\text{ou } q = P / 2,00 = 24,78 \text{ t/m em } 8,00 \text{ m}$$

$$p = f \times 12,00 = 16,52 \text{ t/m}$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Ação do vento -

1) Viaduto Carregado -

$$w = 0,100 \times (2,55 + 0,65 + 3,50) = 0,67 \text{ t/m}$$

1) Viaduto Descarregado -

$$w = 0,150 \times (2,55 + 0,65) = 0,48 \text{ t/m}$$

4.1. **Ordenadas de Influência - Momentos Fletores**

Seção	Área Mg	Área de Infl.		Ordenada de Infl.	
		S máx.	S mín.	Y máx.	Y mín.
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	18,000	18,000	0,000	0,000	0,000
2	32,000	32,000	0,000	0,000	0,000
3	42,000	42,000	0,000	0,000	0,000
4	48,000	48,000	0,000	0,000	0,000
5	50,000	50,000	0,000	0,000	0,000

Momentos Fletores -

Seção	M <sub>gf</sub>	M <sub>p</sub>		M <sub>total</sub>	
		máx	mín	máx	mín
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2327,70	446,04	0,00	2773,74	2327,70
3	4138,14	792,96	0,00	4931,10	4138,14
4	5431,30	1040,76	0,00	6472,07	5431,30
5	6207,20	1189,44	0,00	7396,65	6207,20
6	6465,84	1239,00	0,00	7704,84	6465,84

**Dimensionamento**

4.3. **Momentos Positivos**  $h = 1000$  cm

viga parede

Seção	fad.	máx Md	bw	As	As x fad.
1	1,000	0,00	80	0,0	0,0
2	1,000	3811,46	80	120,0	120,0
3	1,000	6775,93	80	160,4	160,4
4	1,000	8893,41	80	212,4	212,4
5	1,000	10163,89	80	244,0	244,0
6	1,000	10587,39	80	254,6	254,6

4.5. **Ordenadas de Influência - Esforços Cortantes**

Seção	Área Vg	Área de Infl.		Ordenada de Infl.	
		S máx.	S mín.	Y máx.	Y mín.
1	10,000	10,000	0,000	0,000	0,000
2	8,000	8,100	-0,100	0,000	0,000
3	6,000	6,400	-0,400	0,000	0,000
4	4,000	4,900	-0,900	0,000	0,000
5	2,000	3,600	-1,600	0,000	0,000
6	0,000	2,500	-2,500	0,000	0,000

4.6. **Esforços Cortantes**

Estado limite último

$$V_d = 1,35 \times V_g + 1,5 \times V_q$$

$$V_d = 1,00 \times V_g + 1,5 \times V_q$$

Seção	V <sub>gf</sub>	V <sub>p</sub>		V <sub>g+p</sub>		fadiga
		máx	mín	máx	mín	
1	1293,17	247,80	0,00	1540,97	1293,17	1,000
2	1034,53	200,72	-2,48	1235,25	1032,06	1,000
3	775,90	158,59	-9,91	934,49	765,99	1,000
4	517,27	121,42	-22,30	638,69	494,96	1,000
5	258,63	89,21	-39,65	347,84	218,99	1,000
6	0,00	61,95	-61,95	61,95	-61,95	1,786

**Esforços Cortantes**

Seção	V <sub>d</sub>	
	máx	mín
1	2117,48	1293,17
2	1697,70	1030,82
3	1285,35	761,03
4	880,44	483,81
5	392,45	289,68
6	92,93	-92,93

### Dimensionamento aos Cortantes

$$f_{ctk} = 0,06 \times f_{ck} + 7 \text{ kgf/cm}^2 = 22,0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_{wd} = V_d / (b_w \times d)$$

$$t_{wd} \leq 0,25 f_{ctd} = 0,25 \times 250 / 1,5 = 41,7 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_o = 1,15 \times t_{wd}$$

$$t_c = 0,33 \times f_{ck}^{0,5} = 5,2 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_d = t_o - t_c$$

$$r_{\min} = 0,14\% \times b_w = 0,14 \times b_w \quad A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$b_w = 40 \quad 5,6$$

Seção	$b_w$	$V_d$	$t_{wd}$	$t_o$	$A_s$	$A_s \times \text{fad}$
	(cm)	(t)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)
1	40	1058,74	37,1	37,5	34,5	34,5
2	40	848,85	29,8	29,0	26,7	26,7
3	40	642,68	22,6	20,7	19,1	19,1
4	40	440,22	15,4	12,5	11,5	11,5
5	40	196,22	6,9	0,0	5,6	5,6
6	40	46,46	1,6	0,0	5,6	10,0

Seção	$\phi$	esp.
	(mm)	(cm)
1	2 x 16	12
2	2 x 16	15
3	2 x 16	21
4	2 x 16	35
5	2 x 16	71
6	2 x 16	40

2.	Intermediária		=	0,000
	g <sub>o</sub>		=	0,000
	Laje -	$(0,25+0,31)/2 \times 4,40 / 2 \times 2,5$	=	1,540
	Laje Central Premoldada -	0,08 x 1,00 x 2,5	=	0,200
	Laje lateral -	0,70x0,25x2,5	=	0,438
			gi	= 2,178
3.	Final			
	g <sub>i</sub>		=	2,178
	Muretas -	$(2 \times 0,20 \times 0,35) \times 2,5$	=	0,350
	Guarda-corpo -		=	0,200
	Laje Lateral Premoldada -	0,08 x 0,50 x 2,5	=	0,100
	Lastro -	$0,52 \times 4,00 / 2 \times 2,2$	=	2,288
			gf	= 5,116



### Laje de Fundo -

espessura = 60 cm

dimensões em planta

lx = 490 cm

ly = 320 cm

			t/m <sup>2</sup>
peso próprio =	0,60 x 2,5	=	1,50
enchimento com brita =	14,40 x 2,2	=	31,68
carga acidental =	18,00 / 3,20	=	5,63

Mx = 13172 kgm / m

As = 9,0 cm<sup>2</sup> / m  $\phi$  12,5 c/ 10 cm

My = 30883 kgm / m

As = 19,6 cm<sup>2</sup> / m  $\phi$  16 c/ 10 cm

### Laje em balanço do tabuleiro do encontro -

1.1	Carga Permanente -		tm/m
	guarda-corpo	0,200 x 1,25	= -0,250
	mureta externa	0,20 x 0,35 x 2,5 x 1,20	= -0,210
	mureta interna	0,20 x 0,35 x 2,5 x 0,50	= -0,088
	laje	0,20 x 1,30 x 2,5 x 1,30 / 2	= -0,423
		0,10 x 1,30 / 2 x 2,5 x 1,30 / 3	= -0,070
	laje passeio	0,10 x 0,50 x 2,5 x 0,85	= -0,106
	pavimento	0,65 x 0,40 x 2,2 x 0,40 / 2	= -0,114
		Xg <sub>1</sub>	= -1,261

### 1.2 Carga Acidental -

impacto vertical: l = 1,30 m

f = 1,535

veículo -

Xp<sub>1</sub> = (1,535 x 36,00 / 2,00 / 4,00) x 0,40<sup>2</sup> / 2 = -0,553

### 1.3 Dimensionamento -

fck = 35 Mpa  
aço CA-50

X = -1,814 tm/m

As = 4,5 cm<sup>2</sup> / m  $\phi$  10 c/ 10 cm

### Paredes -

$$\begin{array}{l} \text{espessura} = 40 \text{ cm} \\ a \quad l_x = 450 \text{ cm} \\ b \quad l_y = 1440 \text{ cm} \end{array}$$

Empuxo da brita interna -

$$e_a = 0,6 \times 14,40 = 8,64 \text{ t/m}^2$$

Empuxo devido a sobrecarga do trem -

$$q = 36,00 / 2,00 / 3,40 = 5,29 \text{ t/m}^2$$

$$e_v = 0,6 \times (5,29 / 1,8) = 1,76 \text{ t/m}^2$$

$$b / a = 14,40 / 4,90 = 2,94$$

Momentos devido ao  $e_a$

$$M_x = 8,64 \times 4,90^2 \times 0,0708 = 14,69 \text{ tm / m}$$

$$M_y = 8,64 \times 14,40^2 \times 0,0035 = 6,27 \text{ tm / m}$$

Momentos devido ao  $e_v$

$$M_x = 1,76 \times 4,90 \times 14,40 \times 0,080 = 9,93 \text{ tm / m}$$

$$M_y = 1,76 \times 4,90 \times 14,40 \times 0,033 = 4,10 \text{ tm / m}$$

Somatório

$$M_x = 24,622 \text{ tm / m} \quad A_s = 24,8 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$M_y = 10,369 \text{ tm / m} \quad A_s = 10,0 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

## Sapatas dos Encontros E1 e E2 -

### Esforços atuantes no encontro provenientes do viaduto -

Esforços longitudinais -

$$F_h = 57,49 \text{ t}$$

Esforços Horizontais Transversais -

Ação do vento -

$$W = 8,38 \text{ t}$$

Esforços Verticais -

$$N_g = 181,60 \text{ t}$$

$$N_p = 249,08 \text{ t}$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

### Reações nas sapatas junto ao viaduto, devido ao encontro -

$$N_g = 129,060 + 129,317 \times 20,00 / 2 + 3 \times 4,637 / 2 = 1429,19 \text{ t}$$

$$N_p = 16,52 \times 1,000 \times 20,00 / 2 = 165,20 \text{ t}$$

### Reações nas sapatas extremas, devido ao encontro -

$$N_g = 4,838 + 7,585 + 129,317 \times 20,00 / 2 + 3 \times 4,637 / 2 = 1312,55 \text{ t}$$

$$N_p = 49,56 \times (1,000 + 0,900 + 0,800 + 0,700) + 16,52 \times 0,650 \times 13,00 / 2 = 238,30 \text{ t}$$

### Esforços Horizontais longitudinais atuantes no encontro -

Frenagem -

$$F_h = 0,15 \times 12,00 \times 20,00 = 36,00 \text{ t}$$

Empuxo de terra -

$$E = 0,60 \times (1,90 \times 1,90 \times 1,60 + 15,00 \times 15,00 \times 3,60) / 2 = 244,73 \text{ t}$$

aplicados a 5,06 m da base do encontro

### Esforços Horizontais transversais atuantes no encontro -

Ação do vento -

Viaduto Carregado -

$$W = 0,67 \times 20,00 = 13,40 \text{ t}$$

## Composição dos esforços atuantes nas Sapatas -

### Esforços na sapata extrema -

Trav. s/ sapatas	=	5,40	1,80	4,00	m			
dimensão base	=	6,20	m					
		9,80	m					
altura da base	=	1,50	m					
		0,70	m					
peso da travessa	=	97,20	t			As	Ai	Vsap
peso da base	=	233,04	t			12,760	60,76	93,214
Ng =	1429,19					=	1429,19	t
Np =	165,20					=	165,20	t
máx N <sub>Fh</sub> =	(57,49x13,40 + 36,00x15,00 + 244,73x5,06)/20,00					=	127,43	t
mín N <sub>Fh</sub> =	(-57,49x13,40 - 36,00x15,00 + 244,73x5,06)/20,00					=	-3,60	t
Fh =	57,49 / 2 + 36,00 / 2 + 244,73 / 2					=	169,11	t
Ft =	7,20 + 13,40 / 2					=	13,90	t

### Esforços na sapata extrema - tensões na base -

#### Cargas Máximas -

Ng =	1429,19 + 97,20 + 233,04	=	1759,43	t
Np =	165,20 + 249,08	=	414,29	t
M l =	169,11 x 6,20	=	1048,48	t.m
M t =	13,90 x (15,65 + 6,20)	=	303,715	t.m
e l =	0,08			
e t =	0,01			
μ =	1,54			
máx σ =	55,1 t / m <sup>2</sup>			

### Cargas Mínimas -

$$\begin{aligned} N_g &= 1429,19 + 97,20 + 233,04 &= 1759,43 \text{ t} \\ N_p &= -3,60 &= -3,60 \text{ t} \\ M_l &= (57,49/2 + 244,73/2) \times 6,20 &= 936,88 \text{ t.m} \\ M_t &= 13,40/2 \times (15,65 + 6,20) &= 146,40 \text{ t.m} \\ e_l &= 0,09 \\ e_l &= 0,01 \\ \mu &= 1,60 \\ \text{máx } \sigma &= 46,2 \text{ t / m}^2 \end{aligned}$$

### Dimensionamento -

vamos dimensionar para a  $\text{máx } \sigma_{\text{solo}} = 46,2 \text{ t/m}^2$

$$\begin{aligned} X_{A-A} &= 1530,33 \text{ tm} \\ F_{td} &= 1304,26 \text{ t} \\ A_s &= 300,0 \text{ cm}^2 & 100 \phi 20 \\ \\ X_{B-B} &= 725,05 \text{ tm} \\ F_{td} &= 617,94 \text{ t} \\ A_s &= 142,1 \text{ cm}^2 & 32 \phi 20 \end{aligned}$$

## Composição dos esforços atuantes nas Sapatas -

### Esforços na sapata junto ao viaduto -

Trav. s/ sapatas	=	5,40	1,80	4,00	m			
dimensão base	=	6,20	m					
		9,80	m					
altura da base	=	1,50	m					
		0,70	m					
peso da travessa	=	97,20	t			As	Ai	Vsap
peso da base	=	233,04	t			12,760	60,76	93,214

$$N_g = 1312,55 + 97,20 + 233,04 = 1642,79 \text{ t}$$

$$N_p = 238,30 = 238,30 \text{ t}$$

$$\text{máx } N_{Fh} = (57,49 \times 13,40 + 36,00 \times 15,00) / 20,00 = 65,52 \text{ t}$$

$$\text{mín } N_{Fh} = -(57,49 \times 13,40 + 36,00 \times 15,00 - 244,73 \times 5,06) / 20,00 = -127,43 \text{ t}$$

$$F_h = 57,49 / 2 + 36,00 / 2 + 244,73 / 2 = 169,11 \text{ t}$$

$$F_t = 7,20 + 13,40 / 2 = 13,90 \text{ t}$$

### Esforços na sapata junto ao viaduto - tensões na base -

#### Cargas Máximas -

$$N_g = 1642,79 + 97,20 + 233,04 = 1973,03 \text{ t}$$

$$N_p = 238,30 + 65,52 = 303,82 \text{ t}$$

$$M_l = 169,11 \times 6,20 = 1048,48 \text{ t.m}$$

$$M_t = 13,90 \times (15,65 + 6,20) = 303,715 \text{ t.m}$$

$$e_l = 0,07$$

$$e_l = 0,01$$

$$\mu = 1,48$$

$$\text{máx } \sigma = 55,5 \text{ t / m}^2$$

### Cargas Mínimas -

$$\begin{aligned} N_g &= 1642,79 + 97,20 + 233,04 &= & 1973,03 \text{ t} \\ N_p &= -127,43 &= & -127,43 \text{ t} \\ M_l &= (57,49/2 + 244,73/2) \times 6,20 &= & 936,88 \text{ t.m} \\ M_t &= 13,40/2 \times (15,65 + 6,20) &= & 146,40 \text{ t.m} \\ e_l &= 0,08 \\ e_l &= 0,01 \\ \mu &= 1,54 \\ \text{máx } \sigma &= 46,8 \text{ t / m}^2 \end{aligned}$$

### Dimensionamento -

vamos dimensionar para a  $\text{máx } \sigma_{\text{solo}} = 46,8 \text{ t/m}^2$

$$\begin{aligned} X_{A-A} &= 1550,20 \text{ tm} \\ F_{td} &= 1321,20 \text{ t} \\ A_s &= 303,9 \text{ cm}^2 && 100 \phi 20 \\ \\ X_{B-B} &= 734,47 \text{ tm} \\ F_{td} &= 625,97 \text{ t} \\ A_s &= 144,0 \text{ cm}^2 && 42 \phi 20 \end{aligned}$$

## **Tubulões do Encontro E1 -**

### **Esforços atuantes no encontro provenientes do viaduto -**

Esforços longitudinais -

$$F_h = 61,21 \text{ t}$$

Esforços Horizontais Transversais -

Ação do vento -

$$W = 12,25 \text{ t}$$

Esforços Verticais -

$$N_g = 234,40 \text{ t}$$

$$N_p = 254,13 \text{ t}$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 27,00 = 5,4 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

### **Reações nos tubulões junto ao viaduto, devido ao encontro -**

$$N_g = 114,040 + 125,39 \times 20,00 / 2 + 3 \times 4,471 / 2 = 1374,65 \text{ t}$$

$$N_p = 12,39 \times 1,000 \times 20,00 / 2 = 123,90 \text{ t}$$

### **Reações nos tubulões extremos, devido ao encontro -**

$$N_g = 4,666 + 6,135 + 125,39 \times 20,00 / 2 + 3 \times 4,471 / 2 = 1271,41 \text{ t}$$

$$N_p = 37,17 \times (1,000 + 0,900 + 0,800 + 0,700) + 12,39 \times 0,650 \times 13,00 / 2 = 178,73 \text{ t}$$

### **Esforços Horizontais longitudinais atuantes no encontro -**

Frenagem -

$$F_h = 0,15 \times 9,00 \times 20,00 = 27,00 \text{ t}$$

Empuxo de terra -

$$E = 0,60 \times (1,90 \times 1,90 \times 0,80 + 15,00 \times 15,00 \times 3,50) / 2 = 237,12 \text{ t}$$

aplicados a 5,03 m da base do encontro

### **Esforços Horizontais transversais atuantes no encontro -**

Ação do vento -

Viaduto Carregado -

$$W = 0,53 \times 20,00 = 10,60 \text{ t}$$



## Composição dos esforços atuantes nos Tubulões -

### Esforços nos tubulões extremos -

Trav. s/ tubulões	=	6,30	2,00	2,00	m			
Altura do fuste	=	4,50	m					
diâmetro do fuste	=	1,80	m					
diâmetro da base	=	4,00	m					
altura da base	=	1,90	m					
		0,40	m					
peso da travessa	=	63,00	t			Af	Ab	Vb
peso do fuste	=	28,61	t			2,543	12,56	18,169
peso da base	=	45,42	t					

$$N_g = 1271,41 = 1271,41 \text{ t}$$

$$N_p = 178,73 = 178,73 \text{ t}$$

$$\text{máx } N_{Fh} = (61,21 \times 11,80 + 27,00 \times 15,00) / 20,00 = 56,36 \text{ t}$$

$$\text{mín } N_{Fh} = -(61,21 \times 11,80 + 27,00 \times 15,00 + 237,12 \times 5,03) / 20,00 = -116,00 \text{ t}$$

$$F_h = 61,21 / 2 + 27,00 / 2 + 237,12 / 2 = 162,67 \text{ t}$$

$$F_t = 5,40 + 10,60 / 2 = 10,70 \text{ t}$$

### Esforços por tubulão extremo - no fuste -

#### Cargas Máximas -

$$N_g = (1271,41 + 63,00) / 2 + 28,61 = 695,82 \text{ t}$$

$$N_p = 178,73 / 2 + 56,36 / 2 + 10,70 \times 15,40 / 4,30 = 155,87 \text{ t}$$

$$N_d = 1,35 \times 695,82 + 1,5 \times 155,87 = 1156,66 \text{ t}$$

$$M_d = 1,5 \times ((162,67 / 2 \times 4,50)^2 + (10,70 / 2 \times 4,50)^2)^{0,5} = 550,20 \text{ t.m}$$

$$v_1 = 0,25$$

$$v_1 \times \eta = 0,075$$

$$\omega = 0,04$$

$$\rho = 0,80 \%$$

$$A_s = 203,5 \text{ cm}^2$$

### Cargas Mínimas -

$$\begin{aligned} N_g &= (1271,41 + 63,00) / 2 + 28,61 &= & 695,82 \text{ t} \\ N_p &= - 116,00 / 2 - 10,70 \times 15,40 / 4,30 &= & -96,32 \text{ t} \\ N_d &= 1,00 \times 695,82 - 1,5 \times 96,32 &= & 551,34 \text{ t} \\ M_d &= 1,5 \times ((162,67/2 \times 4,50)^2 + (10,70/2 \times 4,50)^2)^{0,5} &= & 550,20 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_1 &= 0,12 \\ v_1 \times \eta &= 0,071 \\ \omega &= 0,12 \\ \rho &= 0,80 \% \\ A_s &= 203,5 \text{ cm}^2 && 40 \phi 25 \quad \text{CA-50} \end{aligned}$$

### Esforços por tubulão extremo - tensões na base -

#### Cargas Máximas -

$$\begin{aligned} N_g &= (1271,41 + 63,00) / 2 + 28,61 + 45,42 &= & 741,24 \text{ t} \\ N_p &= 178,73/2 + 56,36/2 + 10,70 \times 15,40/4,30 &= & 155,87 \text{ t} \\ M &= ((155,87/2 \times 6,80)^2 + (10,70/2 \times 6,80)^2)^{0,5} &= & 531,21 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a / r &= 0,30 \\ \mu &= 2,23 \\ \text{máx } \sigma &= 159,3 \text{ t / m}^2 \end{aligned}$$

#### Cargas Mínimas -

$$\begin{aligned} N_g &= (1271,41 + 63,00) / 2 + 28,61 + 45,42 &= & 741,24 \text{ t} \\ N_p &= - 116,00 / 2 - 10,70 \times 15,40 / 4,30 &= & -96,32 \text{ t} \\ M &= ((162,67/2 \times 6,80)^2 + (10,70/2 \times 6,80)^2)^{0,5} &= & 554,27 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a / r &= 0,43 \\ \mu &= 2,97 \\ \text{máx } \sigma &= 152,5 \text{ t / m}^2 \end{aligned}$$

### Travessa sobre Tubulões -

$$N_g = (1271,41 + 63,00) / 2 = 667,21 \text{ t}$$

$$N_p = 178,73/2 + 56,36/2 + 10,70 \times 15,40/4,30 = 155,87 \text{ t}$$

$$N_d = 1,35 \times 667,21 + 1,5 \times 155,87 = 1134,54 \text{ t}$$

$$M_d = 1134,54 \times 0,90 = 1021,09 \text{ t.m}$$

$$A_s = 130,5 \text{ cm}^2 \quad \text{CA-50}$$

$$V_d = = 1134,54 \text{ t}$$

$$t_{wd} = V_d / (b_w \times d) = 28,4 \text{ kgf/cm}^2$$

Vamos absorver 60% do cortante com estribos à 60°

$$V_d = 0,60 \times 1134,54 = 680,72 \text{ t}$$

$$A_s = 71,4 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \text{CA-50}$$

φ 12,5 triplo c/ 10 cm

Vamos absorver 40% do cortante com estribos verticais

$$V_d = 0,40 \times 1134,54 = 453,82 \text{ t}$$

$$A_s = 54,9 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \text{CA-50}$$

φ 16 duplo c/ 14 cm

## Composição dos esforços atuantes nos Tubulões -

### Esforços nos tubulões junto ao viaduto -

Trav. s/ tubulões	=	7,00	2,40	2,00	m			
Altura do fuste	=	7,90	m					
diâmetro do fuste	=	1,80	m					
diâmetro da base	=	4,70	m					
altura da base	=	2,10	m					
		0,40	m					
peso da travessa	=	84,00	t			Af	Ab	Vb
peso do fuste	=	50,23	t			2,543	17,341	25,504
peso da base	=	63,76	t					

$$N_g = 1609,06 + 114,04 = 1723,10 \text{ t}$$

$$N_p = 254,13 + 123,90 = 378,03 \text{ t}$$

$$\text{máx } N_{Fh} = (61,21 \times 11,80 + 27,00 \times 15,00 + 237,12 \times 5,03) / 20,00 = 116,00 \text{ t}$$

$$\text{mín } N_{Fh} = -(61,21 \times 11,80 + 27,00 \times 15,00) / 20,00 = -56,36 \text{ t}$$

$$F_h = 61,21 / 2 + 27,00 / 2 + 237,12 / 2 = 162,67 \text{ t}$$

$$F_t = 5,40 + 10,60 / 2 + 12,25 = 22,95 \text{ t}$$

### Esforços por tubulão junto ao viaduto - no fuste -

#### Cargas Máximas -

$$N_g = (1723,10 + 70,00) / 2 + 50,23 = 946,78 \text{ t}$$

$$N_p = 378,03 / 2 + 116,00 / 2 + 22,95 \times 15,40 / 4,90 = 319,14 \text{ t}$$

$$N_d = 1,35 \times 946,78 + 1,5 \times 319,14 = 1735,41 \text{ t}$$

$$M_d = 1,5 \times ((162,67/2 \times 7,90)^2 + (22,95/2 \times 7,90)^2)^{0,5} = 973,36 \text{ t.m}$$

$$v_1 = 0,38$$

$$v_1 \times \eta = 0,130$$

$$\omega = 0,30$$

$$\rho = 0,98 \%$$

$$A_s = 248,7 \text{ cm}^2$$

Cargas Mínimas -

$$\begin{aligned} N_g &= (1723,10 + 70,00) / 2 + 50,23 &= & 946,78 \text{ t} \\ N_p &= - 56,36 / 2 - 22,95 \times 15,40 / 4,90 &= & -100,31 \text{ t} \\ N_d &= 1,00 \times 946,78 - 1,5 \times 100,31 &= & 796,32 \text{ t} \\ M_d &= 1,5 \times ((162,67/2 \times 7,90)^2 + (22,95/2 \times 7,90)^2)^{0,5} &= & 973,36 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_1 &= 0,17 \\ v_1 \times \eta &= 0,124 \\ \omega &= 0,34 \\ \rho &= 1,11 \% \\ A_s &= 281,8 \text{ cm}^2 && 56 \phi 25 \quad \text{CA-50} \end{aligned}$$

**Esforços por tubulão junto ao viaduto - tensões na base -**

Cargas Máximas -

$$\begin{aligned} N_g &= (1723,10 + 70,00) / 2 + 50,23 + 63,76 &= & 1010,54 \text{ t} \\ N_p &= 319,40 / 2 + 116,00 / 2 + 22,95 \times 15,40 / 4,90 &= & 289,83 \text{ t} \\ M &= ((162,67/2 \times 10,40)^2 + (22,95/2 \times 10,40)^2)^{0,5} &= & 854,26 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a / r &= 0,28 \\ \mu &= 2,38 \\ \text{máx } \sigma &= 178,5 \text{ t / m}^2 \end{aligned}$$

Cargas Mínimas -

$$\begin{aligned} N_g &= (1723,10 + 70,00) / 2 + 50,23 + 63,76 &= & 1010,54 \text{ t} \\ N_p &= - 56,36 / 2 - 22,95 \times 15,40 / 4,90 &= & -100,31 \text{ t} \\ M &= ((162,67/2 \times 10,40)^2 + (22,95/2 \times 10,40)^2)^{0,5} &= & 854,26 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a / r &= 0,40 \\ \mu &= 2,76 \\ \text{máx } \sigma &= 144,9 \text{ t / m}^2 \end{aligned}$$

### Travessa sobre Tubulões -

$$N_g = (1723,10 + 84,00) / 2 = 903,55 \text{ t}$$

$$N_p = 378,03/2 + 162,67/2 + 22,95 \times 15,40/4,90 = 342,48 \text{ t}$$

$$N_d = 1,35 \times 903,55 + 1,5 \times 342,48 = 1733,51 \text{ t}$$

$$M_d = 1719,34 \times 1,40 = 2407,08 \text{ t.m}$$

$$A_s = 337,3 \text{ cm}^2 \quad \text{CA-50}$$

$$V_d = \quad \quad \quad = 1733,51 \text{ t}$$

$$t_{wd} = V_d / (b_w \times d) = 36,1 \text{ kgf/cm}^2$$

Vamos absorver 60% do cortante com estribos à 60°

$$V_d = 0,60 \times 1733,51 = 1040,11 \text{ t}$$

$$A_s = 109,0 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{CA-50}$$

φ 16 triplo c/ 11 cm

Vamos absorver 40% do cortante com estribos verticais

$$V_d = 0,40 \times 1733,51 = 693,41 \text{ t}$$

$$A_s = 83,9 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{CA-50}$$

φ 16 duplo c/ 10 cm