

PROJETO EXECUTIVO PARA A REURBANIZAÇÃO E INTERVENÇÃO VIÁRIA DO ACESSO AO BAIRRO CAMBOINHAS

MUNICÍPIO DE NITERÓI

MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO ESTRUTURAL

1- CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA DO EIXO 200 TRECHO PILAR P2-P3

A estrutura em seção transversal é constituída por 6 vigas protendidas com 0,85m de altura espaçadas de 1,95m, 2,10m e 2,30m, com dois balanços com 0,95m totalizando 12,30m de

1.1- Características dos materiais

Concreto da laje superior	fck=	30 MPa	fctk=	2,5 MPa
Concreto da viga	fck=	45 MPa	fctk=	3,4 MPa
Cocreto da mesoestrutura	fck=	30 MPa		
Aço CA50A	fyk=	500 MPa		
Aço CP210RB12.7	fyk=	2100 MPa		
Ec laje=	3,07E+07 kN/m ²			
Ec viga=	3,76E+07 kN/m ²			
Es CA50=	2,1E+08 kN/m ²			
Es CP210=	1,95E+08 kN/m ²			
		CPV-ARI		
		α_5 =	5,95	
		α_{15} =	5,38	$\alpha_{adotado}$ = 5,51
		α_{28} =	5,19	
		α_{med} =	5,51	

fct,m = 0,3 fck ^{2/3} =	3,796 MPa	$\sigma_{tração}$ = 1,2 fctm =	4555,11	kN/m ²
fctk,inf = 0,7x fct,m =	2,657 MPa	$\sigma_{tração}$ = 1,2 fctm =	3188,58	kN/m ²
fctk,sup = 1,3x fct,m =	3,454 MPa	$\sigma_{tração}$ = 1,2 fctm =	4145,15	kN/m ²

A relação β_1 entre as resistências do concreto aos j dias e aos 28 dias (fck) é dada pela fórmula:

$$\beta_1 = \exp\{s [1-(28/t)^{1/2}]\} =$$

Para o concreto com cimento CPV-ARI, s = 0,20 daí para t =

5	0,761	34,24 MPa
15	0,929	41,82 MPa
28	1,000	45,00 MPa

Para as idades especificadas temos:

	Dias	Ecj =	fctj,m =	$\sigma_{tração}$ =
CPV-ARI	5	3,28E+07 kN/m ²	3163,66 kN/m ²	3796,39 kN/m ²
	15	3,62E+07 kN/m ²	3615,00 kN/m ²	4338,00 kN/m ²
	28	3,76E+07 kN/m ²	3795,93 kN/m ²	4555,11 kN/m ²

Levaremos em consideração as seguintes resistências de compressão do concreto:

Resistência na desforma em 24/30 horas, f_{ck} = 28,00 MPa

Resistência no transporte em 72 horas. F_{ck} = 35,00 MPa

Resistência por ocasião da 2ª protensão, f_{ck} = 35,00 MPa

Resistência no manuseio e lançamento, f_{ck} = 45,00 MPa

2 - Normas Técnicas

Foram usadas neste memorial as seguintes normas técnicas:

NBR-6118 Projetos e execução de concreto

NBR-7187 Projeto de pontes de concreto armado e protendido

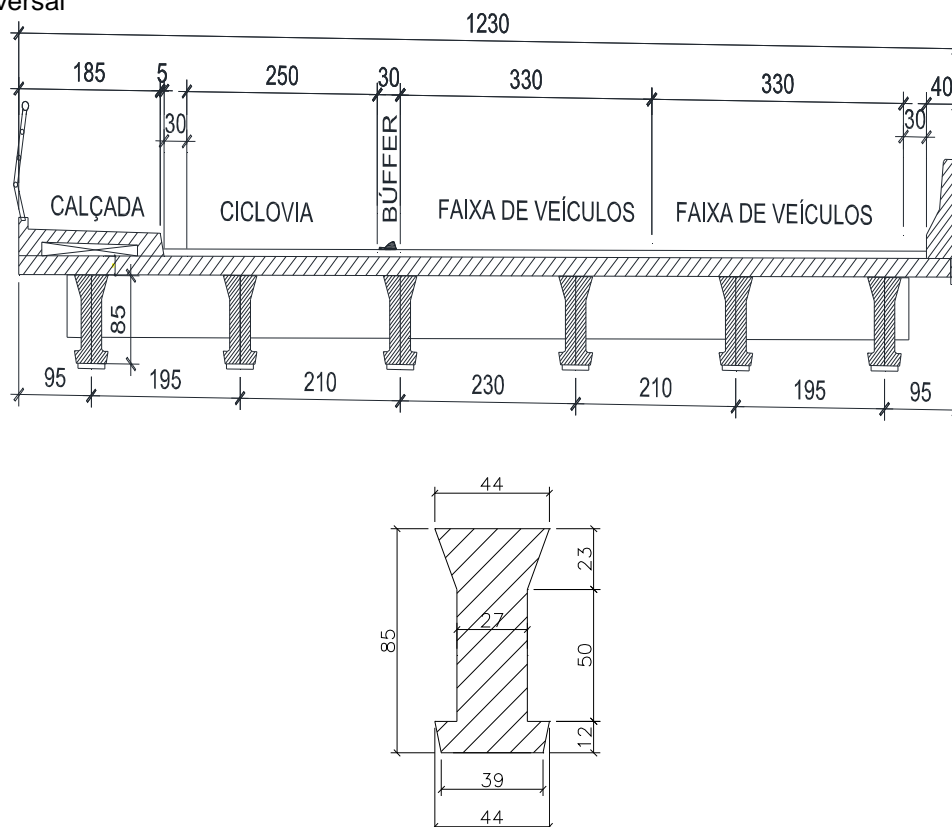
NBR-7188 Carga móvel em pontes rodoviária e passarela de pedestre.

3 - Geometria

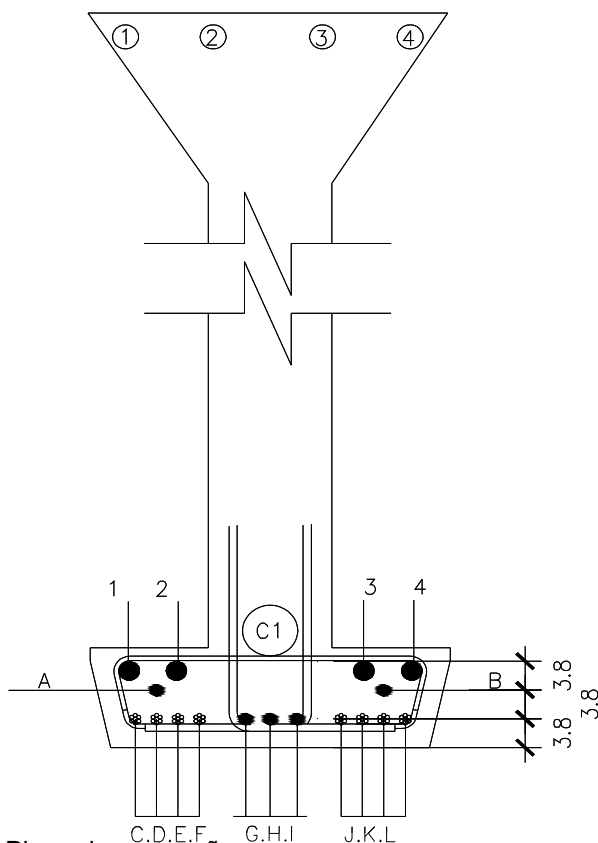
3.1 - Seção longitudinal

Comprimento total da viga = 22,25 m

Seção transversal



3.2 Configuração da seção plena



Talão superior			
Posição		Ø(mm)	As(cm²)
1-4	4	16	8,0
2-3	0	20	0,0
Talão inferior			
Posição		Ø(mm)	
1-4	2	32	16,084
2-3	0	25	0,000
C1	12	12,7	12,168
A-B	2	12,7	2,028
C-M	2	12,7	2,028
D-L	2	12,7	2,028
E-K	2	12,7	2,028
F-J	2	12,7	2,028
G-I	2	12,7	2,028
H	2	12,7	2,028
Numero de cordoalhas =			12
Numero de cordoalhas na pista =			14

4 - Plano de protensão.

- A primeira fase de protensão, será aplicada na fábrica aos 3 dias de idade, através de 14 cordoalhas pré tensionadas $\varnothing = 12,7$ mm, na tensão inicial de protensão de 157,5 kN/cm². A seção transversal será homogenizada considerando a presença de 4 barras de aço CA50 com $\varnothing = 16$ mm no talão superior da viga e no talão inferior com 2 barras de aço CA50 com $\varnothing = 32$ mm.
- A 2ª protensão através de 12 cordoalhas $\varnothing = 12,7$ mm na tensão 157,5 kN/cm².

5 - Características geométricas

5.1 - Viga isolada

	Lsi	Lii	hi	yi	S	S x yi	s x yi**2	Jo
1	0,44	0,27	0,230	0,744	0,082	0,0259	0,0082	0,0004
2	0,27	0,27	0,100	0,570	0,027	0,0039	0,0006	0,0000
3	0,27	0,27	0,100	0,470	0,027	0,0012	0,0001	0,0000
4	0,27	0,27	0,300	0,270	0,081	-0,0127	0,0020	0,0006
5	0,44	0,39	0,120	0,061	0,050	-0,0182	0,0067	0,0001
			0,850		0,2665	0,0000	0,0175	0,0011

Área= 0,2665 m² y i CG= 0,4269 m W i= 0,0434 m³
 Inercia= 0,0185 m⁴ ys CG= 0,4231 m Ws= 0,0438 m³

5.2- Características da viga homogenizada

A seção será homogenizada em função da presença de barras de aço CA50, conforme quantidades e posicionamento e cordoalhas do talão inferior.

Assim:

Talão superior

Pos	As(cm²)	Asα(m²)	y	Asα.y
1-4	8,04	0,0044	0,825	0,0037
2-3	0,00	0,0000		
Σ	8,04	0,0044		

$$\Sigma As\alpha.y = 0,0058 \text{ m}^2$$

$$\Sigma As\alpha. = 0,0278 \text{ m}^2$$

$$y = 0,2089 \text{ m}$$

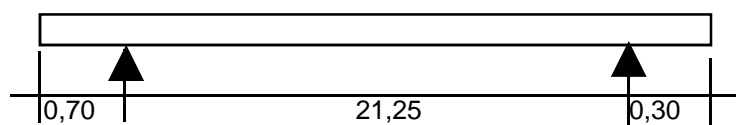
Talão inferior

Pos	As(cm²)	Asα(m²)	y	Asα.y
1-4	16,08	0,009	0,100	0,001
2-3	0,00	0,000	0,100	0,000
A-B	2,03	0,0011	0,0750	0,00008
C-M	2,03	0,0011	0,0420	0,00005
D-L	2,03	0,0011	0,0420	0,00005
E-K	2,03	0,0011	0,0420	0,00005
F-J	2,03	0,0011	0,0420	0,00005
G-I	2,03	0,0011	0,0420	0,00005
H	2,03	0,0011	0,0420	0,00005
C1	12,17	0,0067	0,1350	0,00090
Σ	42,45	0,0234		0,0022

	A	yi	A x yi	y' i	A x y' i	(A x y' i)²	Jo
Ac	0,2665	0,4269	0,1138	-0,021	-0,0055	0,00011	0,0185
As	0,0278	0,2089	0,0058	0,197	0,0055	0,00108	0,0000
Σ	0,2943		0,1196		0,00000	0,0012	0,0185

Área= 0,2943 m² y i CG= 0,4063 m W i= 0,04858 m³
 Inercia= 0,0197 m⁴ ys CG= 0,4437 m Ws= 0,04449 m³

5.3 - Características da viga em conjunto com a laje



Lviga=	22,25 m	Dist. entre vigas=	1,95 m	Larg. Tot.=	12,30 m
l bal1 =	0,70 m		2,10 m	Nº de vigas=	6
l bal2 =	0,30 m		2,30 m		
L teorico=	21,25 m	Bal 1 =	0,950 m	Bal 2=	0,95 m
		h laje=	0,180 m	Larg. Pis=	9,70 m
		h pav.=	0,070 m	Larg. Pas=	1,90 m
		s.pav=	0,08 m	Laje de transição	3,00 m
		h pav.total=	0,15 m		

Largura efetiva da laje

VIGA A

b1 <=	1,08 m	LI VA <=	1,93 m
	2,13 m		
	0,73 m		
b2 <=	1,44 m	LI VB <=	2,03 m
	2,13 m		
	0,76 m		

VIGA B

b1 <=	1,44 m
	2,13 m
	0,76 m
b2 <=	1,44 m
	2,13 m
	0,83 m

VIGA C

b1 <=	1,44 m	LI VC <=	2,20 m
	2,13 m		
	0,83 m		
b2 <=	1,44 m	L =	2,05 m
	2,13 m		
	0,93 m		

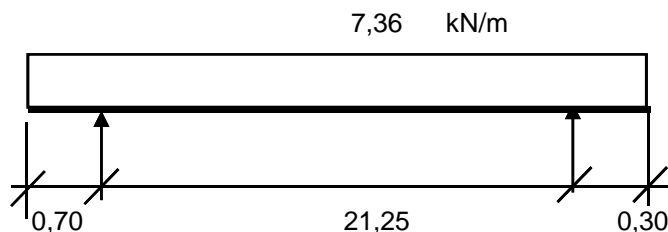
Adotaremos um valor médio entre os valores encontrados

	Area	yi	A x yi	y'i	A x y'i	A x y'i**2	J0
Viga	0,294	0,406	0,120	0,297	0,0874	0,0259	0,0197
Laje	0,369	0,940	0,347	-0,237	-0,0874	0,0207	0,0010
	0,6633		0,466		0,0000	0,0466	0,0207

Área	0,6633	m²	y iv CG=	0,7032	m	W iv=	0,0958	m³
Inercia	0,0674	m4	ysv CG=	0,1468	m	Wsv=	0,4590	m³
			ysL CG=	0,3268	m	WsL=	0,2061	m³

- 6 - Determinação dos esforços
6.1- Carga permanente

6.1.1 g1 - Peso próprio da viga no instante da 1ª protensão



g1= 7,36 kN/m

$\Delta M/L = 0,07$ kN

$g1L/2 = 78,16$ kN

Seção	Momentos (KNm)		Tensões (KN/m ²)			Cortante (KN)
0esq	-1,80		Sup laje	0,00		-5,15
			Sup viga	-40,51		
			Inf viga	-37,10		
0dir	-1,80		Sup laje	0,00		78,23
			Sup viga	-40,51		
			Inf viga	-37,10		
1	149,01		Sup laje	0,00		62,60
			Sup viga	-3349,26		
			Inf viga	3067,53		
2	265,13		Sup laje	0,00		46,97
			Sup viga	-5959,29		
			Inf viga	5458,02		
3	348,03		Sup laje	0,00		31,33
			Sup viga	-7822,66		
			Inf viga	7164,64		
4	397,72		Sup laje	0,00		15,70
			Sup viga	-8939,35		
			Inf viga	8187,41		
5	414,18		Sup laje	0,00		0,07
			Sup viga	-9309,38		
			Inf viga	8526,31		
6	397,42		Sup laje	0,00		-15,56
			Sup viga	-8932,74		
			Inf viga	8181,35		
7	347,45		Sup laje	0,00		-31,20
			Sup viga	-7809,43		
			Inf viga	7152,53		
8	264,25		Sup laje	0,00		-46,83
			Sup viga	-5939,45		
			Inf viga	5439,85		
9	147,83		Sup laje	0,00		-62,46
			Sup viga	-3322,80		
			Inf viga	3043,30		
10esq	-0,33		Sup laje	0,00		-78,09
			Sup viga	7,44		
			Inf viga	-6,81		
10dir	-0,33		Sup laje	0,00		2,21
			Sup viga	7,44		
			Inf viga	-6,81		

6.1.2- g2 - Peso próprio da laje superior + Transversinas de vão + cortina

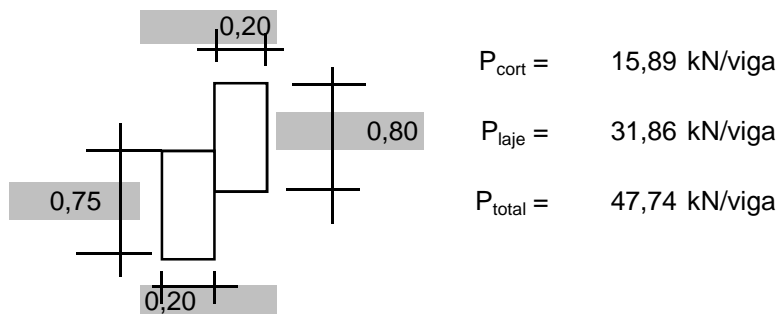
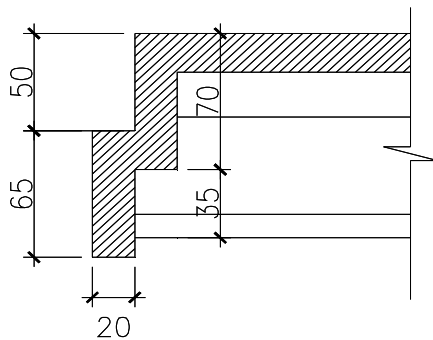
e= 0,20 m nº transv.= 0

P Ttransversina= P Viga A = 0,00 kN/viga
 P Viga C = 0,00 kN/viga
 P Viga A = 0,00 kN/viga

Peso da laje = 55,35 kN/m

g2A= 8,66 kN/m g2 medio = 9,23 kN/m
 g2B= 9,11 kN/m
 g2C= 9,90 kN/m

Peso da cortina + Laje de transição



VIGA 1=VIGA 6
 $\Delta M/L = 0,98 \text{ kN}$
 $g1L/2 = 92,04 \text{ kN}$

Seção	Momentos (KNm)		Tensões (KN/m²)			Cortante (KN)
0esq	-35,54		Sup laje	0,00		-53,81
			Sup viga	798,87		
			Inf viga	-731,67		
0dir	-35,54		Sup laje	0,00		93,02
			Sup viga	798,87		
			Inf viga	-731,67		
1	159,23		Sup laje	0,00		74,61
			Sup viga	-3578,95		
			Inf viga	3277,90		
2	294,05		Sup laje	0,00		56,20
			Sup viga	-6609,37		
			Inf viga	6053,41		
3	389,76		Sup laje	0,00		37,80
			Sup viga	-8760,58		
			Inf viga	8023,67		
4	446,35		Sup laje	0,00		19,39
			Sup viga	-10032,58		
			Inf viga	9188,68		
5	463,83		Sup laje	0,00		0,98
			Sup viga	-10425,37		
			Inf viga	9548,43		
6	442,19		Sup laje	0,00		-17,43
			Sup viga	-9938,95		
			Inf viga	9102,92		
7	381,43		Sup laje	0,00		-35,84
			Sup viga	-8573,31		
			Inf viga	7852,16		
8	281,56		Sup laje	0,00		-54,24
			Sup viga	-6328,46		
			Inf viga	5796,14		
9	142,57		Sup laje	0,00		-72,65
			Sup viga	-3204,40		
			Inf viga	2934,86		
10esq	-14,71		Sup laje	0,00		-91,06
			Sup viga	330,69		
			Inf viga	-302,87		
10dir	-14,71		Sup laje	0,00		2,60
			Sup viga	330,69		
			Inf viga	-302,87		

VIGA 2
 $\Delta M/L = -0,59 \text{ kN}$
 $g1L/2 = 96,82 \text{ kN}$

Seção	Momentos (KNm)		Tensões (KN/m²)			Cortante (KN)
0esq	-2,23		Sup laje	0,00		-54,12
			Sup viga	-50,18		
			Inf viga	-45,96		
0dir	-2,23		Sup laje	0,00		96,23
			Sup viga	-50,18		
			Inf viga	-45,96		
1	171,69		Sup laje	0,00		76,87
			Sup viga	-3858,94		
			Inf viga	3534,34		
2	316,96		Sup laje	0,00		57,50
			Sup viga	-7124,13		
			Inf viga	6524,88		
3	421,08		Sup laje	0,00		38,14
			Sup viga	-9464,44		
			Inf viga	8668,33		
4	484,05		Sup laje	0,00		18,78
			Sup viga	-10879,87		
			Inf viga	9964,69		
5	505,88		Sup laje	0,00		-0,59
			Sup viga	-11370,41		
			Inf viga	10413,97		
6	486,55		Sup laje	0,00		-19,95
			Sup viga	-10936,06		
			Inf viga	10016,16		
7	426,08		Sup laje	0,00		-39,32
			Sup viga	-9576,83		
			Inf viga	8771,26		
8	324,46		Sup laje	0,00		-58,68
			Sup viga	-7292,71		
			Inf viga	6679,27		
9	181,69		Sup laje	0,00		-78,04
			Sup viga	-4083,71		
			Inf viga	3740,20		
10esq	-14,73		Sup laje	0,00		-97,41
			Sup viga	331,15		
			Inf viga	-303,29		
10dir	-14,73		Sup laje	0,00		2,73
			Sup viga	331,15		
			Inf viga	-303,29		

VIGA 3=VIGA 4=VIGA 5
 $\Delta M/L = 1,67 \text{ kN}$
 $g1L/2 = 105,19 \text{ kN}$

Seção	Momentos (KNm)		Tensões (KN/m²)			Cortante (KN)
0esq	-35,85		Sup laje	0,0		-54,67
			Sup viga	-805,7		
			Inf viga	-737,9		
0dir	-35,85		Sup laje	0,0		106,85
			Sup viga	-805,7		
			Inf viga	-737,9		
1	197,19		Sup laje	0,0		85,82
			Sup viga	-4432,1		
			Inf viga	4059,3		
2	350,11		Sup laje	0,0		64,78
			Sup viga	-7869,4		
			Inf viga	7207,4		
3	458,33		Sup laje	0,0		43,74
			Sup viga	-10301,8		
			Inf viga	9435,3		
4	521,85		Sup laje	0,0		22,70
			Sup viga	-11729,5		
			Inf viga	10742,8		
5	540,66		Sup laje	0,0		1,67
			Sup viga	-12152,3		
			Inf viga	11130,1		
6	514,77		Sup laje	0,0		-19,37
			Sup viga	-11570,4		
			Inf viga	10597,1		
7	444,17		Sup laje	0,0		-40,41
			Sup viga	-9983,6		
			Inf viga	9143,8		
8	328,87		Sup laje	0,0		-61,45
			Sup viga	-7392,0		
			Inf viga	6770,2		
9	168,87		Sup laje	0,0		-82,48
			Sup viga	-3795,5		
			Inf viga	3476,3		
10esq	-0,45		Sup laje	0,0		-103,52
			Sup viga	10,0		
			Inf viga	-9,2		
10dir	-0,45		Sup laje	0,0		2,97
			Sup viga	10,0		
			Inf viga	-9,2		

6.1.3- g3 - Peso próprio da pavimentação + cguarda rodas

A pavimentação será distribuída igualmente entre as (6-1)vigas

O guarda rodas e a calçada serão distribuído em função da linha de influência

Guarda corpo =	2,0 kN/m	Ordenadas da L.I.	y1=	0,7910
Calçada =	7,75 kN/m		y2=	0,0093
Pavimentação =	32,01 kN/m		Σ=	0,8003

g3 = 7,80 kN/m

VIGA V1

ΔM/L= 0,07 kN

g1L/2= 82,91 kN

Seção	Momentos (KNm)		Tensões (KN/m²)			Cortante (KN)
0esq	-1,91		Sup laje	9,27		-5,46
			Sup viga	4,17		
			Inf viga	-19,96		
0dir	-1,91		Sup laje	9,27		82,98
			Sup viga	4,17		
			Inf viga	-19,96		
1	158,05		Sup laje	-766,72		66,40
			Sup viga	-344,37		
			Inf viga	1650,08		
2	281,22		Sup laje	-1364,22		49,82
			Sup viga	-612,73		
			Inf viga	2935,96		
3	369,15		Sup laje	-1790,78		33,24
			Sup viga	-804,32		
			Inf viga	3853,99		
4	421,85		Sup laje	-2046,42		16,65
			Sup viga	-919,14		
			Inf viga	4404,15		
5	439,31		Sup laje	-2131,13		0,07
			Sup viga	-957,18		
			Inf viga	4586,45		
6	421,53		Sup laje	-2044,91		-16,51
			Sup viga	-918,46		
			Inf viga	4400,89		
7	368,52		Sup laje	-1787,75		-33,09
			Sup viga	-802,96		
			Inf viga	3847,47		
8	280,28		Sup laje	-1359,67		-49,67
			Sup viga	-610,69		
			Inf viga	2926,19		
9	156,80		Sup laje	-760,66		-66,25
			Sup viga	-341,65		
			Inf viga	1637,05		
10esq	-0,35		Sup laje	1,70		-82,83
			Sup viga	0,77		
			Inf viga	-3,67		
10dir	-0,35		Sup laje	1,70		2,34
			Sup viga	0,77		
			Inf viga	-3,67		

VIGA V2=V3=V4=V5

Guarda rodas =	2,0 kN/m	Ordenadas da L.I.	y1=	0,2842
Calçada =	7,75 kN/m		y2=	-0,1000
Pavimentação =	32,01 kN/m		Σ=	0,1842
		ΔM/L=	0,07	kN
g3 =	7,83 kN/m	g1L/2=	83,19	kN

Seção	Momentos (KNm)		Tensões (KN/m²)			Cortante (KN)
0esq	-1,92		Sup laje	9,31		-5,48
			Sup viga	4,18		
			Inf viga	-20,03		
0dir	-1,92		Sup laje	9,31		83,26
			Sup viga	4,18		
			Inf viga	-20,03		
1	158,59		Sup laje	-769,34		66,62
			Sup viga	-345,54		
			Inf viga	1655,71		
2	282,18		Sup laje	-1368,87		49,99
			Sup viga	-614,82		
			Inf viga	2945,98		
3	370,41		Sup laje	-1796,89		33,35
			Sup viga	-807,06		
			Inf viga	3867,14		
4	423,29		Sup laje	-2053,40		16,71
			Sup viga	-922,27		
			Inf viga	4419,18		
5	440,81		Sup laje	-2138,40		0,07
			Sup viga	-960,45		
			Inf viga	4602,10		
6	422,97		Sup laje	-2051,88		-16,56
			Sup viga	-921,59		
			Inf viga	4415,91		
7	369,78		Sup laje	-1793,85		-33,20
			Sup viga	-805,70		
			Inf viga	3860,60		
8	281,24		Sup laje	-1364,31		-49,84
			Sup viga	-612,77		
			Inf viga	2936,17		
9	157,34		Sup laje	-763,26		-66,48
			Sup viga	-342,81		
			Inf viga	1642,63		
10esq	-0,35		Sup laje	1,71		-83,12
			Sup viga	0,77		
			Inf viga	-3,68		
10dir	-0,35		Sup laje	1,71		2,35
			Sup viga	0,77		
			Inf viga	-3,68		

VIGA V6

Guarda rodas = 6,00 kN/m

Ordenadas da L.I.

y1= 0,93

y2= 0,00

Σ = 0,932

$\Delta M/L$ = 0,11 kN

g3 = 11,99 kN/m

g1L/2= 127,42 kN

Seção	Momentos (KNm)		Tensões (KN/m²)			Cortante (KN)
0esq	-2,94		Sup laje	14,25		-8,39
			Sup viga	6,40		
			Inf viga	-30,67		
0dir	-2,94		Sup laje	14,25		127,53
			Sup viga	6,40		
			Inf viga	-30,67		
1	242,91		Sup laje	-1178,36		102,05
			Sup viga	-529,25		
			Inf viga	2535,98		
2	432,20		Sup laje	-2096,64		76,56
			Sup viga	-941,69		
			Inf viga	4512,24		
3	567,34		Sup laje	-2752,23		51,08
			Sup viga	-1236,14		
			Inf viga	5923,14		
4	648,33		Sup laje	-3145,11		25,60
			Sup viga	-1412,61		
			Inf viga	6768,67		
5	675,16		Sup laje	-3275,30		0,11
			Sup viga	-1471,08		
			Inf viga	7048,85		
6	647,85		Sup laje	-3142,79		-25,37
			Sup viga	-1411,56		
			Inf viga	6763,67		
7	566,38		Sup laje	-2747,57		-50,85
			Sup viga	-1234,05		
			Inf viga	5913,12		
8	430,76		Sup laje	-2089,66		-76,34
			Sup viga	-938,56		
			Inf viga	4497,22		
9	240,99		Sup laje	-1169,05		-101,82
			Sup viga	-525,07		
			Inf viga	2515,95		
10esq	-0,54		Sup laje	2,62		-127,30
			Sup viga	1,18		
			Inf viga	-5,63		
10dir	-0,54		Sup laje	2,62		3,60
			Sup viga	1,18		
			Inf viga	-5,63		

6.2- Esforços da carga móvel

TREM TIPO TB 45 - NBR7188

Eixo dianteiro =	75,0 kN	==>	60,0 kN	 com impacto	77,85 kN
Eixo intermed. =	75,0 kN	==>	60,0 kN		77,85 kN
Eixo traseiro =	75,0 kN	==>	60,0 kN		77,85 kN
Carga distribuida =	5,0 kN/m²				6,49 kN/m²
Carga complementar =	3,0 kN/m²				3,0 kN/m²

Coeficiente de impacto

$$\varphi = CIV \times CNF \times CIA$$

CIV= Coeficiente de impacto vertical =	1,30	 $\varphi =$	1,30
CNF= Coeficiente de número de faixas =	1,00		
CIA= Coeficiente de impacto adicional =	1,00		

CIV = 1,35 para vãos menores do que 10,00 m

CIV = $(1 + 1,06(20/(Liv + 50)))$ para vãos maiores do que 10,0 m

Liv = 21,25 m

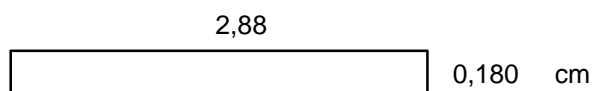
CNF = $1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9 \implies 1,000$

Numero de faixas= 2

CIA = 1,25 $\varphi = 1,30$

A distribuição transversal das cargas móveis será feita pelo método Homberg&Trenks&Weinmeister.

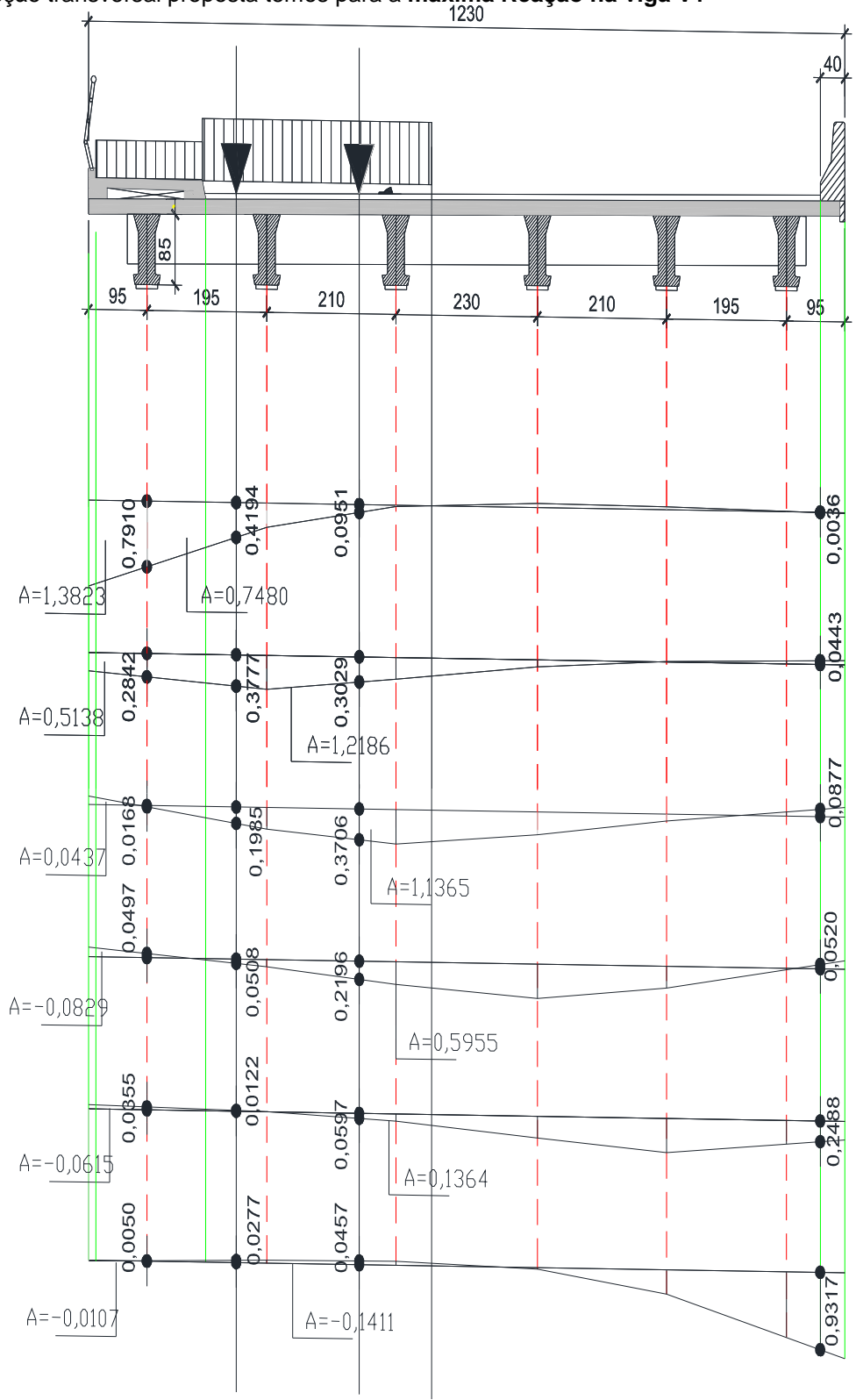
Jviga= 0,0674 m⁴



Jlaje= 0,0014 m⁴

Baa= 0,7915	Bba= 0,28240	Bca= 0,0168	Z= 3,36 r = 1,00
Bab= 0,2824	Bbb= 0,40960	Bcb= 0,2606	
Bac= 0,0168	Bbc= 0,26060	Bcc= 0,4142	
Bad= -0,0497	Bbd= 0,08510	Bcd= 0,2730	
Bae= -0,0355	Bbe= -0,00210	Bce= 0,0851	
Baf= -0,0050	Bbf= -0,03550	Bcf= -0,0497	
1,0005	1,0001	1,0000	

6.2.1 Para a seção transversal proposta temos para a máxima Reação na viga V1



y1	y2	$\Sigma y =$	
0,4194	0,0951	0,5145	Viga 1
0,3777	0,3029	0,6806	Viga 2
0,1985	0,3706	0,5691	Viga 3
0,0508	0,2196	0,2704	Viga 4
-0,0122	0,0597	0,0475	Viga 5
-0,0277	-0,0457	-0,0734	Viga 6
1,0065	1,0022		

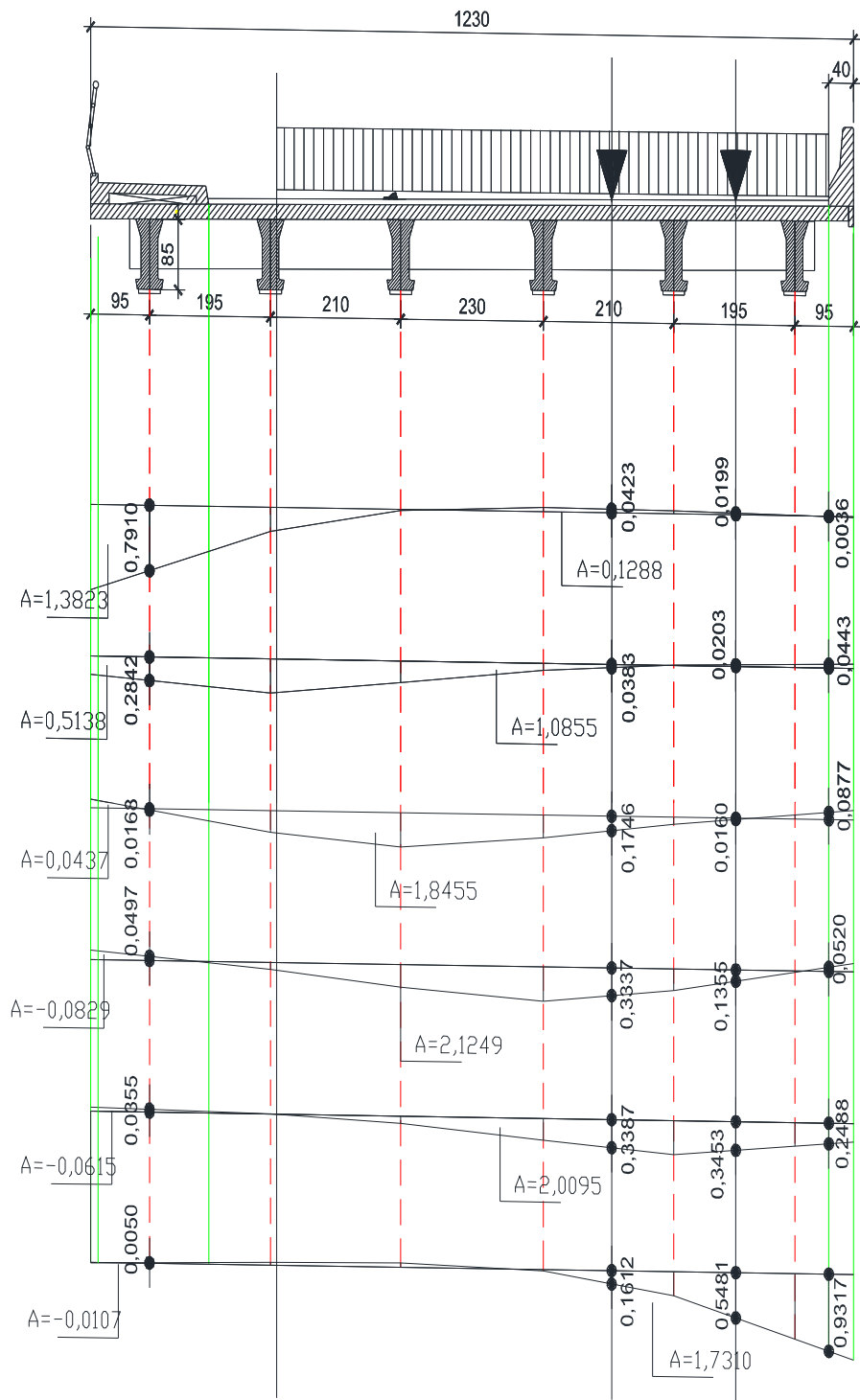
As reações dos eixos do trem tipo com Maxima reação na viga A, em kN, e as correspondentes

	Viga V1	Viga V2	Viga V3	Viga V4	Viga V5	Viga V6
R _{eixo} =	40,06	52,99	44,31	21,05	3,70	-5,71 kN/eixo

As reações da carga distribuída do trem tipo com Maxima reação na viga A e as correspondentes

	Viga V1	Viga V2	Viga V3	Viga V4	Viga V5	Viga V6
Area (5)=	0,748	1,2186	1,1365	0,5955	0,1364	-0,1411
Area (3)=	1,3823	0,5138	0,0437	-0,0829	-0,0615	-0,0107
Q5 =	4,85	7,91	7,37	3,86	0,88	-0,92
Q3 =	4,15	1,54	0,13	-0,25	-0,18	-0,03
Q _{total} =	9,00	9,45	7,50	3,61	0,70	-0,95 kN/m

6.2.2 Para a seção transversal proposta temos para a máxima Reação na viga V2



y1	y2	$\Sigma y =$	
0,5481	0,1612	0,7093	Viga 1
0,3453	0,3387	0,6840	Viga 2
0,1355	0,3337	0,4692	Viga 3
0,0160	0,1746	0,1906	Viga 4
-0,0203	0,0383	0,0180	Viga 5
-0,0199	-0,0423	-0,0622	Viga 6
1,0047	1,0042		

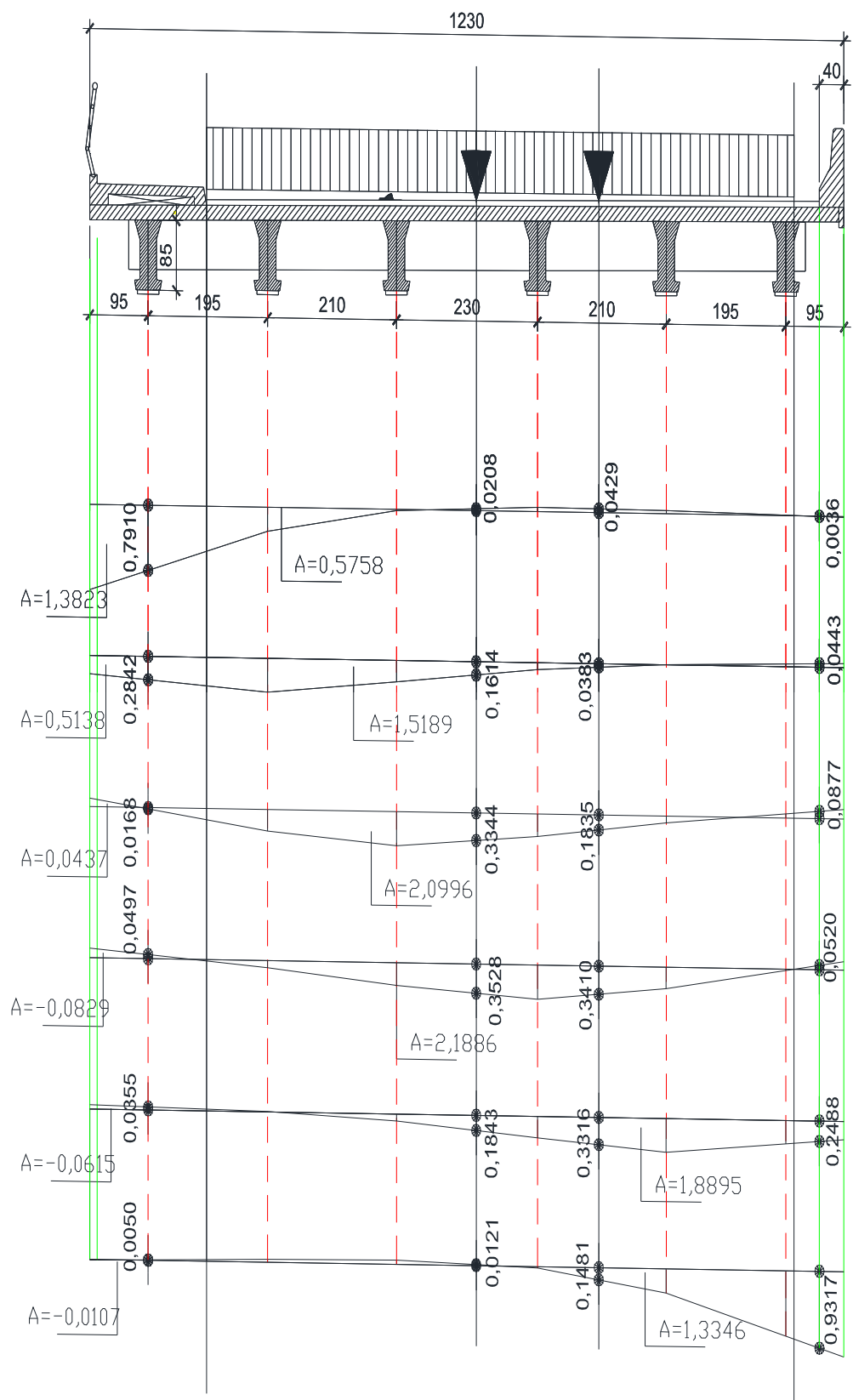
As reações dos eixos do trem tipo com Maxima reação na viga B, em kN, e as correspondentes reações nas demais, com impacto, valem:

	Viga V1	Viga V2	Viga V3	Viga V4	Viga V5	Viga V6
$R_{\text{eixo}} =$	55,22	53,25	36,53	14,84	1,40	-4,84 kN/eixo

As reações da carga distribuída do trem tipo com Maxima reação na viga B e as correspondentes

	Viga V1	Viga V2	Viga V3	Viga V4	Viga V5	Viga V6
Area (5)=	1,731	2,010	2,125	1,846	1,086	0,129
Area (3)=	0	0	0	0	0	0
Q5 =	11,23	13,04	13,79	11,97	7,04	0,84
Q3 =	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$Q_{\text{total}} =$	11,23	13,04	13,79	11,97	7,04	0,84 kN/m

6.2.3 Para máxima reação na viga C, temos:



y1	y2	$\Sigma y =$	
0,1481	-0,0121	0,1360	Viga 1
0,3316	0,1843	0,5159	Viga 2
0,3410	0,3528	0,6938	Viga 3
0,1835	0,3344	0,5179	Viga 4
0,0383	0,1614	0,1997	Viga 5
-0,0429	-0,0208	-0,0637	Viga 6
0,9996	1,0000		

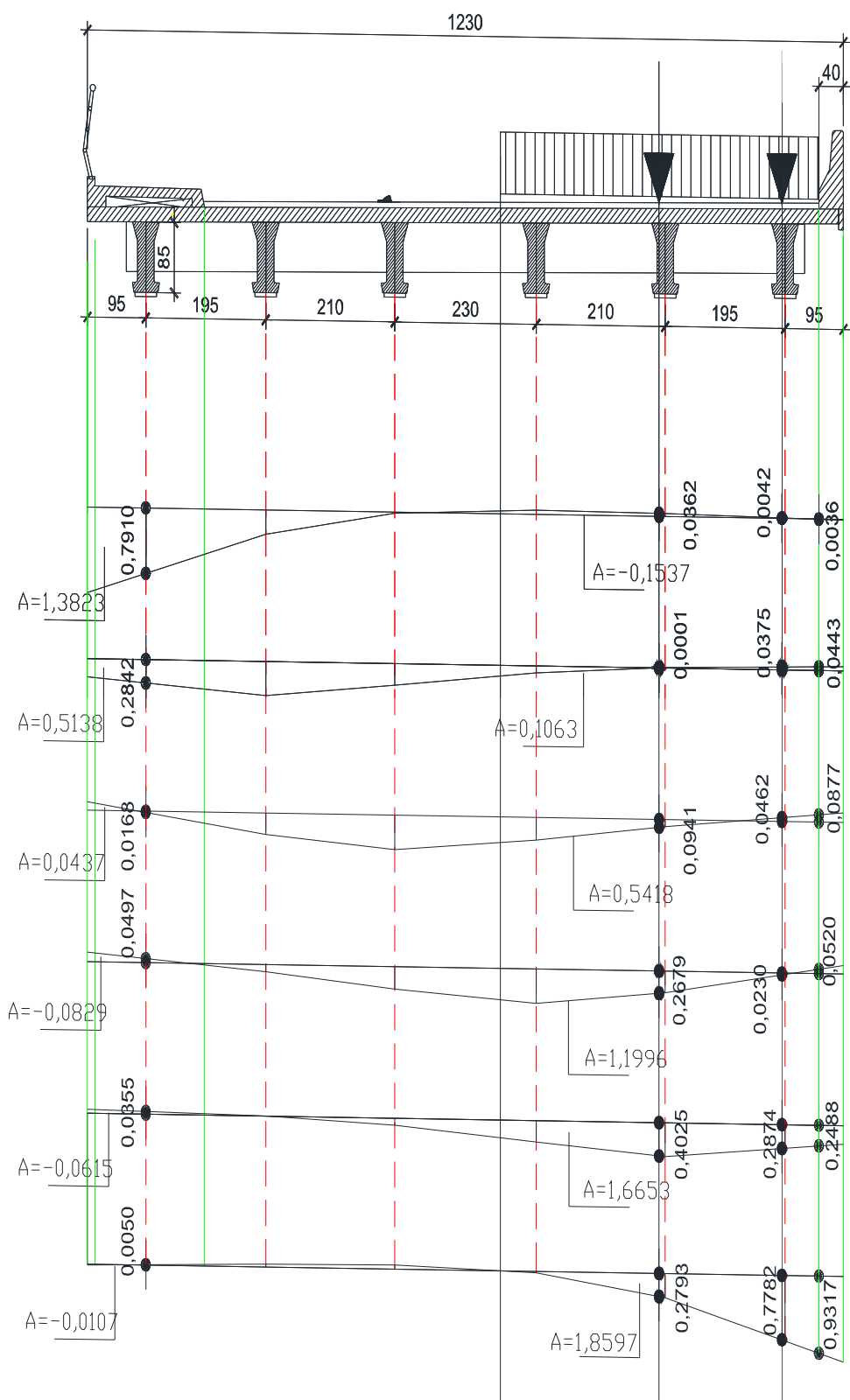
As reações dos eixos do trem tipo com Maxima reação na viga B, em kN, e as correspondentes

	Viga V1	Viga V2	Viga V3	Viga V4	Viga V5	Viga V6
R _{eixo} =	10,59	40,16	54,01	40,32	15,55	-4,96 kN/eixo

As reações da carga distribuída do trem tipo com Maxima reação na viga B e as correspondentes

	Viga V1	Viga V2	Viga V3	Viga V4	Viga V5	Viga V6
Area (5)=	1,3346	1,8895	2,1886	2,0996	1,5189	0,5758
Area (3)=	0	0	0	0	0	0
Q5 =	8,66	12,26	14,20	13,62	9,85	3,74
Q3 =	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q _{total} =	8,66	12,26	14,20	13,62	9,85	3,74 kN/m

6.2.4 Para máxima reação na viga F, temos:



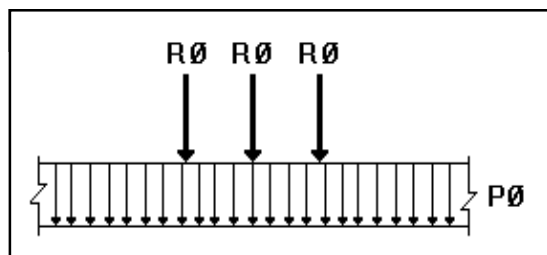
y1	y2	$\Sigma y =$	
-0,0362	-0,0042	-0,0404	Viga 1
-0,0001	-0,0375	-0,0376	Viga 2
0,0941	-0,0462	0,0479	Viga 3
0,2679	0,0230	0,2909	Viga 4
0,4025	0,2874	0,6899	Viga 5
0,2793	0,7782	1,0575	Viga 6
1,0075	1,0007		

As reações dos eixos do trem tipo com Maxima reação na viga B, em kN, e as correspondentes

	Viga V1	Viga V2	Viga V3	Viga V4	Viga V5	Viga V6
R _{eixo} =	-3,15	-2,93	3,73	22,65	53,71	82,33 kN/eixo

As reações da carga distribuída do trem tipo com Maxima reação na viga B e as correspondentes

	Viga V1	Viga V2	Viga V3	Viga V4	Viga V5	Viga V6
Area (5)=	-0,1537	0,1063	0,5418	1,1996	1,6653	1,8597
Area (3)=	0	0	0	0	0	0
Q5 =	-1,00	0,69	3,52	7,78	10,80	12,07
Q3 =	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q _{total} =	-1,00	0,69	3,52	7,78	10,80	12,07 kN/m



VIGA - A max		VIGA - A cor		VIGA - A cor		VIGA - A cor	
R	Q	R	Q	R	Q	R	Q
40,06	9,00	55,22	11,23	10,59	8,66	-3,15	-1,00
VIGA - B cor		VIGA - B max		VIGA - B cor		VIGA - B cor	
52,99	9,45	53,25	13,04	40,16	12,26	-2,93	0,69
VIGA - C cor		VIGA - C cor		VIGA - C max		VIGA - C max	
44,31	7,50	36,53	13,79	54,01	14,20	3,73	3,52
VIGA - D cor		VIGA - D cor		VIGA - D cor		VIGA - D cor	
21,05	3,61	14,84	11,97	40,32	13,62	22,65	7,78
VIGA - E cor		VIGA - E cor		VIGA - E cor		VIGA - E cor	
3,70	0,70	1,40	7,04	15,55	9,85	53,71	10,80
VIGA - F cor		VIGA - F cor		VIGA - F cor		VIGA - F cor	
-5,71	-0,95	-4,84	0,84	-4,96	3,74	82,33	12,07

Tensões devidas a carga móvel

6.3.1- Esforços e tensões na viga V1

$L_t = 3,00$
 $L_{b1} = 0,70 \text{ m}$ $L_{b2} = 0,30 \text{ m}$
 $L_c = 21,25 \text{ m}$

Seção				Tensões (kN/m²)					Cortante (kN)	
	x1	$\varepsilon = x/L$	ε'	$M_{p_{\max}+}$		$\sigma_{p_{\max}+}$	$M_{p_{\max}-}$	$\sigma_{p_{\max}-}$	$V_{p_{\max}+}$	$V_{p_{\max}-}$
0esq	0,00	0,00	1,00	0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00
					Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
0dir	0,00	0,00	1,00	0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	208,40	-8,06
					Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
1	2,13	0,10	0,90	394,67	Sup laje	-1914,6	0,00	0,0	178,22	-4,91
					Sup viga	-859,9		0,0		
					Inf viga	4120,4		0,0		
2	4,25	0,20	0,80	697,63	Sup laje	-3384,3	0,00	0,0	149,95	-19,79
					Sup viga	-1520,0		0,0		
					Inf viga	7283,4		0,0		
3	6,38	0,30	0,70	908,88	Sup laje	-4409,1	0,00	0,0	123,59	-36,59
					Sup viga	-1980,3		0,0		
					Inf viga	9488,9		0,0		
4	8,50	0,40	0,60	1028,42	Sup laje	-4989,0	0,00	0,0	99,14	-55,30
					Sup viga	-2240,8		0,0		
					Inf viga	10736,9		0,0		
5	10,63	0,50	0,50	1056,25	Sup laje	-5124,0	0,00	0,0	76,60	-75,93
					Sup viga	-2301,4		0,0		
					Inf viga	11027,4		0,0		
6	12,75	0,60	0,40	1028,42	Sup laje	-4989,0	0,00	0,0	55,98	-98,46
					Sup viga	-2240,8		0,0		
					Inf viga	10736,9		0,0		
7	14,88	0,70	0,30	908,88	Sup laje	-4409,1	0,00	0,0	37,27	-122,91
					Sup viga	-1980,3		0,0		
					Inf viga	9488,9		0,0		
8	17,00	0,80	0,20	697,63	Sup laje	-3384,3	0,00	0,0	20,47	-149,27
					Sup viga	-1520,0		0,0		
					Inf viga	7283,4		0,0		
9	19,13	0,90	0,10	394,67	Sup laje	-1914,6	0,00	0,0	5,59	-177,54
					Sup viga	-859,9		0,0		
					Inf viga	4120,4		0,0		
10esq	21,25	1,00	0,00	0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	-7,39	-207,72
					Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
10dir	0,00	0,00	1,00	0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	0,00	-76,28
					Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		

6.3.2- Esforços e tensões na viga V2

$L_t = 3,00$
 $L_{b1} = 0,70 \text{ m}$ $L_{b2} = 0,30 \text{ m}$
 $L_c = 21,25 \text{ m}$

Seção					Tensões (kN/m²)				Cortante (kN)	
	x1	$\varepsilon = x/L$	ε'	$M_{p_{\max}+}$		$\sigma_{p_{\max}+}$	$M_{p_{\max}-}$	$\sigma_{p_{\max}-}$	$V_{p_{\max}+}$	$V_{p_{\max}-}$
0esq	0,00			0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00
		0,00	1,00		Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
0dir	0,00			0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	288,58	-10,67
		0,00	1,00		Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
1	2,13			546,48	Sup laje	-2651,0	0,00	0,0	246,29	-6,69
		0,10	0,90		Sup viga	-1190,7		0,0		
					Inf viga	5705,4		0,0		
2	4,25			966,20	Sup laje	-4687,1	0,00	0,0	206,77	-26,82
		0,20	0,80		Sup viga	-2105,2		0,0		
					Inf viga	10087,3		0,0		
3	6,38			1259,15	Sup laje	-6108,3	0,00	0,0	170,01	-49,72
		0,30	0,70		Sup viga	-2743,5		0,0		
					Inf viga	13145,8		0,0		
4	8,50			1425,34	Sup laje	-6914,5	0,00	0,0	136,03	-75,40
		0,40	0,60		Sup viga	-3105,6		0,0		
					Inf viga	14880,8		0,0		
5	10,63			1464,76	Sup laje	-7105,7	0,00	0,0	104,82	-103,84
		0,50	0,50		Sup viga	-3191,5		0,0		
					Inf viga	15292,4		0,0		
6	12,75			1425,34	Sup laje	-6914,5	0,00	0,0	76,38	-135,05
		0,60	0,40		Sup viga	-3105,6		0,0		
					Inf viga	14880,8		0,0		
7	14,88			1259,15	Sup laje	-6108,3	0,00	0,0	50,71	-169,03
		0,70	0,30		Sup viga	-2743,5		0,0		
					Inf viga	13145,8		0,0		
8	17,00			966,20	Sup laje	-4687,1	0,00	0,0	27,80	-205,79
		0,80	0,20		Sup viga	-2105,2		0,0		
					Inf viga	10087,3		0,0		
9	19,13			546,48	Sup laje	-2651,0	0,00	0,0	7,67	-245,31
		0,90	0,10		Sup viga	-1190,7		0,0		
					Inf viga	5705,4		0,0		
10esq	21,25			0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	-9,69	-287,60
		1,00	0,00		Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
10dir	0,00			0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	0,00	-103,34
		0,00	1,00		Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		

6.3.3- Esforços e tensões na viga V3

$L_t = 3,00$
 $L_{b1} = 0,70 \text{ m}$ $L_{b2} = 0,30 \text{ m}$
 $L_c = 21,25 \text{ m}$

Seção					Tensões (kN/m²)				Cortante (kN)	
	x1	$\varepsilon = x/L$	ε'	Mp _{max} +		σ p _{max} +	Mp _{max} -	σ p _{max} -	Vp _{max} +	Vp _{max} -
0esq	0,00			0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00
		0,00	1,00		Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
0dir	0,00			0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	303,20	-10,78
		0,00	1,00		Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
1	2,13			574,13	Sup laje	-2785,2	0,00	0,0	258,33	-6,94
		0,10	0,90		Sup viga	-1250,9		0,0		
					Inf viga	5994,0		0,0		
2	4,25			1015,27	Sup laje	-4925,2	0,00	0,0	216,48	-27,67
		0,20	0,80		Sup viga	-2212,1		0,0		
					Inf viga	10599,6		0,0		
3	6,38			1323,43	Sup laje	-6420,1	0,00	0,0	177,65	-51,41
		0,30	0,70		Sup viga	-2883,5		0,0		
					Inf viga	13816,9		0,0		
4	8,50			1498,60	Sup laje	-7269,9	0,00	0,0	141,83	-78,18
		0,40	0,60		Sup viga	-3265,2		0,0		
					Inf viga	15645,7		0,0		
5	10,63			1540,79	Sup laje	-7474,5	0,00	0,0	109,03	-107,96
		0,50	0,50		Sup viga	-3357,1		0,0		
					Inf viga	16086,1		0,0		
6	12,75			1498,60	Sup laje	-7269,9	0,00	0,0	79,25	-140,76
		0,60	0,40		Sup viga	-3265,2		0,0		
					Inf viga	15645,7		0,0		
7	14,88			1323,43	Sup laje	-6420,1	0,00	0,0	52,48	-176,58
		0,70	0,30		Sup viga	-2883,5		0,0		
					Inf viga	13816,9		0,0		
8	17,00			1015,27	Sup laje	-4925,2	0,00	0,0	28,74	-215,41
		0,80	0,20		Sup viga	-2212,1		0,0		
					Inf viga	10599,6		0,0		
9	19,13			574,13	Sup laje	-2785,2	0,00	0,0	8,01	-257,26
		0,90	0,10		Sup viga	-1250,9		0,0		
					Inf viga	5994,0		0,0		
10esq	21,25			0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	-9,71	-302,13
		1,00	0,00		Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
10dir	0,00			0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	0,00	-106,58
		0,00	1,00		Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		

6.3.4- Esforços e tensões na viga V6

$L_t = 3,00$
 $L_{b1} = 0,70 \text{ m}$ $L_{b2} = 0,30 \text{ m}$
 $L_c = 21,25 \text{ m}$

Seção				Tensões (kN/m²)					Cortante (kN)	
	x1	$\varepsilon = x/L$	ε'	$M_{p_{\max}+}$		$\sigma_{p_{\max}+}$	$M_{p_{\max}-}$	$\sigma_{p_{\max}-}$	$V_{p_{\max}+}$	$V_{p_{\max}-}$
0esq	0,00	0,00	1,00	0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00
					Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
0dir	0,00	0,00	1,00	0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	359,22	-16,87
					Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
1	2,13	0,10	0,90	680,48	Sup laje	-3301,1	0,00	0,0	310,16	9,11
					Sup viga	-1482,7		0,0		
					Inf viga	7104,4		0,0		
2	4,25	0,20	0,80	1201,52	Sup laje	-5828,7	0,00	0,0	263,67	37,65
					Sup viga	-2617,9		0,0		
					Inf viga	12544,1		0,0		
3	6,38	0,30	0,70	1563,10	Sup laje	-7582,8	0,00	0,0	219,74	68,76
					Sup viga	-3405,7		0,0		
					Inf viga	16319,0		0,0		
4	8,50	0,40	0,60	1765,23	Sup laje	-8563,3	0,00	0,0	178,38	102,43
					Sup viga	-3846,2		0,0		
					Inf viga	18429,3		0,0		
5	10,63	0,50	0,50	1807,90	Sup laje	-8770,3	0,00	0,0	109,03	138,67
					Sup viga	-3939,1		0,0		
					Inf viga	18874,9		0,0		
6	12,75	0,60	0,40	1765,23	Sup laje	-8563,3	0,00	0,0	103,34	177,47
					Sup viga	-3846,2		0,0		
					Inf viga	18429,3		0,0		
7	14,88	0,70	0,30	1563,10	Sup laje	-7582,8	0,00	0,0	69,67	218,83
					Sup viga	-3405,7		0,0		
					Inf viga	16319,0		0,0		
8	17,00	0,80	0,20	1201,52	Sup laje	-5828,7	0,00	0,0	38,56	262,76
					Sup viga	-2617,9		0,0		
					Inf viga	12544,1		0,0		
9	19,13	0,90	0,10	680,48	Sup laje	-3301,1	0,00	0,0	10,02	309,25
					Sup viga	-1482,7		0,0		
					Inf viga	7104,4		0,0		
10esq	21,25	1,00	0,00	0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	-9,71	358,31
					Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		
10dir	0,00	0,00	1,00	0,00	Sup laje	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00
					Sup viga	0,0		0,0		
					Inf viga	0,0		0,0		

7 - Dimensionamento a protensão

A máxima tensão de tração existente vale:

	VA	VB	VC	VF
g1	8526,3	8526,3	8526,3	8526,3
g2	9548,4	10414,0	11130,1	9548,4
g3	4586,5	4602,1	4602,1	7048,9
p	11027,4	15292,4	16086,1	18874,9
Soma	33688,6	38834,7	40344,6	43998,5

Viga A $\sigma = 43998,47 \text{ kN/m}^2$

A força necessária para protensão completa na viga isolada será de:

$$F_p = 4099,00 \text{ kN}$$

Para a cordoalha CP210 12,7 $A_s = 1,014 \text{ cm}^2$

$\sigma_{p1} = 157,50 \text{ kN/cm}^2$ daí; $N_{p,i} = 159,705 \text{ kN}$

Para as perdas de protensão no tempo $t = \infty$ **18%**

$N_{p,t} = 130,96 \text{ kN}$

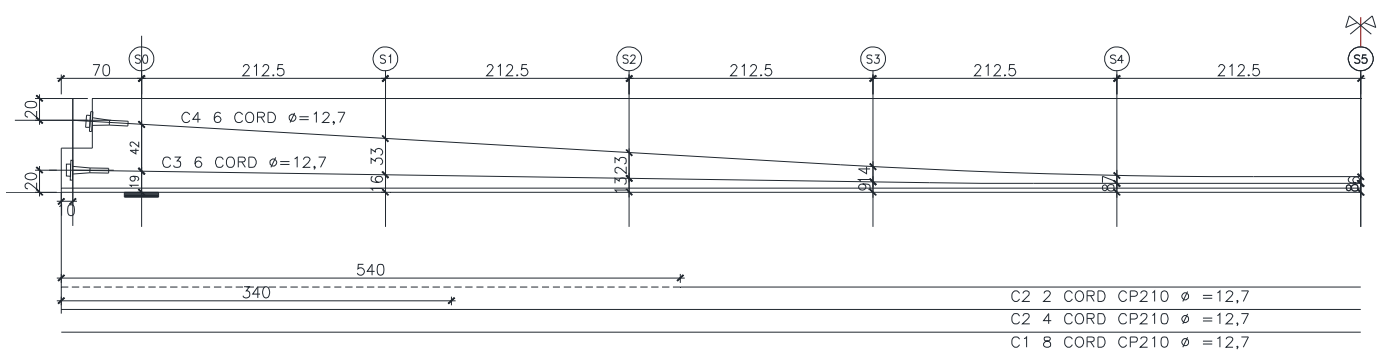
O número de cordoalhas estimada é: $n^0 = 31,30 \text{ Cord}$

Foi adotado neste estudo o seguinte plano de protensão.

1ª protensão, na pista: 14 cordoalhas de $\varnothing = 12,5 \text{ mm}$ CP 210 RB

2ª protensão 12 cordoalhas de $\varnothing = 12,50 \text{ mm}$ CP210 RB

Desenho dos cabos



8 - Verificação das tensões

8.1 Por ocasião da 1ª protensão temos:

Quando da protensão destas cordoalhas no tempo $t=0$ temos:

$$\sigma_p = 157,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 1,014 \text{ cm}^2$$

seção	$N_{p,i}$	$M_{p,i}$	$\sigma_{p,s}$	$\sigma_{p,i}$	cabos
0	-638,8	-235,3	3117,9	-7014,9	4
1	-1277,6	-470,6	6235,9	-14029,7	8
2	-1916,5	-705,9	9353,8	-21044,6	12
3	-2235,9	-823,6	10912,8	-24552,0	14
4	-2235,9	-823,6	10912,8	-24552,0	14
5	-2235,9	-823,6	10912,8	-24552,0	14
6	-2235,9	-823,6	10912,8	-24552,0	14
7	-2235,9	-823,6	10912,8	-24552,0	14
8	-1916,5	-705,9	9353,8	-21044,6	12
9	-1277,6	-470,6	6235,9	-14029,7	8
10	-638,8	-235,3	3117,9	-7014,9	4

As perdas imediatas de protensão valem:

$$n = 5,51$$

Combinando as tensões iniciais de protensão com as de peso próprio da viga isolada (kN/m²)

	σ_{prot}		σ_{g1}	$\sigma_{prot} + \sigma_{g1}$	σ_{cg}	$\Delta\sigma_{prot}$	kN/cm ²
0	$\sigma_{p,s}$	3117,9	-40,5	3077,4	-6539,5	-36024,8	-3,60
	$\sigma_{p,i}$	-7014,9	-37,1	-7052,0			
1	$\sigma_{p,s}$	6235,9	-3349,3	2886,6	-10261,6	-56528,9	-5,65
	$\sigma_{p,i}$	-14029,7	3067,5	-10962,2			
2	$\sigma_{p,s}$	9353,8	-5959,3	3394,5	-14626,4	-80573,3	-8,06
	$\sigma_{p,i}$	-21044,6	5458,0	-15586,6			
3	$\sigma_{p,s}$	10912,8	-7822,7	3090,1	-16351,5	-90076,5	-9,01
	$\sigma_{p,i}$	-24552,0	7164,6	-17387,4			
4	$\sigma_{p,s}$	10912,8	-8939,4	1973,4	-15436,9	-85038,6	-8,50
	$\sigma_{p,i}$	-24552,0	8187,4	-16364,6			
5	$\sigma_{p,s}$	10912,8	-9309,4	1603,4	-15133,9	-83369,2	-8,34
	$\sigma_{p,i}$	-24552,0	8526,3	-16025,7			
6	$\sigma_{p,s}$	10912,8	-8932,7	1980,0	-15442,4	-85068,4	-8,51
	$\sigma_{p,i}$	-24552,0	8181,3	-16370,7			
7	$\sigma_{p,s}$	10912,8	-7809,4	3103,3	-16362,3	-90136,2	-9,01
	$\sigma_{p,i}$	-24552,0	7152,5	-17399,5			
8	$\sigma_{p,s}$	9353,8	-5939,5	3414,4	-14642,6	-80662,8	-8,07
	$\sigma_{p,i}$	-21044,6	5439,8	-15604,8			
9	$\sigma_{p,s}$	6235,9	-3322,8	2913,1	-10283,3	-56648,2	-5,66
	$\sigma_{p,i}$	-14029,7	3043,3	-10986,4			
10	$\sigma_{p,s}$	6235,9	7,4	6243,3	-6350,6	-34984,2	-3,50
	$\sigma_{p,i}$	-7014,9	-6,8	-7021,7			

Temos então as tensões logo após as perdas iniciais de protensão (kN/m²)

		P(kN)	M(kNm)		σ_{prot}	σ_{g1}	$\sigma_{prot+g1}$	$1,1\sigma_{prot} + g1$
0		624,2	226,8	$\sigma_{p,s}$	2976,5	-40,5	2936,0	3233,60
				$\sigma_{p,i}$	-6790,2	-37,1	-6827,3	-7506,29
1		1231,8	447,6	$\sigma_{p,s}$	5873,6	-3349,3	2524,4	3111,72
				$\sigma_{p,i}$	-13399,4	3067,5	-10331,9	-11671,81
2		1818,4	660,7	$\sigma_{p,s}$	8670,9	-5959,3	2711,6	3578,72
				$\sigma_{p,i}$	-19780,8	5458,0	-14322,8	-16300,91
3		2108,0	765,9	$\sigma_{p,s}$	10051,7	-7822,7	2229,1	3234,27
				$\sigma_{p,i}$	-22930,9	7164,6	-15766,3	-18059,35
4		2115,1	768,5	$\sigma_{p,s}$	10085,9	-8939,4	1146,5	2155,08
				$\sigma_{p,i}$	-23008,7	8187,4	-14821,3	-17122,16
5		2117,5	769,4	$\sigma_{p,s}$	10097,2	-9309,4	787,8	1797,49
				$\sigma_{p,i}$	-23034,5	8526,3	-14508,2	-16811,62
6		2115,1	768,5	$\sigma_{p,s}$	10085,7	-8932,7	1152,9	2161,48
				$\sigma_{p,i}$	-23008,2	8181,3	-14826,9	-17127,71
7		2107,9	765,9	$\sigma_{p,s}$	10051,3	-7809,4	2241,9	3247,05
				$\sigma_{p,i}$	-22930,0	7152,5	-15777,4	-18070,45
8		1818,3	660,7	$\sigma_{p,s}$	8670,4	-5939,5	2731,0	3597,99
				$\sigma_{p,i}$	-19779,7	5439,8	-14339,8	-16317,78
9		1231,7	447,5	$\sigma_{p,s}$	5873,2	-3322,8	2550,4	3137,67
				$\sigma_{p,i}$	-13398,4	3043,3	-10355,0	-11694,88
10		624,6	227,0	$\sigma_{p,s}$	2978,5	7,4	2985,9	3283,77
				$\sigma_{p,i}$	-6794,8	-6,8	-6801,6	-7481,05

As tensões máximas permitidas valem:

$$\sigma_{t,max} = 2985,9 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Sera colocada armadura de aço necessária.})$$

$$\sigma_{C,max} = -15777,4 \text{ kN/m}^2$$

A máxima tensão de compressão admissível nesta fase de desforma vale:

$$f_{ck} = 35,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{C,adm} = -24500,0 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

8.2- Por ocasião da 2ª protensão temos:

Através da protensão de 12 cordoalhas sobre a viga isolada.
Na tensão de 157,50 kN/cm²

$$A_s = 1,014 \text{ cm}^2 \quad E_p = 1,95E+04 \text{ kN/cm}^2$$

Tensão no cabo C1, após perdas por atrito cabo/bainha

Seção	$\Sigma \alpha^\circ$	x	$\Delta \sigma_p$ kN/cm ²	$\sigma_{p2,atr}$
Ext	0,00	0	0,0000	157,5000
0	0,00	0,70	0,1653	157,3347
1	3,00	2,83	2,2990	155,2010
2	3,00	4,95	2,7929	154,7071
3	4,00	7,08	3,8223	153,6777
4	4,00	9,20	4,3114	153,1886
5	4,00	11,33	4,7989	152,7011

$$\mu = 0,03 \quad 1,03$$

$$k = 0,200 \quad 0,0015 \quad \mu (1/m)$$

Influência da acomodação da ancoragem

Adotaremos: 5 mm $E_p \times \delta = 9750,00 \text{ kN/cm}$ $E_{aço} = 2,0E+04 \text{ kN/cm}^2$
 $L/10 = 212,5 \text{ cm}$

Seção	xb cm	Area kN/cm	Alongamento do cabo =	89,76 mm ou 7,93 mm/m
0	70,00	160,9		
1	282,50	335,0		
2	495,00	1135,4		
3	707,50	1723,5		
4	920,00	2517,0		
5	1132,50	3517,6		

A influencia se da até um ponto entre as seções: Após a S5 $\Delta \sigma_1 = 5,50 \text{ kN/cm}^2$

Após a perda de acomodação da ancoragem temos:

Seção	$\sigma_{p_x,at}$ kN/cm ²	$\Delta \sigma_{p_0,an}$ kN/cm ²	$\sigma_{p2,an}$ kN/cm ²
Extr.	157,50	15,10	142,40
0	157,33	14,77	142,56
1	155,20	10,50	144,70
2	154,71	9,52	145,19
3	153,68	7,46	146,22
4	153,19	6,48	146,71
5	152,70	5,50	147,20

Ordenadas do cabo de cordoalhas

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
C4	0,19	0,160	0,130	0,090	0,080	0,080
C5	0,61	0,490	0,360	0,230	0,150	0,140
C_{medio}	0,400	0,325	0,245	0,160	0,115	0,110
Nº de cabos=	2	2	2	2	2	2
Nº de cabos rotura=		6	6	12	12	12

Ordenadas do cabo de cordoalhas

	S6	S7	S8	S9	S10
C3	0,080	0,090	0,130	0,160	0,190
C4	0,150	0,230	0,360	0,490	0,610
C_{medio}	0,115	0,160	0,245	0,325	0,400
Nº de cabos=	2	2	2	2	2
Nº de cabos rotura=	12	12	6	6	0

Na viga premoldada por ocasião da 2ª protensão temos, após as perdas de atrito e acomodação das ancoragens:

Seção	$\sigma_{p2,an}$ kN/cm ²	N _{p2,anc} kN	e cabo inf	e _{cg} m	M _{p2,anc} kNm	Tensões (kN/m ²)	
Extr.	142,40	-1732,71	0,400	0,006	-10,99	S v	-5641,3
						I v	-6114,4
0	142,56	-1734,72	0,400	0,006	-11,00	S v	-5647,9
						I v	-6121,5
1	144,70	-1760,68	0,325	0,081	-143,21	S v	-2764,3
						I v	-8931,6
2	145,19	-1766,69	0,245	0,161	-285,04	S v	403,0
						I v	-11871,6
3	146,22	-1779,22	0,160	0,246	-438,29	S v	3805,1
						I v	-15069,1
4	146,71	-1785,17	0,115	0,291	-520,09	S v	5623,4
						I v	-16773,2
5	147,20	-1791,10	0,110	0,296	-530,78	S v	5843,4
						I v	-17013,3
6	146,71	-1785,17	0,115	0,291	-520,09	S v	5623,4
						I v	-16773,2
7	146,22	-1779,22	0,160	0,246	-438,29	S v	3805,1
						I v	-15069,1
8	145,19	-1766,69	0,245	0,161	-285,04	S v	403,0
						I v	-11871,6
9	144,70	-1760,68	0,325	0,081	-143,21	S v	-2764,3
						I v	-8931,6
10	142,56	-1734,72	0,400	0,006	-11,00	S v	-5647,9
						I v	-6121,5

Devido a segunda protensão e o consequente encurtamento imediato do concreto, gera nos cabos pré tensionados perdas e seus valores estão avaliados abaixo.

Seção		σ_{p1} kN/m ²	$\sigma_{p2,an}$ kN/m ²	σ_{g1} kN/m ²	σ_{g1+p} kN/m ²	$\sigma_{(g+p)cg}$ kN/m ²	$\Delta\sigma_{p1}$ kN/cm ²
Extr.	S v	2976,5	-5641,3	-40,5	-2705,4	-12339,6	6,80
	I v	-6790,2	-6114,4	-37,1	-12941,7		
0	S v	2976,5	-5647,9	-40,5	-2711,9	-12346,6	6,80
	I v	-6790,2	-6121,5	-37,1	-12948,8		
1	S v	5873,6	-2764,3	-3349,3	-240,0	-18144,4	10,00
	I v	-13399,4	-8931,6	3067,5	-19263,4		
2	S v	8670,9	403,0	-5959,3	3114,6	-24470,4	13,48
	I v	-19780,8	-11871,6	5458,0	-26194,4		
3	S v	10051,7	3805,1	-7822,7	6034,2	-28666,5	15,79
	I v	-22930,9	-15069,1	7164,6	-30835,3		
4	S v	10085,9	5623,4	-8939,4	6769,9	-29337,8	16,16
	I v	-23008,7	-16773,2	8187,4	-31594,5		
5	S v	10097,2	5843,4	-9309,4	6631,2	-29277,2	16,13
	I v	-23034,5	-17013,3	8526,3	-31521,5		
6	S v	10085,7	5623,4	-8932,7	6776,3	-29342,7	16,16
	I v	-23008,2	-16773,2	8181,3	-31600,1		
7	S v	10051,3	3805,1	-7809,4	6047,0	-28676,3	15,80
	I v	-22930,0	-15069,1	7152,5	-30846,5		
8	S v	8670,4	403,0	-5939,5	3133,9	-24485,2	13,49
	I v	-19779,7	-11871,6	5439,8	-26211,4		
9	S v	5873,2	-2764,3	-3322,8	-214,0	-18164,7	10,01
	I v	-13398,4	-8931,6	3043,3	-19286,6		
10	S v	2978,5	-5647,9	7,4	-2662,0	-12319,5	6,79
	I v	-6794,8	-6121,5	-6,8	-12923,1		

Temos então na viga premoldada uma queda de tensões devida a perda de tensão nos cabos pré tensionados, por ocasião da 2ª protensão.

Seção	$\Delta\sigma_{p1}$ kN/cm ²	ΔN_{p1} kN	ΔM_{p1} kNm		$\Delta\sigma_{p1}$ kN/m ²	σ_{p1} kN/m ²	σ_{p1+} $\Delta\sigma_{p1}$
Extr.	6,80	27,57	9,82	S v	-127,1	2976,5	2849,3
				I v	295,9	-6790,2	-6494,2
0	6,80	27,59	9,83	S v	-127,2	2976,5	2849,3
				I v	296,1	-6790,2	-6494,1
1	10,00	81,08	28,89	S v	-373,9	5873,6	5499,7
				I v	870,3	-13399,4	-12529,1
2	13,48	164,03	58,45	S v	-756,3	8670,9	7914,6
				I v	1760,7	-19780,8	-18020,2
3	15,79	224,18	79,88	S v	-1033,7	10051,7	9018,0
				I v	2406,3	-22930,9	-20524,6
4	16,16	229,43	81,75	S v	-1057,9	10085,9	9027,9
				I v	2462,7	-23008,7	-20546,0
5	16,13	228,95	81,59	S v	-1055,7	10097,2	9041,4
				I v	2457,6	-23034,5	-20576,9
6	16,16	229,47	81,77	S v	-1058,1	10085,7	9027,6
				I v	2463,1	-23008,2	-20545,2
7	15,80	224,26	79,91	S v	-1034,1	10051,3	9017,3
				I v	2407,2	-22930,0	-20522,8
8	13,49	164,13	58,48	S v	-756,8	8670,4	7913,6
				I v	1761,7	-19779,7	-18017,9
9	10,01	81,17	28,93	S v	-374,3	5873,2	5498,9
				I v	871,3	-13398,4	-12527,0
10	6,79	27,53	9,81	S v	-126,9	2978,5	2851,6
				I v	295,5	-6794,8	-6499,3

Temos a seguir as tensões de protensão na viga pré fabricada após a 1ª e 2ª protensão, levando-se em consideração as perdas imediatas e as de atrito e acomodação das ancoragens.

Seção		σ_{p1} kN/m²	σ_{p2} kN/m²	$\sigma_{p1}+\sigma_{p2}$ kN/m²
Extr.	S v	2849,3	-5641,3	-2792,0
	I v	-6494,2	-6114,4	-12608,7
0	S v	2849,3	-5647,9	-2798,6
	I v	-6494,1	-6121,5	-12615,6
1	S v	5499,7	-2764,3	2735,4
	I v	-12529,1	-8931,6	-21460,6
2	S v	7914,6	403,0	8317,6
	I v	-18020,2	-11871,6	-29891,8
3	S v	9018,0	3805,1	12823,1
	I v	-20524,6	-15069,1	-35593,6
4	S v	9027,9	5623,4	14651,4
	I v	-20546,0	-16773,2	-37319,2
5	S v	9041,4	5843,4	14884,8
	I v	-20576,9	-17013,3	-37590,2
6	S v	9027,6	5623,4	14651,0
	I v	-20545,2	-16773,2	-37318,4
7	S v	9017,3	3805,1	12822,4
	I v	-20522,8	-15069,1	-35591,9
8	S v	7913,6	403,0	8316,6
	I v	-18017,9	-11871,6	-29889,5
9	S v	5498,9	-2764,3	2734,5
	I v	-12527,0	-8931,6	-21458,6
10	S v	2851,6	-5647,9	-2796,3
	I v	-6499,3	-6121,5	-12620,8

8.2.1- Quando da 2ª protensão no canteiro, no tempo $t = 0$

Quadro geral de tensões para 1ª e 2ª protensão

VIGA A								
Seção	Fibras	1	2	1+2	3	1+2+3	4	1+2+3+4
		1ª e 2ª prot	g1	Fase 2	g2	Fase 3	g3	Fase 4
Extr.	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,3
	SV	-2792,0	0,0	-2792,0	798,9	-1993,1	4,2	-1989,0
	IV	-12608,7	0,0	-12608,7	-731,7	-13340,3	-20,0	-13360,3
0	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,3
	SV	-2798,6	-40,5	-2839,1	798,9	-2040,3	4,2	-2036,1
	IV	-12615,6	-37,1	-12652,7	-731,7	-13384,4	-20,0	-13404,3
1	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-766,7	-766,7
	SV	2735,4	-3349,3	-613,9	-3578,9	-4192,8	-344,4	-4537,2
	IV	-21460,6	3067,5	-18393,1	3277,9	-15115,2	1650,1	-13465,1
2	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1364,2	-1364,2
	SV	8317,6	-5959,3	2358,3	-6609,4	-4251,1	-612,7	-4863,8
	IV	-29891,8	5458,0	-24433,8	6053,4	-18380,4	2936,0	-15444,4
3	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1790,8	-1790,8
	SV	12823,1	-7822,7	5000,5	-8760,6	-3760,1	-804,3	-4564,4
	IV	-35593,6	7164,6	-28429,0	8023,7	-20405,3	3854,0	-16551,3
4	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2046,4	-2046,4
	SV	14651,4	-8939,4	5712,0	-10032,6	-4320,6	-919,1	-5239,7
	IV	-37319,2	8187,4	-29131,8	9188,7	-19943,1	4404,2	-15539,0
5	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2131,1	-2131,1
	SV	14884,8	-9309,4	5575,4	-10425,4	-4849,9	-957,2	-5807,1
	IV	-37590,2	8526,3	-29063,9	9548,4	-19515,5	4586,5	-14929,0
6	SI		0,0	0,0	0,0	0,0	-2044,9	-2044,9
	SV	14651,0	-8932,7	5718,2	-9938,9	-4220,7	-918,5	-5139,2
	IV	-37318,4	8181,3	-29137,0	9102,9	-20034,1	4400,9	-15633,2
7	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1787,8	-1787,8
	SV	12822,4	-7809,4	5012,9	-8573,3	-3560,4	-803,0	-4363,3
	IV	-35591,9	7152,5	-28439,4	7852,2	-20587,2	3847,5	-16739,7
8	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1359,7	-1359,7
	SV	8316,6	-5939,5	2377,1	-6328,5	-3951,3	-610,7	-4562,0
	IV	-29889,5	5439,8	-24449,7	5796,1	-18653,6	2926,2	-15727,4
9	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-760,7	-760,7
	SV	2734,5	-3322,8	-588,3	-3204,4	-3792,7	-341,6	-4134,3
	IV	-21458,6	3043,3	-18415,3	2934,9	-15480,5	1637,0	-13843,4
10	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7
	SV	-2796,3	7,4	-2788,9	330,7	-2458,2	0,8	-2457,4
	IV	-12620,8	-6,8	-12627,7	-302,9	-12930,5	-3,7	-12934,2

$$\sigma_{\text{tração}} = 5718,2 \text{ kN/m}^2 \quad -1993,1 \text{ kN/m}^2 \quad -1989,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{comp}} = -29137,0 \text{ kN/m}^2 \quad -20587,2 \text{ kN/m}^2 \quad -16739,7 \text{ kN/m}^2$$

Nesta fase a viga está na sua conformação final e será colocada sobre os pilares.

As tensões máximas permitidas valem:

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} = 3,80 \text{ MPa} \quad \sigma_{t_{adm}} = 1,2 f_{ctm} = 4555,11 \text{ kN/m}^2$$

A máxima tensão de tração é: $\sigma_{t_{max}} = 5718,23 \text{ kN/m}^2$ **Sera colocada armadura de tração**

$$\sigma_{c_{adm}} = -31500,0 \text{ kN/m}^2$$

A máxima tensão de compressão na parte inferior da viga é:

$$\sigma_{c_{max}} = -29137,0 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

Quadro geral de tensões para 1ª e 2ª protensão

VIGA B								
Seção	Fibras	1	2	1+2	3	1+2+3	4	1+2+3+4
		1ª e 2ª prot	g1	Fase 2	g2	Fase 3	g3	Fase 4
Extr.	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,3
	SV	-2792,0	0,0	-2792,0	-50,2	-2842,2	4,2	-2838,0
	IV	-12608,7	0,0	-12608,7	-46,0	-12654,6	-20,0	-12674,7
0	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,3
	SV	-2798,6	-40,5	-2839,1	-50,2	-6698,1	4,2	-6693,9
	IV	-12615,6	-37,1	-12652,7	-46,0	-9118,4	-20,0	-9138,4
1	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-769,3	-769,3
	SV	2735,4	-3349,3	-613,9	-3858,9	-4472,8	-345,5	-4818,3
	IV	-21460,6	3067,5	-18393,1	3534,3	-14858,8	1655,7	-13203,1
2	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1368,9	-1368,9
	SV	8317,6	-5959,3	2358,3	-7124,1	-4765,9	-614,8	-5380,7
	IV	-29891,8	5458,0	-24433,8	6524,9	-17908,9	2946,0	-14962,9
3	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1796,9	-1796,9
	SV	12823,1	-7822,7	5000,5	-9464,4	-4464,0	-807,1	-5271,0
	IV	-35593,6	7164,6	-28429,0	8668,3	-19760,7	3867,1	-15893,5
4	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2053,4	-2053,4
	SV	14651,4	-8939,4	5712,0	-10879,9	-5167,9	-922,3	-6090,1
	IV	-37319,2	8187,4	-29131,8	9964,7	-19167,1	4419,2	-14748,0
5	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2138,4	-2138,4
	SV	14884,8	-9309,4	5575,4	-11370,4	-5795,0	-960,4	-6755,4
	IV	-37590,2	8526,3	-29063,9	10414,0	-18649,9	4602,1	-14047,8
6	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2051,9	-2051,9
	SV	14651,0	-8932,7	5718,2	-10936,1	-5217,8	-921,6	-6139,4
	IV	-37318,4	8181,3	-29137,0	10016,2	-19120,9	4415,9	-14704,9
7	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1793,9	-1793,9
	SV	12822,4	-7809,4	5012,9	-9576,8	-4563,9	-805,7	-5369,6
	IV	-35591,9	7152,5	-28439,4	8771,3	-19668,1	3860,6	-15807,5
8	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1364,3	-1364,3
	SV	8316,6	-5939,5	2377,1	-7292,7	-4915,6	-612,8	-5528,3
	IV	-29889,5	5439,8	-24449,7	6679,3	-17770,4	2936,2	-14834,2
9	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-763,3	-763,3
	SV	2734,5	-3322,8	-588,3	-4083,7	-4672,0	-342,8	-5014,8
	IV	-21458,6	3043,3	-18415,3	3740,2	-14675,1	1642,6	-13032,5
10	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7
	SV	-2796,3	7,4	-2788,9	331,1	-2457,8	0,8	-2457,0
	IV	-12620,8	-6,8	-12627,7	-303,3	-12930,9	-3,7	-12934,6

$$\sigma_{tração} = 5718,2 \text{ kN/m}^2 \quad -2457,8 \text{ kN/m}^2 \quad -2457,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{comp} = -29137,0 \text{ kN/m}^2 \quad -19760,7 \text{ kN/m}^2 \quad -15893,5 \text{ kN/m}^2$$

Nesta fase a viga está na sua conformação final e será colocada sobre os pilares.

As tensões máximas permitidas valem:

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} = 3,80 \text{ MPa} \quad \sigma_{t_{adm}} = 1,2 f_{ctm} = 4555,11 \text{ kN/m}^2$$

A máxima tensão de tração é: $\sigma_{t_{max}} = 5718,23 \text{ kN/m}^2$ **Sera colocada armadura de tração**

$$\sigma_{c_{adm}} = -31500,0 \text{ kN/m}^2$$

A máxima tensão de compressão na parte inferior da viga é:

$$\sigma_{c_{max}} = -29131,8 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

Quadro geral de tensões para 1ª e 2ª protensão

VIGA C								
Seção	Fibras	1	2	1+2	3	1+2+3	4	1+2+3+4
		1ª e 2ª prot	g1	Fase 2	g2	Fase 3	g3	Fase 4
Extr.	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,3
	SV	-2792,0	0,0	-2792,0	-805,7	-3597,7	4,2	-3593,5
	IV	-12608,7	0,0	-12608,7	-737,9	-13346,6	-20,0	-13366,6
0	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,3
	SV	-2798,6	-40,5	-2839,1	-805,7	-7271,2	4,2	-7267,0
	IV	-12615,6	-37,1	-12652,7	-737,9	-8593,4	-20,0	-8613,5
1	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-769,3	-769,3
	SV	2735,4	-3349,3	-613,9	-4432,1	-5045,9	-345,5	-5391,5
	IV	-21460,6	3067,5	-18393,1	4059,3	-14333,8	1655,7	-12678,1
2	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1368,9	-1368,9
	SV	8317,6	-5959,3	2358,3	-7869,4	-5511,1	-614,8	-6125,9
	IV	-29891,8	5458,0	-24433,8	7207,4	-17226,4	2946,0	-14280,4
3	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1796,9	-1796,9
	SV	12823,1	-7822,7	5000,5	-10301,8	-5301,4	-807,1	-6108,4
	IV	-35593,6	7164,6	-28429,0	9435,3	-18993,7	3867,1	-15126,6
4	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2053,4	-2053,4
	SV	14651,4	-8939,4	5712,0	-11729,5	-6017,5	-922,3	-6939,8
	IV	-37319,2	8187,4	-29131,8	10742,8	-18389,0	4419,2	-13969,8
5	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2138,4	-2138,4
	SV	14884,8	-9309,4	5575,4	-12152,3	-6576,9	-960,4	-7537,3
	IV	-37590,2	8526,3	-29063,9	11130,1	-17933,8	4602,1	-13331,7
6	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2051,9	-2051,9
	SV	14651,0	-8932,7	5718,2	-11570,4	-5852,1	-921,6	-6773,7
	IV	-37318,4	8181,3	-29137,0	10597,1	-18539,9	4415,9	-14124,0
7	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1793,9	-1793,9
	SV	12822,4	-7809,4	5012,9	-9983,6	-4970,6	-805,7	-5776,3
	IV	-35591,9	7152,5	-28439,4	9143,8	-19295,6	3860,6	-15435,0
8	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1364,3	-1364,3
	SV	8316,6	-5939,5	2377,1	-7392,0	-5014,8	-612,8	-5627,6
	IV	-29889,5	5439,8	-24449,7	6770,2	-17679,5	2936,2	-14743,3
9	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-763,3	-763,3
	SV	2734,5	-3322,8	-588,3	-3795,5	-4383,8	-342,8	-4726,6
	IV	-21458,6	3043,3	-18415,3	3476,3	-14939,0	1642,6	-13296,4
10	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7
	SV	-2796,3	7,4	-2788,9	10,0	-2778,9	0,8	-2778,1
	IV	-12620,8	-6,8	-12627,7	-9,2	-12636,8	-3,7	-12640,5

$$\sigma_{\text{tração}} = 5718,2 \text{ kN/m}^2 \quad -2778,9 \text{ kN/m}^2 \quad -2778,1 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{comp}} = -29137,0 \text{ kN/m}^2 \quad -19295,6 \text{ kN/m}^2 \quad -15435,0 \text{ kN/m}^2$$

Nesta fase a viga está na sua conformação final e será colocada sobre os pilares.

As tensões máximas permitidas valem:

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} = 3,80 \text{ MPa} \quad \sigma_{t_{adm}} = 1,2 f_{ctm} = 4555,11 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{A máxima tensão de tração é: } \sigma_{t_{max}} = 5718,23 \text{ kN/m}^2$$

Sera colocada armadura de tração

$$\sigma_{c_{adm}} = -31500,0 \text{ kN/m}^2$$

A máxima tensão de compressão na parte inferior da viga é:

$$\sigma_{c_{max}} = -29137,0 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

Quadro geral de tensões para 1ª e 2ª protensão

VIGA F

Seção	Fibras	1	2	1+2	3	1+2+3	4	1+2+3+4
		1ª e 2ª prot	g1	Fase 2	g2	Fase 3	g3	Fase 4
Extr.	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	14,3
	SV	-2792,0	0,0	-2792,0	798,9	-1993,1	6,4	-1986,7
	IV	-12608,7	0,0	-12608,7	-731,7	-13340,3	-30,7	-13371,0
0	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	14,3
	SV	-2798,6	-40,5	-2839,1	798,9	-2040,3	6,4	-2033,9
	IV	-12615,6	-37,1	-12652,7	-731,7	-13384,4	-30,7	-13415,0
1	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1178,4	-1178,4
	SV	2735,4	-3349,3	-613,9	-3578,9	-4192,8	-529,3	-4722,1
	IV	-21460,6	3067,5	-18393,1	3277,9	-15115,2	2536,0	-12579,2
2	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2096,6	-2096,6
	SV	8317,6	-5959,3	2358,3	-6609,4	-4251,1	-941,7	-5192,8
	IV	-29891,8	5458,0	-24433,8	6053,4	-18380,4	4512,2	-13868,1
3	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2752,2	-2752,2
	SV	12823,1	-7822,7	5000,5	-8760,6	-3760,1	-1236,1	-4996,3
	IV	-35593,6	7164,6	-28429,0	8023,7	-20405,3	5923,1	-14482,2
4	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3145,1	-3145,1
	SV	14651,4	-8939,4	5712,0	-10032,6	-4320,6	-1412,6	-5733,2
	IV	-37319,2	8187,4	-29131,8	9188,7	-19943,1	6768,7	-13174,5
5	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3275,3	-3275,3
	SV	14884,8	-9309,4	5575,4	-10425,4	-4849,9	-1471,1	-6321,0
	IV	-37590,2	8526,3	-29063,9	9548,4	-19515,5	7048,9	-12466,6
6	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3142,8	-3142,8
	SV	14651,0	-8932,7	5718,2	-9938,9	-4220,7	-1411,6	-5632,3
	IV	-37318,4	8181,3	-29137,0	9102,9	-20034,1	6763,7	-13270,4
7	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2747,6	-2747,6
	SV	12822,4	-7809,4	5012,9	-8573,3	-3560,4	-1234,1	-4794,4
	IV	-35591,9	7152,5	-28439,4	7852,2	-20587,2	5913,1	-14674,1
8	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2089,7	-2089,7
	SV	8316,6	-5939,5	2377,1	-6328,5	-3951,3	-938,6	-4889,9
	IV	-29889,5	5439,8	-24449,7	5796,1	-18653,6	4497,2	-14156,3
9	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1169,1	-1169,1
	SV	2734,5	-3322,8	-588,3	-3204,4	-3792,7	-525,1	-4317,8
	IV	-21458,6	3043,3	-18415,3	2934,9	-15480,5	2516,0	-12964,5
10	SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	2,6
	SV	-2796,3	7,4	-2788,9	330,7	-2458,2	1,2	-2457,0
	IV	-12620,8	-6,8	-12627,7	-302,9	-12930,5	-5,6	-12936,2

PAULO MACHADO MASSA

PROFESSOR DE PONTES E OBRAS ESPECIAIS DA UERJ

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tração}} &= 5718,2 \text{ kN/m}^2 & -1993,1 \text{ kN/m}^2 & -1986,7 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{\text{comp}} &= -29137,0 \text{ kN/m}^2 & -20587,2 \text{ kN/m}^2 & -14674,1 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Nesta fase a viga está na sua conformação final e será colocada sobre os pilares.

As tensões máximas permitidas valem:

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} = 3,80 \text{ MPa} \quad \sigma_{t_{adm}} = 1,2 f_{ctm} = 4555,11 \text{ kN/m}^2$$

A máxima tensão de tração é: $\sigma_{t_{max}} = 5718,23 \text{ kN/m}^2$ **Sera colocada armadura de tração**

$$\sigma_{c_{adm}} = -31500,0 \text{ kN/m}^2$$

A máxima tensão de compressão na parte inferior da viga é:

$$\sigma_{c_{max}} = -29137,0 \text{ kN/m}^2 \quad \textbf{OK}$$

8.3- Verificação no tempo $t = \infty$

As perdas de protensão devidas as deformações por retração, fluência e relaxação do aço serão estimadas em:

17 % da tensão inicial de protensão:

Nesta fase , por fluência, as tensões de protensão nas tres fases serão incorporadas a toda seção da ponte e o cálculo das perdas diferidas serão avaliadas levando-se em conta esta consideração.

Daí:

$$\Delta\sigma_{p1} = 26,78 \text{ kN/cm}^2 \quad \Delta\sigma_{p2} = 26,78 \text{ kN/cm}^2$$

Seção	Np1 (kN)	Mp1(kNm)	Np2 (kN)	ei p2 (m)	Mp2 (kNm)		$\Delta\sigma_{p1}$ kN/m ²	$\Delta\sigma_{p2}$ kN/m ²	$\Delta\sigma(p1+p2)$ kN/m ²
Extr.	108,60	72,24	54,30	0,303	16,47	SI	-186,7	2,0	-184,7
						SV	6,3	46,0	52,3
						IV	918,0	253,8	1171,8
0	108,60	72,24	54,30	0,303	16,47	SI	-186,7	2,0	-184,7
						SV	6,3	46,0	52,3
						IV	918,0	253,8	1171,8
1	217,20	144,49	54,30	0,378	20,54	SI	-373,5	-17,8	-391,2
						SV	12,7	37,1	49,8
						IV	1836,0	296,3	2132,2
2	325,80	216,73	54,30	0,458	24,88	SI	-560,2	-38,8	-599,0
						SV	19,0	27,7	46,6
						IV	2753,9	341,6	3095,6
3	380,10	252,85	54,30	0,543	29,50	SI	-653,6	-61,2	-714,8
						SV	22,1	17,6	39,7
						IV	3212,9	389,8	3602,8
4	380,10	252,85	54,30	0,588	31,94	SI	-653,6	-73,1	-726,6
						SV	22,1	12,3	34,4
						IV	3212,9	415,3	3628,3
5	380,10	252,85	54,30	0,593	32,21	SI	-653,6	-74,4	-728,0
						SV	22,1	11,7	33,8
						IV	3212,9	418,2	3631,1
6	380,10	252,85	54,30	0,588	31,94	SI	-653,6	-73,1	-726,6
						SV	22,1	12,3	34,4
						IV	3212,9	415,3	3628,3
7	380,10	252,85	54,30	0,543	29,50	SI	-653,6	-61,2	-714,8
						SV	22,1	17,6	39,7
						IV	3212,9	389,8	3602,8
8	325,80	216,73	54,30	0,458	24,88	SI	-560,2	-38,8	-599,0
						SV	19,0	27,7	46,6
						IV	2753,9	341,6	3095,6
9	217,20	144,49	54,30	0,378	20,54	SI	-373,5	-17,8	-391,2
						SV	12,7	37,1	49,8
						IV	1836,0	296,3	2132,2
10	108,60	72,24	54,30	0,303	16,47	SI	-186,7	2,0	-184,7
						SV	6,3	46,0	52,3
						IV	918,0	253,8	1171,8

Temos a seguir as tensões de protensão na viga pré fabricada após a 1ª e 2ª protensão, levando-se em consideração as perdas imediatas, atrito, acomodação das ancoragens, retração, fluência e relaxação do aço.

Seção		$\sigma_{p1} + \sigma_{p2}$ kN/m²	$\Delta s(p1+p2)$ kN/m²	$\sigma_{p(1+2)}$ kN/m²
Extr.	S l	0,0	-184,7	-184,7
	S v	-2792,0	52,3	-2739,7
	l v	-12608,7	1171,8	-11436,9
0	S l	0,0	-184,7	-184,7
	S v	-2798,6	52,3	-2746,3
	l v	-12615,6	1171,8	-11443,8
1	S l	0,0	-391,2	-391,2
	S v	2735,4	49,8	2785,2
	l v	-21460,6	2132,2	-19328,4
2	S l	0,0	-599,0	-599,0
	S v	8317,6	46,6	8364,2
	l v	-29891,8	3095,6	-26796,2
3	S l	0,0	-714,8	-714,8
	S v	12823,1	39,7	12862,8
	l v	-35593,6	3602,8	-31990,9
4	S l	0,0	-726,6	-726,6
	S v	14651,4	34,4	14685,8
	l v	-37319,2	3628,3	-33691,0
5	S l	0,0	-728,0	-728,0
	S v	14884,8	33,8	14918,6
	l v	-37590,2	3631,1	-33959,1
6	S l	0,0	-726,6	-726,6
	S v	14651,0	34,4	14685,4
	l v	-37318,4	3628,3	-33690,1
7	S l	0,0	-714,8	-714,8
	S v	12822,4	39,7	12862,1
	l v	-35591,9	3602,8	-31989,1
8	S l	0,0	-599,0	-599,0
	S v	8316,6	46,6	8363,2
	l v	-29889,5	3095,6	-26794,0
9	S l	0,0	-391,2	-391,2
	S v	2734,5	49,8	2784,3
	l v	-21458,6	2132,2	-19326,4
10	S l	0,0	-184,7	-184,7
	S v	-2796,3	52,3	-2744,0
	l v	-12620,8	1171,8	-11449,1

Quadro geral de tensões

VIGA A								
Seção	Fibras	1	2	1+2	3			
		1ª+2ª prot	g1+g2+g3	Fase 4	$\sigma_{pmax}+$ kN/m²	Fase4 + 0,3 $\sigma_{pmax}+$	Fase4 + 0,5 $\sigma_{pmax}+$	Fase4 + 1,0 $\sigma_{pmax}+$
Extr.	S l	-184,7	9,3	-175,5	0,0	-175,5	-175,5	-175,5
	S v	-2739,7	803,0	-1936,7	0,0	-1936,7	-1936,7	-1936,7
	l v	-11436,9	-751,6	-12188,5	0,0	-12188,5	-12188,5	-12188,5
0	S l	-184,7	9,3	-175,5	0,0	-175,5	-175,5	-175,5
	S v	-2746,3	762,5	-1983,8	0,0	-1983,8	-1983,8	-1983,8
	l v	-11443,8	-788,7	-12232,6	0,0	-12232,6	-12232,6	-12232,6
1	S l	-391,2	-766,7	-1157,9	-1914,6	-1732,3	-2115,2	-3072,5
	S v	2785,2	-7272,6	-4487,4	-859,9	-4745,4	-4917,4	-5347,3
	l v	-19328,4	7995,5	-11332,9	4120,4	-10096,8	-9272,7	-7212,5
2	S l	-599,0	-1364,2	-1963,2	-3384,3	-2978,5	-3655,4	-5347,5
	S v	8364,2	-13181,4	-4817,2	-1520,0	-5273,2	-5577,2	-6337,2
	l v	-26796,2	14447,4	-12348,8	7283,4	-10163,8	-8707,1	-5065,4
3	S l	-714,8	-1790,8	-2505,6	-4409,1	-3828,3	-4710,1	-6914,6
	S v	12862,8	-17387,6	-4524,7	-1980,3	-5118,8	-5514,9	-6505,0
	l v	-31990,9	19042,3	-12948,6	9488,9	-10101,9	-8204,2	-3459,7
4	S l	-726,6	-2046,4	-2773,1	-4989,0	-4269,7	-5267,5	-7762,0
	S v	14685,8	-19891,1	-5205,3	-2240,8	-5877,5	-6325,7	-7446,1
	l v	-33691,0	21780,2	-11910,7	10736,9	-8689,7	-6542,3	-1173,9
5	S l	-728,0	-2131,1	-2859,1	-5124,0	-4396,3	-5421,1	-7983,1
	S v	14918,6	-20691,9	-5773,3	-2301,4	-6463,7	-6924,0	-8074,7
	l v	-33959,1	22661,2	-11297,9	11027,4	-7989,7	-5784,2	-270,5
6	S l	-726,6	-2044,9	-2771,5	-4989,0	-4268,2	-5266,0	-7760,5
	S v	14685,4	-19790,1	-5104,8	-2240,8	-5777,0	-6225,1	-7345,5
	l v	-33690,1	21685,2	-12004,9	10736,9	-8783,9	-6636,5	-1268,1
7	S l	-714,8	-1787,8	-2502,5	-4409,1	-3825,3	-4707,1	-6911,6
	S v	12862,1	-17185,7	-4323,6	-1980,3	-4917,7	-5313,8	-6303,9
	l v	-31989,1	18852,2	-13137,0	9488,9	-10290,3	-8392,6	-3648,1
8	S l	-599,0	-1359,7	-1958,7	-3384,3	-2974,0	-3650,8	-5343,0
	S v	8363,2	-12878,6	-4515,4	-1520,0	-4971,4	-5275,4	-6035,4
	l v	-26794,0	14162,2	-12631,8	7283,4	-10446,8	-8990,1	-5348,4
9	S l	-391,2	-760,7	-1151,9	-1914,6	-1726,3	-2109,2	-3066,5
	S v	2784,3	-6868,9	-4084,6	-859,9	-4342,5	-4514,5	-4944,5
	l v	-19326,4	7615,2	-11711,2	4120,4	-10475,0	-9651,0	-7590,7
10	S l	-184,7	1,7	-183,0	0,0	-183,0	-183,0	-183,0
	S v	-2744,0	338,9	-2405,1	0,0	-2405,1	-2405,1	-2405,1
	l v	-11449,1	-313,4	-11762,4	0,0	-11762,4	-11762,4	-11762,4

$$\sigma_{t_{max}} = -1936,7 \quad -1936,7 \quad -1936,7 \quad -270,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -13137,0 \quad -12232,6 \quad -12232,6 \quad -12232,6 \text{ kN/m}^2$$

Seção	Fibras	Fase 4	σ_{pmax} - kN/m²	Fase4 + $0,3\sigma_{pmax}$ -	Fase4 + $0,5\sigma_{pmax}$ -	Fase4 + $1,0\sigma_{pmax}$ -
Extr.	SI	-175,5	0,0	-175,5	-175,5	-175,5
	SV	-1936,7	0,0	-1936,7	-1936,7	-1936,7
	IV	-12188,5	0,0	-12188,5	-12188,5	-12188,5
0	SI	-175,5	0,0	-175,5	-175,5	-175,5
	SV	-1983,8	0,0	-1983,8	-1983,8	-1983,8
	IV	-12232,6	0,0	-12232,6	-12232,6	-12232,6
1	SI	-1157,9	0,0	-1157,9	-1157,9	-1157,9
	SV	-4487,4	0,0	-4487,4	-4487,4	-4487,4
	IV	-11332,9	0,0	-11332,9	-11332,9	-11332,9
2	SI	-1963,2	0,0	-1963,2	-1963,2	-1963,2
	SV	-4817,2	0,0	-4817,2	-4817,2	-4817,2
	IV	-12348,8	0,0	-12348,8	-12348,8	-12348,8
3	SI	-2505,6	0,0	-2505,6	-2505,6	-2505,6
	SV	-4524,7	0,0	-4524,7	-4524,7	-4524,7
	IV	-12948,6	0,0	-12948,6	-12948,6	-12948,6
4	SI	-2773,1	0,0	-2773,1	-2773,1	-2773,1
	SV	-5205,3	0,0	-5205,3	-5205,3	-5205,3
	IV	-11910,7	0,0	-11910,7	-11910,7	-11910,7
5	SI	-2859,1	0,0	-2859,1	-2859,1	-2859,1
	SV	-5773,3	0,0	-5773,3	-5773,3	-5773,3
	IV	-11297,9	0,0	-11297,9	-11297,9	-11297,9
6	SI	-2771,5	0,0	-2771,5	-2771,5	-2771,5
	SV	-5104,8	0,0	-5104,8	-5104,8	-5104,8
	IV	-12004,9	0,0	-12004,9	-12004,9	-12004,9
7	SI	-2502,5	0,0	-2502,5	-2502,5	-2502,5
	SV	-4323,6	0,0	-4323,6	-4323,6	-4323,6
	IV	-13137,0	0,0	-13137,0	-13137,0	-13137,0
8	SI	-1958,7	0,0	-1958,7	-1958,7	-1958,7
	SV	-4515,4	0,0	-4515,4	-4515,4	-4515,4
	IV	-12631,8	0,0	-12631,8	-12631,8	-12631,8
9	SI	-1151,9	0,0	-1151,9	-1151,9	-1151,9
	SV	-4084,6	0,0	-4084,6	-4084,6	-4084,6
	IV	-11711,2	0,0	-11711,2	-11711,2	-11711,2
10	SI	-183,0	0,0	-183,0	-183,0	-183,0
	SV	-2405,1	0,0	-2405,1	-2405,1	-2405,1
	IV	-11762,4	0,0	-11762,4	-11762,4	-11762,4

$$\sigma_{t_{max}} = -1936,7 \quad -1936,7 \quad -1936,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -13137,0 \quad -13137,0 \quad -13137,0 \text{ kN/m}^2$$

As tensões máximas permitidas vale:

$$f_{ck} = 45,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t_{adm}} = 4555,11 \text{ Kn/m}^2$$

A máxima tensão de tração é: $\sigma_{t_{max}} = -1936,66 \text{ kN/m}^2$ **OK**

A máxima tensão de compressão na parte inferior da viga é:

$$\sigma_{c_{adm}} = -27000,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -13137,0 \text{ kN/m}^2$$
 OK

VIGA B

Seção	Fibras	1	2	1+2	3			
		1ª+2ª prot	g1+g2+g3	Fase 4	$\sigma_{pmax}+$ kN/m²	Fase4 + 0,3 $\sigma_{pmax}+$	Fase4 + 0,5 $\sigma_{pmax}+$	Fase4 + 1,0 $\sigma_{pmax}+$
Extr.	S l	-184,7	9,3	-175,4	0,0	-175,4	-175,4	-175,4
	S v	-2739,7	-46,0	-2785,7	0,0	-2785,7	-2785,7	-2785,7
	l v	-11436,9	-66,0	-11502,9	0,0	-11502,9	-11502,9	-11502,9
0	S l	-184,7	9,3	-175,4	0,0	-175,4	-175,4	-175,4
	S v	-2746,3	-86,5	-2832,8	0,0	-2832,8	-2832,8	-2832,8
	l v	-11443,8	-103,1	-11546,9	0,0	-11546,9	-11546,9	-11546,9
1	S l	-391,2	-769,3	-1160,6	-2651,0	-1955,9	-2486,1	-3811,6
	S v	2785,2	-7553,7	-4768,6	-1190,7	-5125,8	-5363,9	-5959,3
	l v	-19328,4	8257,6	-11070,8	5705,4	-9359,2	-8218,1	-5365,4
2	S l	-599,0	-1368,9	-1967,9	-4687,1	-3374,0	-4311,5	-6655,0
	S v	8364,2	-13698,2	-5334,1	-2105,2	-5965,6	-6386,7	-7439,3
	l v	-26796,2	14928,9	-11867,3	10087,3	-8841,1	-6823,7	-1780,0
3	S l	-714,8	-1796,9	-2511,7	-6108,3	-4344,2	-5565,8	-8620,0
	S v	12862,8	-18094,2	-5231,3	-2743,5	-6054,4	-6603,1	-7974,8
	l v	-31990,9	19700,1	-12290,8	13145,8	-8347,0	-5717,9	855,0
4	S l	-726,6	-2053,4	-2780,0	-6914,5	-4854,4	-6237,3	-9694,5
	S v	14685,8	-20741,5	-6055,7	-3105,6	-6987,4	-7608,5	-9161,3
	l v	-33691,0	22571,3	-11119,7	14880,8	-6655,4	-3679,3	3761,1
5	S l	-728,0	-2138,4	-2866,4	-7105,7	-4998,1	-6419,2	-9972,1
	S v	14918,6	-21640,2	-6721,6	-3191,5	-7679,0	-8317,3	-9913,1
	l v	-33959,1	23542,4	-10416,7	15292,4	-5829,0	-2770,5	4875,6
6	S l	-726,6	-2051,9	-2778,5	-6914,5	-4852,9	-6235,8	-9693,0
	S v	14685,4	-20790,4	-6105,0	-3105,6	-7036,7	-7657,8	-9210,6
	l v	-33690,1	22613,4	-11076,7	14880,8	-6612,4	-3636,3	3804,1
7	S l	-714,8	-1793,9	-2508,6	-6108,3	-4341,1	-5562,8	-8616,9
	S v	12862,1	-18192,0	-5329,9	-2743,5	-6152,9	-6701,6	-8073,4
	l v	-31989,1	19784,4	-12204,8	13145,8	-8261,0	-5631,9	941,0
8	S l	-599,0	-1364,3	-1963,3	-4687,1	-3369,5	-4306,9	-6650,5
	S v	8363,2	-13844,9	-5481,7	-2105,2	-6113,3	-6534,3	-7586,9
	l v	-26794,0	15055,3	-11738,7	10087,3	-8712,5	-6695,0	-1651,3
9	S l	-391,2	-763,3	-1154,5	-2651,0	-1949,8	-2480,0	-3805,5
	S v	2784,3	-7749,3	-4965,0	-1190,7	-5322,2	-5560,4	-6155,7
	l v	-19326,4	8426,1	-10900,2	5705,4	-9188,6	-8047,5	-5194,8
10	S l	-184,7	1,7	-183,0	0,0	-183,0	-183,0	-183,0
	S v	-2744,0	339,4	-2404,7	0,0	-2404,7	-2404,7	-2404,7
	l v	-11449,1	-313,8	-11762,9	0,0	-11762,9	-11762,9	-11762,9

$\sigma_{tmax} =$ -2404,7 -2404,7 -2404,7 4875,6 kN/m²

$\sigma_{cmax} =$ -12290,8 -11762,9 -11762,9 -11762,9 kN/m²

Seção	Fibras					
		Fase 4	σ_{pmax} - kN/m ²	Fase4 + $0,3\sigma_{pmax}$ -	Fase4 + $0,5\sigma_{pmax}$ -	Fase4 + $1,0\sigma_{pmax}$ -
Extr.	S I	-175,4	0,0	-175,4	-175,4	-175,4
	S v	-2785,7	0,0	-2785,7	-2785,7	-2785,7
	I v	-11502,9	0,0	-11502,9	-11502,9	-11502,9
0	S I	-175,4	0,0	-175,4	-175,4	-175,4
	S v	-2832,8	0,0	-2832,8	-2832,8	-2832,8
	I v	-11546,9	0,0	-11546,9	-11546,9	-11546,9
1	S I	-1160,6	0,0	-1160,6	-1160,6	-1160,6
	S v	-4768,6	0,0	-4768,6	-4768,6	-4768,6
	I v	-11070,8	0,0	-11070,8	-11070,8	-11070,8
2	S I	-1967,9	0,0	-1967,9	-1967,9	-1967,9
	S v	-5334,1	0,0	-5334,1	-5334,1	-5334,1
	I v	-11867,3	0,0	-11867,3	-11867,3	-11867,3
3	S I	-2511,7	0,0	-2511,7	-2511,7	-2511,7
	S v	-5231,3	0,0	-5231,3	-5231,3	-5231,3
	I v	-12290,8	0,0	-12290,8	-12290,8	-12290,8
4	S I	-2780,0	0,0	-2780,0	-2780,0	-2780,0
	S v	-6055,7	0,0	-6055,7	-6055,7	-6055,7
	I v	-11119,7	0,0	-11119,7	-11119,7	-11119,7
5	S I	-2866,4	0,0	-2866,4	-2866,4	-2866,4
	S v	-6721,6	0,0	-6721,6	-6721,6	-6721,6
	I v	-10416,7	0,0	-10416,7	-10416,7	-10416,7
6	S I	-2778,5	0,0	-2778,5	-2778,5	-2778,5
	S v	-6105,0	0,0	-6105,0	-6105,0	-6105,0
	I v	-11076,7	0,0	-11076,7	-11076,7	-11076,7
7	S I	-2508,6	0,0	-2508,6	-2508,6	-2508,6
	S v	-5329,9	0,0	-5329,9	-5329,9	-5329,9
	I v	-12204,8	0,0	-12204,8	-12204,8	-12204,8
8	S I	-1963,3	0,0	-1963,3	-1963,3	-1963,3
	S v	-5481,7	0,0	-5481,7	-5481,7	-5481,7
	I v	-11738,7	0,0	-11738,7	-11738,7	-11738,7
9	S I	-1154,5	0,0	-1154,5	-1154,5	-1154,5
	S v	-4965,0	0,0	-4965,0	-4965,0	-4965,0
	I v	-10900,2	0,0	-10900,2	-10900,2	-10900,2
10	S I	-183,0	0,0	-183,0	-183,0	-183,0
	S v	-2404,7	0,0	-2404,7	-2404,7	-2404,7
	I v	-11762,9	0,0	-11762,9	-11762,9	-11762,9

$$\sigma_{t_{max}} = -2404,7 \quad -2404,7 \quad -2404,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -12290,8 \quad -12290,8 \quad -12290,8 \text{ kN/m}^2$$

As tensões máximas permitidas vale:

$$f_{ck} = 45,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{t_{adm}} = 4555,11 \text{ Kn/m}^2$$

A máxima tensão de tração é: $\sigma_{t_{max}} = -2404,67 \text{ kN/m}^2$ **OK**

A máxima tensão de compressão na parte inferior da viga é:

$$\sigma_{c_{adm}} = -30150,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -12290,8 \text{ kN/m}^2 \quad \textbf{OK}$$

VIGA C

Seção	Fibras	1	2	1+2	3			
		1ª+2ª prot	g1+g2+g3	Fase 4	$\sigma_{pmax}+$ kN/m²	Fase4 + $0,3\sigma_{pmax}+$	Fase4 + $0,5\sigma_{pmax}+$	Fase4 + $1,0\sigma_{pmax}+$
Extr.	S l	-184,7	9,3	-175,4	0,0	-175,4	-175,4	-175,4
	S v	-2739,7	-801,5	-3541,2	0,0	-3541,2	-3541,2	-3541,2
	l v	-11436,9	-757,9	-12194,9	0,0	-12194,9	-12194,9	-12194,9
0	S l	-184,7	9,3	-175,4	0,0	-175,4	-175,4	-175,4
	S v	-2746,3	-842,0	-3588,3	0,0	-3588,3	-3588,3	-3588,3
	l v	-11443,8	-795,0	-12238,9	0,0	-12238,9	-12238,9	-12238,9
1	S l	-391,2	-769,3	-1160,6	-2785,2	-1996,1	-2553,1	-3945,7
	S v	2785,2	-8126,9	-5341,7	-1250,9	-5717,0	-5967,2	-6592,7
	l v	-19328,4	8782,5	-10545,9	5994,0	-8747,7	-7548,9	-4551,9
2	S l	-599,0	-1368,9	-1967,9	-4925,2	-3445,5	-4430,5	-6893,1
	S v	8364,2	-14443,5	-6079,3	-2212,1	-6742,9	-7185,3	-8291,4
	l v	-26796,2	15611,4	-11184,8	10599,6	-8004,9	-5885,0	-585,2
3	S l	-714,8	-1796,9	-2511,7	-6420,1	-4437,7	-5721,7	-8931,8
	S v	12862,8	-18931,6	-6068,7	-2883,5	-6933,8	-7510,5	-8952,2
	l v	-31990,9	20467,1	-11523,8	13816,9	-7378,8	-4615,4	2293,0
4	S l	-726,6	-2053,4	-2780,0	-7269,9	-4961,0	-6415,0	-10049,9
	S v	14685,8	-21591,1	-6905,3	-3265,2	-7884,9	-8538,0	-10170,6
	l v	-33691,0	23349,4	-10341,5	15645,7	-5647,8	-2518,7	5304,1
5	S l	-728,0	-2138,4	-2866,4	-7474,5	-5108,7	-6603,6	-10340,9
	S v	14918,6	-22422,2	-7503,5	-3357,1	-8510,7	-9182,1	-10860,7
	l v	-33959,1	24258,5	-9700,6	16086,1	-4874,7	-1657,5	6385,6
6	S l	-726,6	-2051,9	-2778,5	-7269,9	-4959,5	-6413,5	-10048,4
	S v	14685,4	-21424,7	-6739,3	-3265,2	-7718,9	-8371,9	-10004,5
	l v	-33690,1	23194,4	-10495,7	15645,7	-5802,0	-2672,9	5149,9
7	S l	-714,8	-1793,9	-2508,6	-6420,1	-4434,7	-5718,7	-8928,7
	S v	12862,1	-18598,7	-5736,6	-2883,5	-6601,7	-7178,4	-8620,1
	l v	-31989,1	20156,9	-11832,2	13816,9	-7687,2	-4923,8	1984,6
8	S l	-599,0	-1364,3	-1963,3	-4925,2	-3440,9	-4425,9	-6888,5
	S v	8363,2	-13944,2	-5581,0	-2212,1	-6244,6	-6687,0	-7793,1
	l v	-26794,0	15146,2	-11647,8	10599,6	-8467,9	-6347,9	-1048,1
9	S l	-391,2	-763,3	-1154,5	-2785,2	-1990,0	-2547,1	-3939,6
	S v	2784,3	-7461,2	-4676,9	-1250,9	-5052,2	-5302,3	-5927,8
	l v	-19326,4	8162,2	-11164,2	5994,0	-9366,0	-8167,2	-5170,1
10	S l	-184,7	1,7	-183,0	0,0	-183,0	-183,0	-183,0
	S v	-2744,0	18,2	-2725,8	0,0	-2725,8	-2725,8	-2725,8
	l v	-11449,1	-19,7	-11468,8	0,0	-11468,8	-11468,8	-11468,8

$\sigma_{tmax} =$ -2725,8 -2725,8 -1657,5 6385,6 kN/m²

$\sigma_{cmax} =$ -12238,9 -12238,9 -12238,9 -12238,9 kN/m²

Seção	Fibras					
		Fase 4	σ_{pmax} - kN/m ²	Fase4 + $0,3\sigma_{pmax}$ -	Fase4 + $0,5\sigma_{pmax}$ -	Fase4 + $1,0\sigma_{pmax}$ -
Extr.	SI	-175,4	0,0	-175,4	-175,4	-175,4
	SV	-3541,2	0,0	-3541,2	-3541,2	-3541,2
	IV	-12194,9	0,0	-12194,9	-12194,9	-12194,9
0	SI	-175,4	0,0	-175,4	-175,4	-175,4
	SV	-3588,3	0,0	-3588,3	-3588,3	-3588,3
	IV	-12238,9	0,0	-12238,9	-12238,9	-12238,9
1	SI	-1160,6	0,0	-1160,6	-1160,6	-1160,6
	SV	-5341,7	0,0	-5341,7	-5341,7	-5341,7
	IV	-10545,9	0,0	-10545,9	-10545,9	-10545,9
2	SI	-1967,9	0,0	-1967,9	-1967,9	-1967,9
	SV	-6079,3	0,0	-6079,3	-6079,3	-6079,3
	IV	-11184,8	0,0	-11184,8	-11184,8	-11184,8
3	SI	-2511,7	0,0	-2511,7	-2511,7	-2511,7
	SV	-6068,7	0,0	-6068,7	-6068,7	-6068,7
	IV	-11523,8	0,0	-11523,8	-11523,8	-11523,8
4	SI	-2780,0	0,0	-2780,0	-2780,0	-2780,0
	SV	-6905,3	0,0	-6905,3	-6905,3	-6905,3
	IV	-10341,5	0,0	-10341,5	-10341,5	-10341,5
5	SI	-2866,4	0,0	-2866,4	-2866,4	-2866,4
	SV	-7503,5	0,0	-7503,5	-7503,5	-7503,5
	IV	-9700,6	0,0	-9700,6	-9700,6	-9700,6
6	SI	-2778,5	0,0	-2778,5	-2778,5	-2778,5
	SV	-6739,3	0,0	-6739,3	-6739,3	-6739,3
	IV	-10495,7	0,0	-10495,7	-10495,7	-10495,7
7	SI	-2508,6	0,0	-2508,6	-2508,6	-2508,6
	SV	-5736,6	0,0	-5736,6	-5736,6	-5736,6
	IV	-11832,2	0,0	-11832,2	-11832,2	-11832,2
8	SI	-1963,3	0,0	-1963,3	-1963,3	-1963,3
	SV	-5581,0	0,0	-5581,0	-5581,0	-5581,0
	IV	-11647,8	0,0	-11647,8	-11647,8	-11647,8
9	SI	-1154,5	0,0	-1154,5	-1154,5	-1154,5
	SV	-4676,9	0,0	-4676,9	-4676,9	-4676,9
	IV	-11164,2	0,0	-11164,2	-11164,2	-11164,2
10	SI	-183,0	0,0	-183,0	-183,0	-183,0
	SV	-2725,8	0,0	-2725,8	-2725,8	-2725,8
	IV	-11468,8	0,0	-11468,8	-11468,8	-11468,8

$$\sigma_{t_{max}} = -2725,8 \quad -2725,8 \quad -2725,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -12238,9 \quad -12238,9 \quad -12238,9 \text{ kN/m}^2$$

As tensões máximas permitidas vale:

$$f_{ck} = 45,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t_{adm}} = 4555,11 \text{ Kn/m}^2$$

A máxima tensão de tração é: $\sigma_{t_{max}} = -1657,51 \text{ kN/m}^2$ **OK**

A máxima tensão de compressão na parte inferior da viga é:

$$\sigma_{c_{adm}} = -27000,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -12238,9 \text{ kN/m}^2 \quad \textbf{OK}$$

VIGA F

Seção	Fibras	1	2	1+2	3			
		1ª+2ª prot	g1+g2+g3	Fase 4	$\sigma_{pmax}+$ kN/m²	Fase4 + $0,3\sigma_{pmax}+$	Fase4 + $0,5\sigma_{pmax}+$	Fase4 + $1,0\sigma_{pmax}$
Extr.	S l	-184,7	14,3	-170,5	0,0	-170,5	-170,5	-170,5
	S v	-2739,7	805,3	-1934,4	0,0	-1934,4	-1934,4	-1934,4
	l v	-11436,9	-762,3	-12199,3	0,0	-12199,3	-12199,3	-12199,3
0	S l	-184,7	14,3	-170,5	0,0	-170,5	-170,5	-170,5
	S v	-2746,3	764,8	-1981,6	0,0	-1981,6	-1981,6	-1981,6
	l v	-11443,8	-799,4	-12243,3	0,0	-12243,3	-12243,3	-12243,3
1	S l	-391,2	-1178,4	-1569,6	-3301,1	-2559,9	-3220,1	-4870,7
	S v	2785,2	-7457,5	-4672,3	-1482,7	-5117,1	-5413,6	-6155,0
	l v	-19328,4	8881,4	-10447,0	7104,4	-8315,7	-6894,8	-3342,6
2	S l	-599,0	-2096,6	-2695,7	-5828,7	-4444,3	-5610,0	-8524,4
	S v	8364,2	-13510,4	-5146,2	-2617,9	-5931,5	-6455,1	-7764,1
	l v	-26796,2	16023,7	-10772,5	12544,1	-7009,3	-4500,5	1771,5
3	S l	-714,8	-2752,2	-3467,0	-7582,8	-5741,8	-7258,4	-11049,8
	S v	12862,8	-17819,4	-4956,5	-3405,7	-5978,3	-6659,4	-8362,3
	l v	-31990,9	21111,5	-10879,4	16319,0	-5983,7	-2719,9	5439,6
4	S l	-726,6	-3145,1	-3871,7	-8563,3	-6440,7	-8153,4	-12435,1
	S v	14685,8	-20384,5	-5698,8	-3846,2	-6852,6	-7621,9	-9544,9
	l v	-33691,0	24144,8	-9546,2	18429,3	-4017,4	-331,5	8883,1
5	S l	-728,0	-3275,3	-4003,3	-8770,3	-6634,4	-8388,4	-12773,6
	S v	14918,6	-21205,8	-6287,2	-3939,1	-7468,9	-8256,8	-10226,3
	l v	-33959,1	25123,6	-8835,5	18874,9	-3173,0	601,9	10039,4
6	S l	-726,6	-3142,8	-3869,4	-8563,3	-6438,4	-8151,1	-12432,7
	S v	14685,4	-20283,2	-5597,9	-3846,2	-6751,7	-7520,9	-9444,0
	l v	-33690,1	24047,9	-9642,2	18429,3	-4113,4	-427,5	8787,2
7	S l	-714,8	-2747,6	-3462,4	-7582,8	-5737,2	-7253,7	-11045,1
	S v	12862,1	-17616,8	-4754,7	-3405,7	-5776,4	-6457,6	-8160,4
	l v	-31989,1	20917,8	-11071,3	16319,0	-6175,6	-2911,8	5247,7
8	S l	-599,0	-2089,7	-2688,7	-5828,7	-4437,3	-5603,0	-8517,4
	S v	8363,2	-13206,5	-4843,3	-2617,9	-5628,6	-6152,2	-7461,2
	l v	-26794,0	15733,2	-11060,8	12544,1	-7297,5	-4788,7	1483,3
9	S l	-391,2	-1169,1	-1560,3	-3301,1	-2550,6	-3210,8	-4861,4
	S v	2784,3	-7052,3	-4268,0	-1482,7	-4712,8	-5009,3	-5750,7
	l v	-19326,4	8494,1	-10832,3	7104,4	-8700,9	-7280,1	-3727,9
10	S l	-184,7	2,6	-182,1	0,0	-182,1	-182,1	-182,1
	S v	-2744,0	339,3	-2404,7	0,0	-2404,7	-2404,7	-2404,7
	l v	-11449,1	-315,3	-11764,4	0,0	-11764,4	-11764,4	-11764,4

$\sigma_{tmax} =$ -1934,4 -1934,4 601,9 10039,4 kN/m²

$\sigma_{cmax} =$ -12243,3 -12243,3 -12243,3 -12243,3 kN/m²

Seção	Fibras	Fase 4	σ_{pmax} - kN/m ²	Fase4 + $0,3\sigma_{pmax}$ -	Fase4 + $0,5\sigma_{pmax}$ -	Fase4 + $1,0\sigma_{pmax}$ -
Extr.	S I	-170,5	0,0	-170,5	-170,5	-170,5
	S v	-1934,4	0,0	-1934,4	-1934,4	-1934,4
	I v	-12199,3	0,0	-12199,3	-12199,3	-12199,3
0	S I	-170,5	0,0	-170,5	-170,5	-170,5
	S v	-1981,6	0,0	-1981,6	-1981,6	-1981,6
	I v	-12243,3	0,0	-12243,3	-12243,3	-12243,3
1	S I	-1569,6	0,0	-1569,6	-1569,6	-1569,6
	S v	-4672,3	0,0	-4672,3	-4672,3	-4672,3
	I v	-10447,0	0,0	-10447,0	-10447,0	-10447,0
2	S I	-2695,7	0,0	-2695,7	-2695,7	-2695,7
	S v	-5146,2	0,0	-5146,2	-5146,2	-5146,2
	I v	-10772,5	0,0	-10772,5	-10772,5	-10772,5
3	S I	-3467,0	0,0	-3467,0	-3467,0	-3467,0
	S v	-4956,5	0,0	-4956,5	-4956,5	-4956,5
	I v	-10879,4	0,0	-10879,4	-10879,4	-10879,4
4	S I	-3871,7	0,0	-3871,7	-3871,7	-3871,7
	S v	-5698,8	0,0	-5698,8	-5698,8	-5698,8
	I v	-9546,2	0,0	-9546,2	-9546,2	-9546,2
5	S I	-4003,3	0,0	-4003,3	-4003,3	-4003,3
	S v	-6287,2	0,0	-6287,2	-6287,2	-6287,2
	I v	-8835,5	0,0	-8835,5	-8835,5	-8835,5
6	S I	-3869,4	0,0	-3869,4	-3869,4	-3869,4
	S v	-5597,9	0,0	-5597,9	-5597,9	-5597,9
	I v	-9642,2	0,0	-9642,2	-9642,2	-9642,2
7	S I	-3462,4	0,0	-3462,4	-3462,4	-3462,4
	S v	-4754,7	0,0	-4754,7	-4754,7	-4754,7
	I v	-11071,3	0,0	-11071,3	-11071,3	-11071,3
8	S I	-2688,7	0,0	-2688,7	-2688,7	-2688,7
	S v	-4843,3	0,0	-4843,3	-4843,3	-4843,3
	I v	-11060,8	0,0	-11060,8	-11060,8	-11060,8
9	S I	-1560,3	0,0	-1560,3	-1560,3	-1560,3
	S v	-4268,0	0,0	-4268,0	-4268,0	-4268,0
	I v	-10832,3	0,0	-10832,3	-10832,3	-10832,3
10	S I	-182,1	0,0	-182,1	-182,1	-182,1
	S v	-2404,7	0,0	-2404,7	-2404,7	-2404,7
	I v	-11764,4	0,0	-11764,4	-11764,4	-11764,4

$$\sigma_{t_{max}} = -1934,4 \quad -1934,4 \quad -1934,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -12243,3 \quad -12243,3 \quad -12243,3 \text{ kN/m}^2$$

As tensões máximas permitidas vale:

$$f_{ck} = 45,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t_{adm}} = 4555,11 \text{ Kn/m}^2$$

A máxima tensão de tração é: $\sigma_{t_{max}} = 601,94 \text{ kN/m}^2$

A máxima tensão de compressão na parte inferior da viga é:

$$\sigma_{c_{adm}} = -27000,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c_{max}} = -12243,3 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

9 - Verificação a rotura

PAULO MACHADO MASSA
PROFESSOR DE PONTES E OBRAS ESPECIAIS DA UERJ

Verificação do momento último de cálculo.

O momento último de resistencia vale:

$$M_u = \phi (A_{sp} \times f_{ps}(d_p - a/2) + A_s \times f_y(d_s - a/2) - A'_s \times f'_y(d'_s - a/2))$$

a = distância da linha neutra

$$a = (A_{sp} \times f_{ps} + A_s \times f_y - A'_s \times f'_y) / 0,85 f_{ck} \times b$$

Asp =	26,364	cm ²	fpu =	200,00	kN/cm ²	fy =	5000,00
As =	16,08	cm ²	fck =	300,00	kgf/cm ²	f'y =	4300,00
A's =	8,04	cm ²					
bw =	205,00	cm	dp =	93,00	cm		

$f_{ps} = f_{pu} [1 - (y_p/b_1)] (r_p f_{pu}/f'_c) =$
 $\phi = 0,9$
 $\rho_p = A_{ps}/b_w d_p = 0,00138$

Aço RB yp = 0,28

b1 = 0,85 - (fck - 280/70) * 0,05 = 0,84

fps = 19382,25 kgf/cm²

Daí temos a profundidade da linha neutra a = 10,65 cm

Mu = 4683,239 kNm Mdmax = 4549,02 kNm **OK**

Momentos fletores existentes

9.1- Momentos fletores

VIGA A					
Seção	Mg1	Mg2	Mg3	Mp+	Mp-
Ext	-1,80	-35,54	-1,91	0,00	0,00
0	-1,80	-35,54	-1,91	0,00	0,00
1	149,01	159,23	158,05	394,67	0,00
2	265,13	294,05	281,22	697,63	0,00
3	348,03	389,76	369,15	908,88	0,00
4	397,72	446,35	421,85	1028,42	0,00
5	414,18	463,83	439,31	1056,25	0,00
6	397,42	442,19	421,53	1028,42	0,00
7	347,45	381,43	368,52	908,88	0,00
8	264,25	281,56	280,28	697,63	0,00
9	147,83	142,57	156,80	394,67	0,00
10	-0,33	-14,71	-0,35	0,00	0,00

$Md1 = 1.00Mge + 1.50Mp+$
 $Md2 = 1.35Mge + 1.50Mp+$
 $Md3 + 1.00Mge + 1.50Mp -$
 $Md4 + 1.35Mge + 1.50Mp -$

Seção	VIGA A			
	Md1	Md2	Md3	Md4

Ext	-39,26	-53,00	-39,26	-53,00
0	-39,26	-53,00	-39,26	-53,00
1	1058,29	1221,49	466,29	629,49
2	1886,85	2180,99	840,40	1134,55
3	2470,26	2857,69	1106,95	1494,38
4	2808,54	3251,61	1265,92	1708,99
5	2901,69	3362,75	1317,32	1778,38
6	2803,77	3245,17	1261,14	1702,55
7	2460,72	2844,81	1097,40	1481,49
8	1872,53	2161,66	826,09	1115,22
9	1039,20	1195,72	447,20	603,72
10	-15,39	-20,78	-15,39	-20,78

Seção	VIGA B				
	Mg1	Mg2	Mg3	Mp+	Mp-

Ext	-1,80	-2,23	-1,91	0,00	0,00
0	-1,80	-2,23	-1,91	0,00	0,00
1	149,01	171,69	158,05	546,48	0,00
2	265,13	316,96	281,22	966,20	0,00
3	348,03	421,08	369,15	1259,15	0,00
4	397,72	484,05	421,85	1425,34	0,00
5	414,18	505,88	439,31	1464,76	0,00
6	397,42	486,55	421,53	1425,34	0,00
7	347,45	426,08	368,52	1259,15	0,00
8	264,25	324,46	280,28	966,20	0,00
9	147,83	181,69	156,80	546,48	0,00
10	-0,33	181,69	-0,35	0,00	0,00

Seção	VIGA B			
	Md1	Md2	Md3	Md4

Ext	-5,95	-8,03	-5,95	-8,03
0	-5,95	-8,03	-5,95	-8,03
1	1298,47	1466,03	478,75	646,31
2	2312,61	2614,76	863,31	1165,46
3	3026,99	3425,38	1138,26	1536,65
4	3441,62	3897,88	1303,61	1759,88
5	3556,50	4032,27	1359,36	1835,14
6	3443,51	3900,44	1305,51	1762,43
7	3030,78	3430,49	1142,05	1541,77
8	2318,29	2622,43	868,99	1173,13
9	1306,05	1476,26	486,32	656,53
10	181,00	244,36	181,00	244,36

VIGA C					
Seção	Mg1	Mg2	Mg3	Mp+	Mp-
Ext	-1,80	-35,85	-1,91	0,00	0,00
0	-1,80	-35,85	-1,91	0,00	0,00
1	149,01	197,19	158,05	574,13	0,00
2	265,13	350,11	281,22	1015,27	0,00
3	348,03	458,33	369,15	1323,43	0,00
4	397,72	521,85	421,85	1498,60	0,00
5	414,18	540,66	439,31	1540,79	0,00
6	397,42	514,77	421,53	1498,60	0,00
7	347,45	444,17	368,52	1323,43	0,00
8	264,25	328,87	280,28	1015,27	0,00
9	147,83	168,87	156,80	574,13	0,00
10	-0,33	-0,45	-0,35	0,00	0,00

Seção	VIGA C			
	Md1	Md2	Md3	Md4
Ext	-39,56	-53,41	-39,56	-53,41
0	-39,56	-53,41	-39,56	-53,41
1	1365,44	1541,93	504,25	680,73
2	2419,37	2733,13	896,46	1210,22
3	3160,66	3572,09	1175,52	1586,95
4	3589,31	4058,81	1341,41	1810,91
5	3705,33	4193,28	1394,15	1882,10
6	3581,63	4048,43	1333,73	1800,53
7	3145,29	3551,34	1160,14	1566,19
8	2396,31	2702,00	873,40	1179,09
9	1334,69	1500,42	473,50	639,23
10	-1,13	-1,52	-1,13	-1,52

VIGA F					
Seção	Mg1	Mg2	Mg3	Mp+	Mp-
Ext	-1,80	-2,23	-1,92	0,00	0,00
0	-1,80	-2,23	-1,92	0,00	0,00
1	149,01	171,69	158,59	680,48	0,00
2	265,13	316,96	282,18	1201,52	0,00
3	348,03	421,08	370,41	1563,10	0,00
4	397,72	484,05	423,29	1765,23	0,00
5	414,18	505,88	440,81	1807,90	0,00
6	397,42	486,55	422,97	1765,23	0,00
7	347,45	426,08	369,78	1563,10	0,00
8	264,25	324,46	281,24	1201,52	0,00
9	147,83	181,69	157,34	680,48	0,00
10	-0,33	-14,73	-0,35	0,00	0,00

Seção	VIGA F			
	Md1	Md2	Md3	Md4

Ext	-5,95	-8,04	-5,95	-8,04
0	-5,95	-8,04	-5,95	-8,04
1	1500,01	1667,76	479,29	647,04
2	2666,54	2969,03	864,27	1166,76
3	3484,17	3883,00	1139,52	1538,35
4	3952,89	4409,66	1305,05	1761,82
5	4072,72	4549,02	1360,86	1837,16
6	3954,79	4412,22	1306,94	1764,38
7	3487,95	3888,11	1143,31	1543,46
8	2672,22	2976,70	869,94	1174,42
9	1507,58	1677,98	486,86	657,26
10	-15,42	-20,81	-15,42	-20,81

Seção	Md _{max} +	Md _{max} -
	kNm	kNm

Ext	-5,95	-53,41
0	-5,95	-53,41
1	1667,76	466,29
2	2969,03	840,40
3	3883,00	1106,95
4	4409,66	1265,92
5	4549,02	1317,32
6	4412,22	1261,14
7	3888,11	1097,40
8	2976,70	826,09
9	1677,98	447,20
10	244,36	-20,81

fck =	32142,9 kN/m ²
fyk =	43,48 kN/m ²
h =	0,980 m
bw _s =	2,05 m
bw _i =	0,44 m
fyk210 =	210,00 kN/m ²
h sec 01 =	0,58 m

bw0 =	0,27 m
bwv =	0,27 m
L _{mesa} sup =	2,05 m
h _{mesainf} =	0,12 m

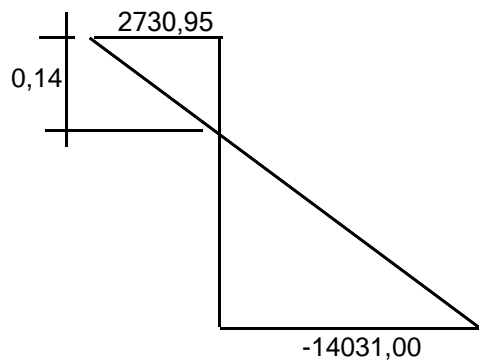
Para as armaduras positivas temos

Seção	Md(kNm)	kMd	kz	kx	x LN(m)	As _{inf} (cm ²)	Aexist	Asnec
Ext	0,00	0,000	1,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00 cm ²
0	0,00	0,000	0,988	0,030	0,02	0,00	0,00	0,00 cm ²
1	1667,76	0,026	0,984	0,040	0,03	9,47	14,20	-22,82 cm ²
2	2969,03	0,047	0,980	0,050	0,04	16,93	18,25	-5,55 cm ²
3	3883,00	0,061	0,976	0,060	0,05	22,23	26,36	-19,96 cm ²
4	4409,66	0,070	0,972	0,070	0,05	25,35	26,36	-4,89 cm ²
5	4549,02	0,072	0,972	0,070	0,05	26,15	26,36	-1,02 cm ²
6	4412,22	0,070	0,972	0,070	0,05	25,37	26,36	-4,82 cm ²
7	3888,11	0,061	0,976	0,060	0,05	22,26	26,36	-19,82 cm ²
8	2976,70	0,047	0,980	0,050	0,04	16,97	18,25	-6,18 cm ²
9	1677,98	0,027	0,984	0,040	0,03	9,53	14,20	-22,54 cm ²
10	244,36	0,004	0,990	0,025	0,02	1,38	4,06	-12,93 cm ²

Por ocasião da protensão na bancada, existe tensões de tração na fibra superior da viga

Daí, temos:

A posição da LN é: 0,14 m



$$\sigma_{\text{tração}} = 2731,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{comp}} = -14031,0 \text{ kN/m}^2$$

$$F_t = 67,13 \text{ kN}$$

$$A_s = 2,16 \text{ cm}^2$$

|| 2 Ø 16
1 Ø 20
1 Ø 25

Por ocasião da 2ª protensão, existe tensões de tração na fibra superior da viga

Daí, temos:

$$\sigma_{\text{tração}} = 5718,2 \text{ kN/m}^2$$

A posição da LN é: 0,14 m

$$\sigma_{\text{comp}} = -28513,0 \text{ kN/m}^2$$

$$F_t = 144,12 \text{ kN}$$

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

|| 2 Ø 16
2 Ø 20
1 Ø 25

9.2- Esforços cortantes

VIGA F					
Seção	Vg1	Vg2	Vg3	Vp+	Vp-
0esq	-5,15	-53,81	-8,39	0,00	0,00
0dir	78,23	93,02	127,53	359,22	-16,87
1	62,60	74,61	102,05	310,16	9,11
2	46,97	56,20	76,56	263,67	37,65
3	31,33	37,80	51,08	219,74	68,76
4	15,70	19,39	25,60	178,38	102,43
5	0,07	0,98	0,11	109,03	138,67
6	-15,56	-17,43	-25,37	103,34	177,47
7	-31,20	-35,84	-50,85	69,67	218,83
8	-46,83	-54,24	-76,34	38,56	262,76
9	-62,46	-72,65	-101,82	10,02	309,25
10esq	-78,09	-91,06	-127,30	-9,71	358,31
10dir	2,21	2,60	3,60	0,00	0,00

Envoltória de dimensionamento

$$Vd1 = 1.00Vge + 1.40Vp+$$

$$Vd2 = 1.3Vge + 1.40Vp+$$

$$Vd3 = 1.00Vge + 1.40Vp -$$

$$Vd4 = 1.3Vge + 1.40Vp -$$

VIGA A				
Seção	Vd1	Vd2	Vd3	Vd4
0esq	-67,35	-87,56	-67,35	-87,56
0dir	801,69	891,32	275,16	364,80
1	673,48	745,26	252,01	323,79
2	548,87	602,79	232,45	286,37
3	427,85	463,91	216,48	252,54
4	310,42	328,62	204,09	222,30
5	153,80	154,15	195,30	195,65
6	86,32	68,81	190,10	172,59
7	-20,35	-55,71	188,48	153,12
8	-123,42	-176,65	190,46	137,23
9	-222,91	-293,99	196,02	124,94
10esq	-310,05	-398,99	205,17	116,24
10dir	8,40	10,92	8,40	11,34

Dimensionamento

$$\begin{aligned}
 h &= 1,03 \text{ m} & f_{ct,m} &= 0,3f_{ck}^{2/3} = 3795,45 \text{ kN/m}^2 \\
 d &= 0,93 \text{ m} & f_{ctd} &= 0,7 \cdot f_{ctm} / \gamma = 1897,7 \text{ kN/m}^2 \\
 f_{ck} &= 45,00 \text{ MPa} \\
 f_{cd} &= 32142,86 \text{ kN/m}^2 \\
 f_{yk} &= 500,00 \text{ MPa} \\
 f_{yd} &= 43,48 \text{ kN/cm}^2 & M_{sd} &= 4549,02 \text{ kNm} \\
 \alpha_{v2} &= 0,82 & P_{00} &= 3404,91 \text{ kN} \\
 V_{rd2} &= 0,27 \alpha_{v2} f_{cdb_{wd}} = & W_i &= 0,0958 \text{ m}^3 \\
 V_{c0} &= 0,6 f_{ctd} b_w d + M_0 / M_{sd, \max} = & A_c &= 0,6633 \text{ m}^2 \\
 M_0 &= (\gamma_p P_{00} + \gamma_f N_g + q) W_i / A_c + \gamma_p P_{00} \cdot e_p = & e_p &= 0,073 \text{ m} \\
 \text{Daí:} & M_0 &= 667,42 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$V_{sw} = (A_s/s)(0,9d f_{yd}) =$$

$$V_c = V_{c0}(1 + M_0/M_{sd,max}) =$$

VIGA A									
Seção	bw (m)	Vsd (kN)	Vrd2 kN/m²	Vc0 kN/m²	Vc kN/m²	As/s	Vsw kN/m²	Vrd3 kN/m²	
0esq	0,235	-87,56	1555,30	248,85	285,36	0,00	0,00	285,36	OK
0dir	0,235	891,32	1555,30	248,85	285,36	16,65	605,96	891,32	OK
1	0,235	745,26	1555,30	248,85	285,36	12,64	459,90	745,26	OK
2	0,235	602,79	1555,30	248,85	285,36	8,72	317,43	602,79	OK
3	0,235	463,91	1555,30	248,85	285,36	4,91	178,55	463,91	OK
4	0,235	328,62	1555,30	248,85	285,36	1,19	43,26	328,62	OK
5	0,235	195,65	1555,30	248,85	285,36	0,00	0,00	285,36	OK
6	0,235	-68,81	1555,30	248,85	285,36	0,00	0,00	285,36	OK
7	0,235	55,71	1555,30	248,85	285,36	0,00	0,00	285,36	OK
8	0,235	176,65	1555,30	248,85	285,36	0,00	0,00	285,36	OK
9	0,235	293,99	1555,30	248,85	285,36	0,24	8,63	293,99	OK
10esq	0,235	398,99	1555,30	248,85	285,36	3,12	113,63	398,99	OK
10dir	0,235	11,34	1555,30	248,85	285,36	0,00	0,00	285,36	OK

Envoltória de fadiga

$$V1 = V_g + 0,5V_{p+} \quad \sigma_{s1} = (V1 - 0,5V_{c0}) / 0,9d A_{sw}/s \quad \Delta \sigma_{sd,fadiga} = 8,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$V2 = V_g + 0,5V_{p-} \quad \sigma_{s2} = (V2 - 0,5V_{c0}) / 0,9d A_{sw}/s$$

$$ff = (\sigma_{s1} - \sigma_{s2}) / \Delta \sigma_{sd,fadiga} =$$

VIGA A								
Seção	V1	V2	0,5Vc0 kN/m²	(As/s)	ΔV kN	$\Delta \sigma$ (kN/cm²)	ff	ff(As/s)f ad
0esq	-67,35	-67,35	124,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0dir	478,39	298,78	124,42	16,65	179,61	3,31	0,39	16,65
1	394,34	239,26	124,42	12,64	155,08	2,43	0,29	12,64
2	311,57	179,73	124,42	8,72	131,83	0,85	0,10	8,72
3	230,08	120,21	124,42	4,91	109,87	-2,97	-0,35	4,91
4								

Resumo das armaduras

Seção	Viga A	As/s,min = bw 0,2 fctm/fyx =	
	As/s cm²/m	As/s.min cm²/m	As/s.adot. cm²/m
0esq	0,00	3,57	3,57
0dir	16,65	3,57	16,65
1	12,64	3,57	12,64
2	8,72	3,57	8,72
3	4,91	3,57	4,91
4	0,00	3,57	3,57

9.3- Ligação da laje com a viga

Mestático= 0,087 m³

b= 0,44 m

J= 0,06736 m⁴

$$V_d = 0,5 \cdot (V_{g1} + v_{g2}) + 1,35 V_{g3} + 1,5 V_p$$

VIGA A-VIGA B-VIGA D

Seção	Vd (kN)	τ_d kN/m²	ρ cm/m²	As/s
0esq	-40,81	120,30	2,77	1,22
0dir	796,62	2348,26	53,98	23,75
1	671,61	1979,76	45,51	20,03
2	550,45	1622,61	37,30	16,41
3	433,14	1276,79	29,35	12,91
4	319,67	942,31	21,66	9,53
5	164,22	484,09	11,13	4,90

Verificação adicional

$$C_d/A_{\text{CONTATO}} \leq \begin{cases} 0,25 f_{cd} = 5357,1 \text{ KN/m}^2 \\ 9,0 \text{ Mpa} = 9000,0 \text{ KN/m}^2 \end{cases} \quad f_{cd} = 21428,6 \text{ KN/m}^2$$

$$C_d = M_{RU}/z =$$

$$M_{RU} = 2616,44 \text{ kNm}$$

$$C_d = 4025,29 \text{ kN}$$

$$z = 0,65 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Área do buraco} &= 0,21 \times 0,21 = 0,044 \text{ m}^2 \\ \text{Número de buracos} &= 35 \end{aligned}$$

$$\text{Área de contato} = 1,54 \text{ m}^2$$

$$C_d/A_{\text{CONTATO}} = 2607,9 \text{ KN/m}^2 \quad \text{OK}$$

Armadura necessária na ligação

$$\rho_{wL} = (C_d/A_{\text{CONT}} - 0,2(f_{cd}^{2/3})/0,8 f_{yd} = 68,29 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

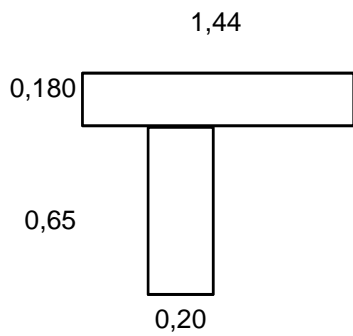
$$A_s/s = 14,34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Comparando com as armaduras de cisalhamento calculadas temos:

Seção	As/s	As/s	As/s Aaditional
0	16,65	14,34	-2,31
1	12,64	14,34	1,70
2	8,72	14,34	5,62
3	4,91	14,34	9,43
4	0,00	14,34	14,34
5	0,00	14,34	14,34

10- Vigas transversais

10.1- Transversina de Apoio intermediária

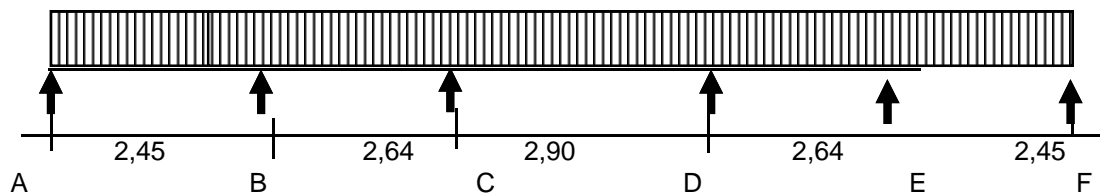


$f_{ck} = 30,00 \text{ Mpa}$
 $f_{yk} = 500,00 \text{ Mpa}$

Peso próprio = 9,73 kN/m

Esforços

Os esforços a seguir foram obtidos na resolução da viga em questão

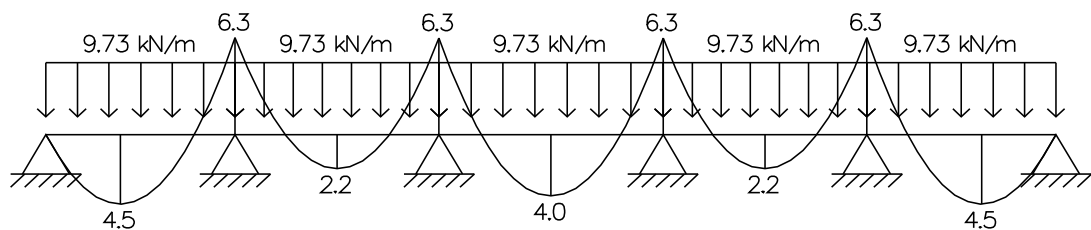


Carga permanente

Peso da transversina

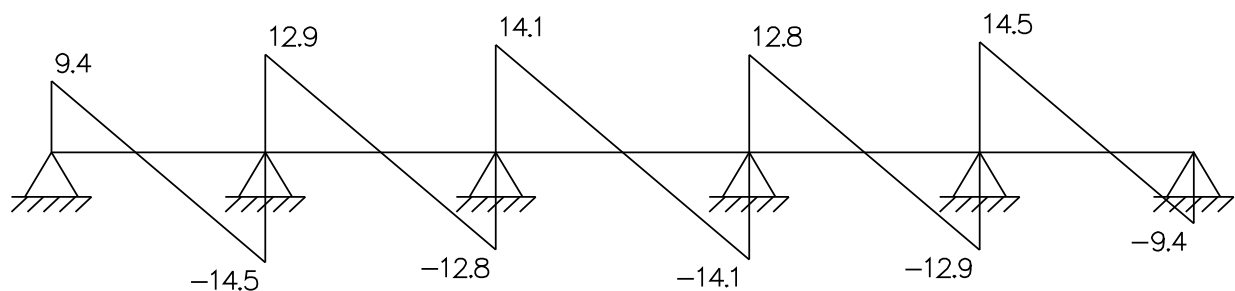
$g_1 = 9,73 \text{ kN/m}$

Momento Fletor



Mg pos =	4,50 kNm	4,00 kNm
Mgneg =	-6,30 kNm	-6,30 kNm

Esforço cortante

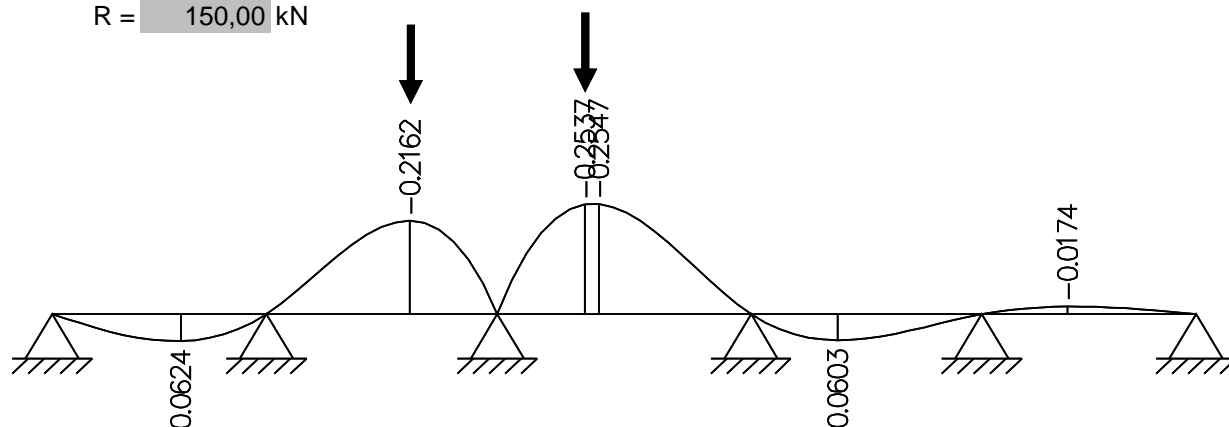


Vg pos = 14,5 kN

Esforços da carga móvel

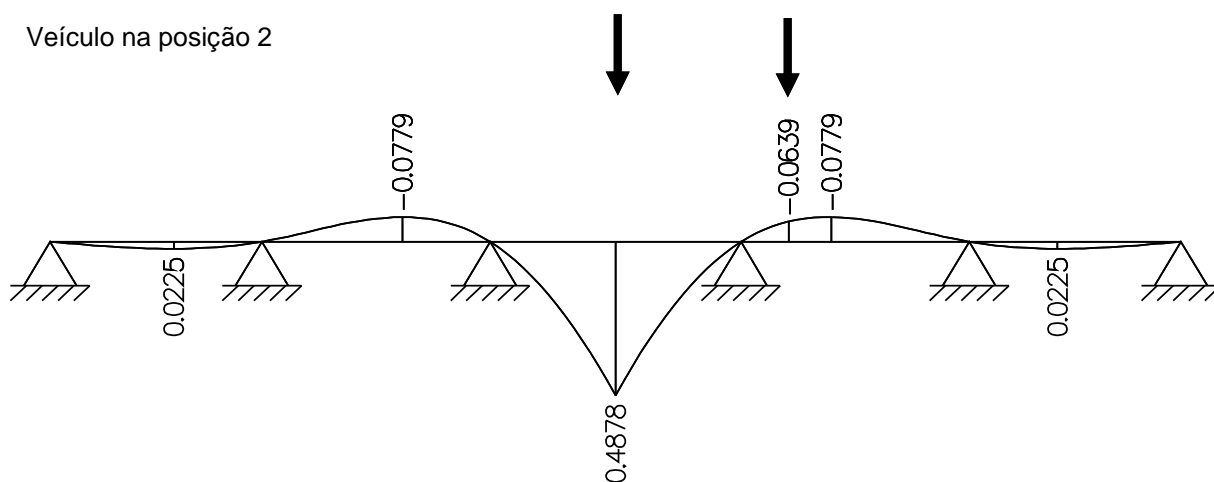
Veículo na posição 1

$$R = 150,00 \text{ kN}$$



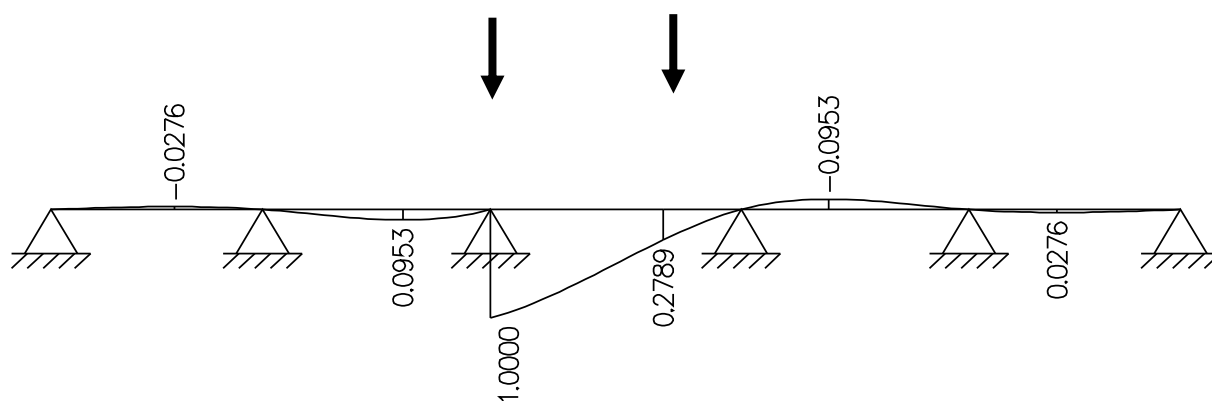
$$M_{neg} = 70,49 \text{ kNm}$$

Veículo na posição 2



$$M_{pos} = 63,59 \text{ kNm}$$

Veículo na posição 3



$$V = 190,92 \text{ kN}$$

Os máximos esforços são:

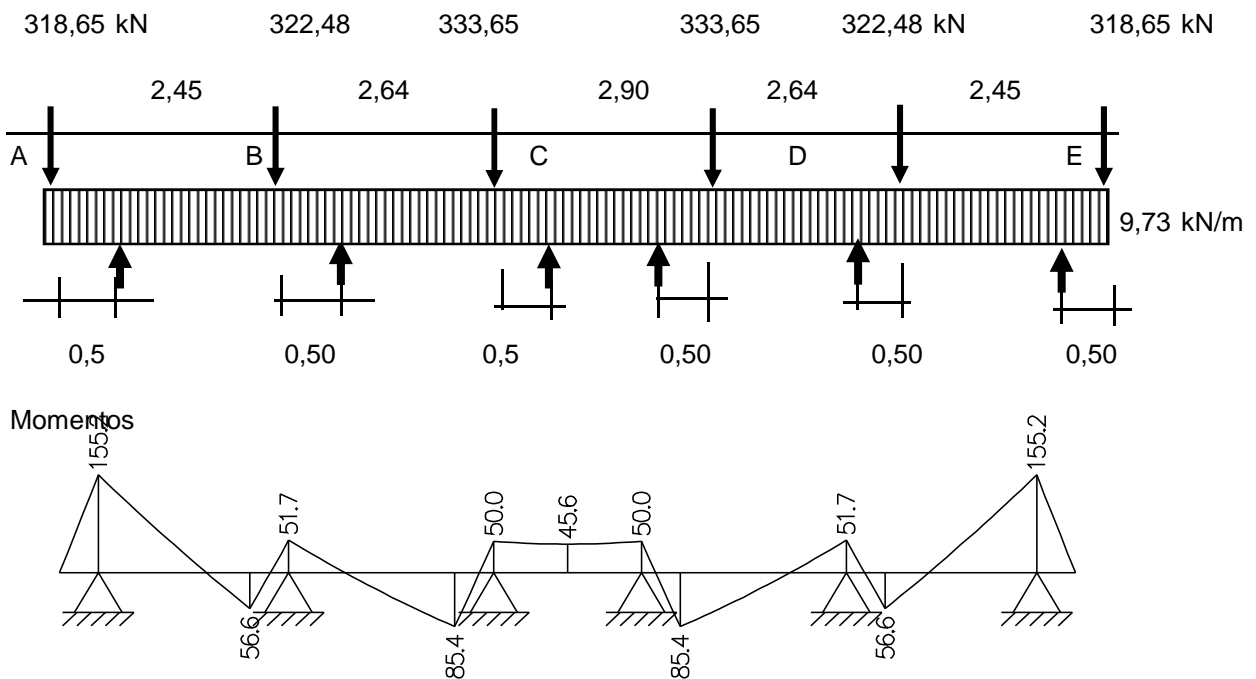
	Ponto B	1/2 Vão
Mg=	-6,30 kNm	4,50 kNm
Mp=	-70,49 kNm	63,59 kNm
Vg=	14,50 kN	
Vp=	190,92 kN	

Dimensionamento a flexão

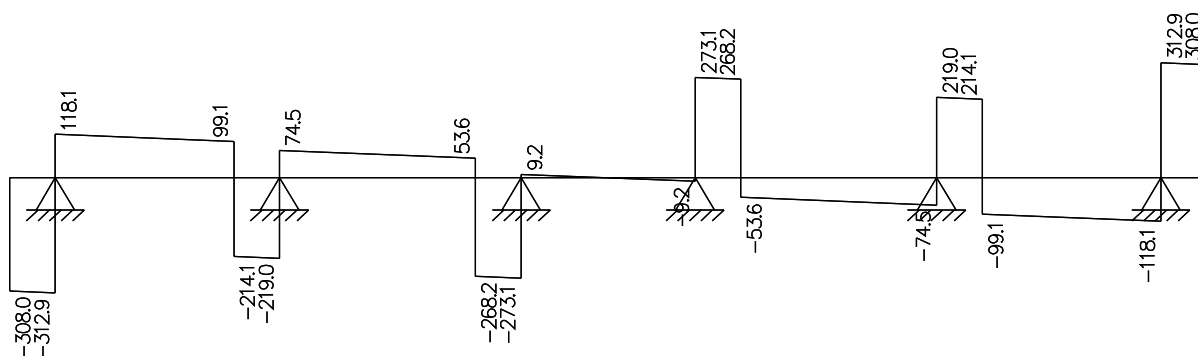
Md _{MAX} ⁻ = -114,23 kNm			
Md _{MAX} ⁺ = 101,45 kNm			
bw+ = 1,44 m	Momento negativo		
bw- = 0,20 m			
h = 0,83 m		Md= -114,23 kNm	
d = 0,75 m		kmd= 0,048	Kz= 0,97
fcd = 21428,57 kN/m ²		As= 3,62 cm ²	
fyd = 43,48 kN/cm ²			
Momento positivo			
		Md= 101,45 kNm	
		kmd= 0,006	Kz= 0,97
		As= 3,21 cm ²	
Asmin = 2,5 cm ²			

Armaduras para troca dos aparelhos de apoios

Os esforços a seguir foram obtidos na resolução da viga em questão



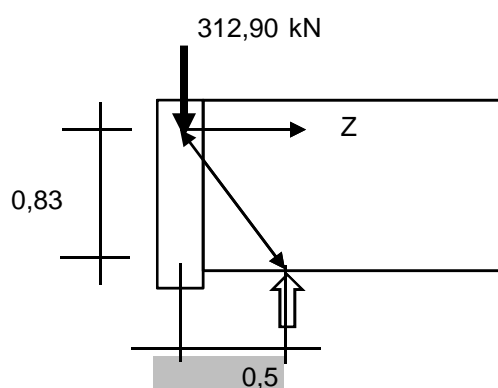
Cortantes



Pontos AE

$b_{w+} = 1,44 \text{ m}$
 $b_{w-} = 0,20 \text{ m}$
 $h = 0,83 \text{ m}$
 $d = 0,75 \text{ m}$
 $f_{cd} = 21428,57 \text{ kN/m}^2$
 $f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$

$V_{A_{dir}} = 312,9 \text{ kN}$
 $V_{B_{dir}} = 273,1 \text{ kN}$
 $V_{v\tilde{a}o} = 118,1 \text{ kN}$



$Z = 188,5 \text{ kN}$

$A_s = 5,85 \text{ cm}^2$

Dimensionamento ao cisalhamento

$h = 0,83 \text{ m}$
 $d = 0,75 \text{ m}$
 $f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$
 $f_{cd} = 21428,57 \text{ kN/m}^2$
 $f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$
 $f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$
 $\alpha_{v2} = 0,82$

$f_{ct,m} = 0,3f_{ck}^{2/3} = 2896,47 \text{ kN/m}^2$
 $f_{ctd} = 0,7 \cdot f_{ctm} / \gamma = 1448,24 \text{ kN/m}^2$

$A_{sw}/S = V_{sw} / (0,9d f_{yd})$

$V_{rd2} = 0,27 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d =$

$V_{c0} = 0,6 f_{ctd} b_w d + M_0 / M_{sd,max} =$

$A_{s/s,min} = b_w 0,2 f_{ctm} / f_{yd} = 2,66 \text{ cm}^2/\text{m}$

Adotaremos a favor da segurança $M_0 / M_{sd,max} = 0$

VIGA A						
Seção	b_w (m)	V_{sd} (kN)	V_{rd2} kN/m ²		V_{c0} kN/m ²	$A_{s/s}$

$V_{A_{dir}} =$	0,20	422,42	708,80	OK	129,82	10,01	ϕ 10c	15,98 cm
$V_{B_{dir}} =$	0,20	368,69	708,80	OK	129,82	8,17	ϕ 10c	19,58 cm
$V_{v\tilde{a}o} =$	0,20	159,44	708,80	OK	129,82	1,01	ϕ 10c	60,04 cm

Reações verticais da superestrutura

Peso próprio da viga		Peso da laje superior		Peso da pavimentação mais guarda rodas	
Rg1Va=	83,38 kN	Rg2Va=	146,83 kN	Rg3Va=	88,44 kN
Rg1Vb=	83,38 kN	Rg2Vb=	150,35 kN	Rg3Vb=	88,74 kN
Rg1Vc=	83,38 kN	Rg2Vc=	161,53 kN	Rg3Vc=	88,74 kN
Rg1Vd=	83,38 kN	Rg2Vd=	150,35 kN	Rg3Vd=	88,74 kN
Rg1Ve=	83,38 kN	Rg2Ve=	146,83 kN	Rg3Ve=	88,44 kN
Rg1Vf=	83,38 kN	Rg2Vf=	150,35 kN	Rg3Vf=	119,14 kN

Reações da carga móvel

VIGA - A max		VIGA - A cor		VIGA - A cor		VIGA - A cor	
R	Q	R	Q	R	Q	R	Q
40,1	9,0	55,2	11,2	10,6	8,7	-3,1	-1,0
VIGA - B cor		VIGA - B max		VIGA - B cor		VIGA - B cor	
53,0	9,4	53,3	13,0	40,2	12,3	-2,9	0,7
VIGA - C cor		VIGA - C cor		VIGA - C max		VIGA - C max	
44,3	7,5	36,5	13,8	54,0	14,2	3,7	3,5
VIGA - D cor		VIGA - D cor		VIGA - D cor		VIGA - D cor	
21,1	3,6	14,8	12,0	40,3	13,6	22,6	7,8
VIGA - E cor		VIGA - E cor		VIGA - E cor		VIGA - E cor	
3,7	0,7	1,4	7,0	15,5	9,9	53,7	10,8
VIGA - F cor		VIGA - F cor		VIGA - F cor		VIGA - F cor	
-5,71	-0,95	-4,84	0,84	-4,96	3,74	82,33	12,07

Vão L = 21,25 m Ltrans= 3,00
 Bal1 = 0,70 m Vão total= 21,95 m
 Bal2 = 0,30 m

Máxima reação na viga A

RpVa= 231,61 kN
 RpVb= 274,71 kN
 RpVc= 224,62 kN
 RpVd= 107,36 kN
 RpVe= 19,70 kN
 RpVf= -28,71 kN

Máxima reação na viga B

RpVa= 304,14 kN
 RpVb= 321,73 kN
 RpVc= 283,10 kN
 RpVd= 197,12 kN
 RpVe= 94,79 kN
 RpVf= -3,21 kN

Máxima reação na viga C

RpVa= 142,14 kN
 RpVb= 273,92 kN
 RpVc= 338,91 kN
 RpVd= 291,93 kN
 RpVe= 171,87 kN
 RpVf= 33,82 kN

Máxima reação na viga F

RpVa= -21,93 kN
 RpVb= 0,44 kN
 RpVc= 56,06 kN
 RpVd= 165,67 kN
 RpVe= 294,29 kN
 RpVf= 393,16 kN

Máxima reação na viga A

RpVa=	225,41 kN
RpVb=	267,59 kN
RpVc=	218,83 kN
RpVd=	104,59 kN
RpVe=	19,19 kN
RpVf=	-27,97 kN

Máxima reação na viga B

RpVa=	296,10 kN
RpVb=	313,02 kN
RpVc=	275,01 kN
RpVd=	191,05 kN
RpVe=	91,63 kN
RpVf=	-3,30 kN

Máxima reação na viga C

RpVa=	137,75 kN
RpVb=	266,29 kN
RpVc=	329,65 kN
RpVd=	283,69 kN
RpVe=	166,68 kN
RpVf=	32,46 kN

Máxima reação na viga F

RpVa=	-21,32 kN
RpVb=	0,30 kN
RpVc=	54,31 kN
RpVd=	160,99 kN
RpVe=	286,52 kN
RpVf=	383,23 kN