



Ponte Ferroviária da empresa Engefer

Projeto : Eng. Fernando Uchoa Cavalcanti

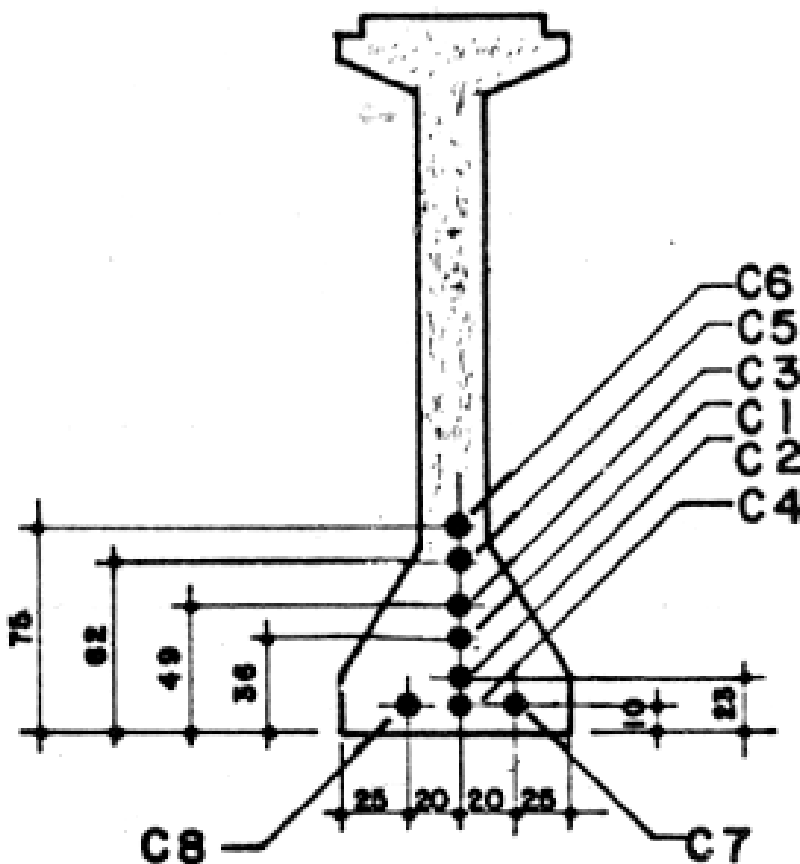
Publicação : Revista ESTRUTURA 93 – Dezembro 1980

Cálculo estrutural feito em sala de aula, no IME como exercício da cadeira de concreto protendido. (2007)

Observação : Para não alongar os cálculos, faremos a verificação apenas na seção meio do vão . Em um projeto completo, com viga simétrica, toda a verificação deve ser feita, em pelo menos 5 seções transversais.

Seção Meio do Vão

⑩ ⑪ ⑫




Programa DEGEP para Determinação de Propriedades Geométricas Autor : Prof. Ernani Diaz

Designação da seção : Meio do vão

Unid Larg_Super. Num_trap. Num_discont. Alt. Cal_M_Est. Cal_Ef_Temp.

[L] [L] [] [] [L] s|n s|n
m 0.70 m 6 1 2.85 m n n

	Concreto Protendido Flexão	Ponte ferroviária Notas de aula	Prof.. Eduardo C. S. Thomaz	pág. 2/43
---	----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	-----------

Alturas e Larguras

h1 b1 h2 b2 h3 b3 h4 b4 h5 b5 h6 b6 h7 b7...

0.07 0.70 0.00 0.90 0.08 0.90 0.15 0.25

1.80 0.25 0.50 0.90 0.25 0.90

H= 2.85000 m ZS= 1.59873 m ZI= 1.25127 m

A= **1.16975** m² WS= **0.69677** m³ WI= **0.89026** m³

IY= 1.11395 m⁴

Peso por metro = 1,16975m² x 25kN/m³ =29,24 kN/m

Designação da seção : Apoio

Unid Larg_Super. Num_trap. Num_discont. Alt. Cal_M_Est. Cal_Ef_Temp.
[L] [L] [] [] [L] s/n s/n
m 0.70 m 6 1 2.85 m n n

Alturas e Larguras

h1 b1 h2 b2 h3 b3 h4 b4 h5 b5 h6 b6 h7 b7...

0.07 0.70 0.00 0.90 0.08 0.90 0.05 0.70

2.25 0.70 0.15 0.90 0.25 0.90

H= 2.85000 m ZS= 1.45166 m ZI= 1.39834 m

A= **2.08100** m² WS= 1.02510 m³ WI= 1.06418 m³

IY= 1.48809 m⁴

Peso por metro = 2,08100m² x 25kN/m³ = 52,02 kN/m

Vão = 31,40 – 2 x 0,90 = 29,60 m

Esforços solicitantes:

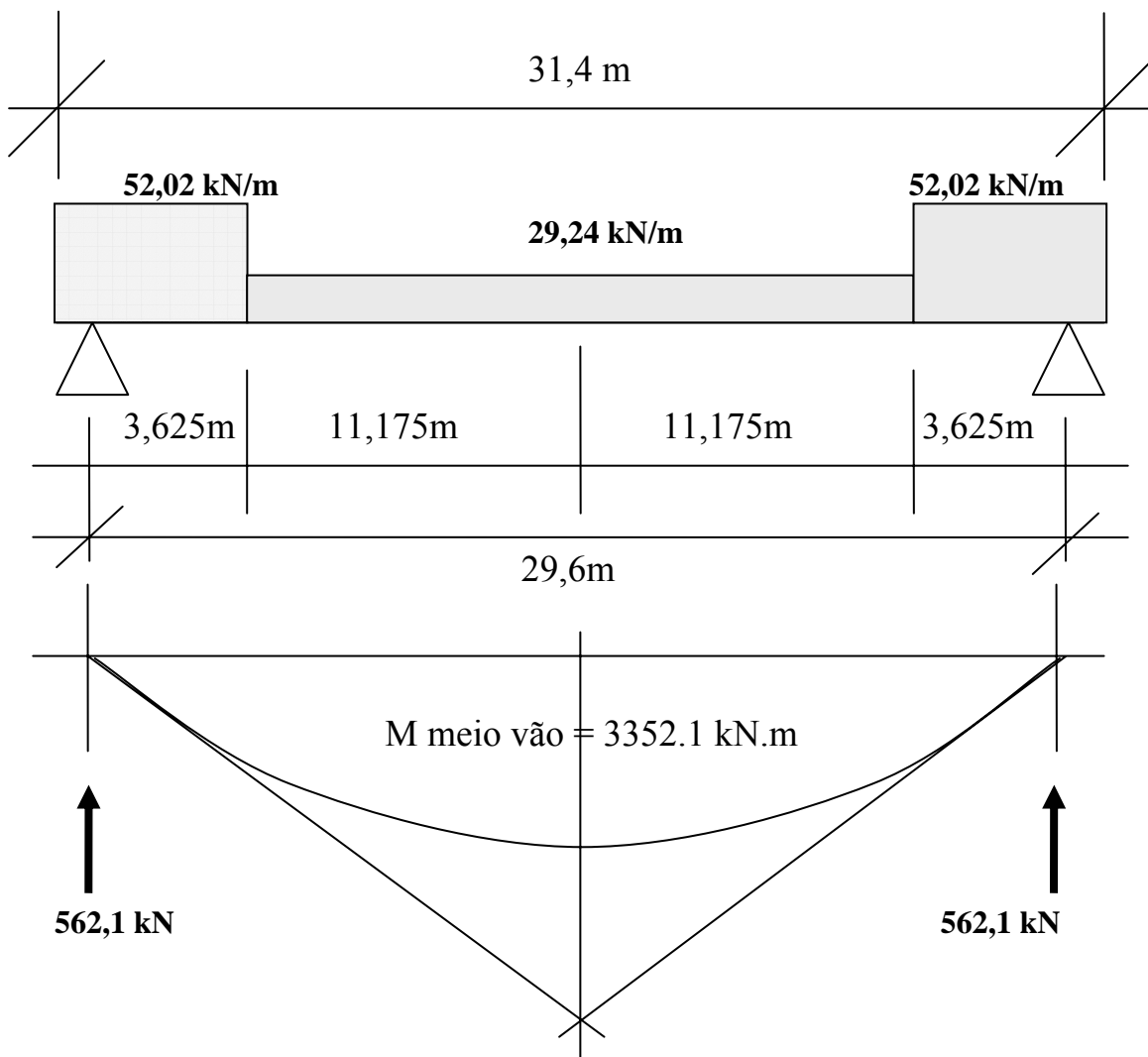
Carga permanente = Peso próprio da viga :

Momento fletor no meio do vão :

$$M = \frac{29,24 \times 29,6^2}{8} + \frac{(52,02 - 29,24) \times 3,625^2}{2} = 3202,4 + 149,7 = 3352,1 \text{ kN.m}$$

Tensão no bordo superior : $\sigma_4 = \frac{3352,1 \text{ kN.m}}{0,69677 \text{ m}^3} = +4811 \text{ kN/m}^2$ compressão

Tensão no bordo inferior : $\sigma_4 = -\frac{3252,1 \text{ kN.m}}{0,89026 \text{ m}^3} = -3765 \text{ kN/m}^2$ tração



$$M = \frac{29,24 \times 29,6^2}{8} + \frac{(52,02 - 29,24) \times 3,625^2}{2} = 3202,4 + 149,7 = 3352,1 \text{ kN.m}$$

$$\text{Tensão no bordo superior : } \sigma_4 = \frac{3352,1 \text{ kN.m}}{0,69677 \text{ m}^3} = +4811 \text{ kN/m}^2 \text{ compressão}$$

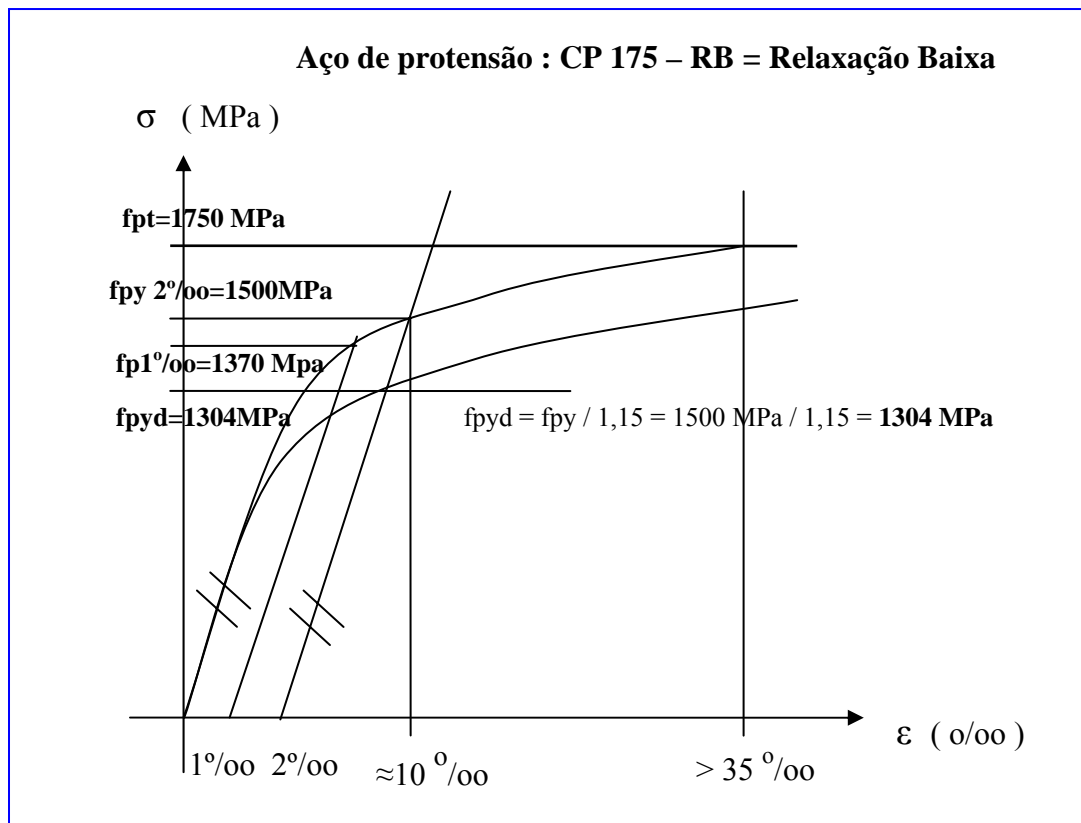
$$\text{Tensão no bordo inferior : } \sigma_4 = -\frac{3252,1 \text{ kN.m}}{0,89026 \text{ m}^3} = -3765 \text{ kN/m}^2 \text{ tração}$$



A obra foi executada com o aço CP175-RB

Hoje em dia seria usado o aço CP190-RB.

Primeira protensão, para desformar a viga : 3 cabos Aço CP 175 RB



No instante da protensão com o macaco :

$$< 75\% \times 1750 \text{ MPa} = 1313 \text{ MPa}$$

$$< 90\% \times 1500 \text{ MPa} = 1350 \text{ MPa}$$

$$< 95\% \times 1370 \text{ MPa} = 1301 \text{ MPa}$$

Usar 1300 MPa

Um cabo com 12 cordoalhas 12,5mm com $1,0\text{cm}^2$ cada :

$$\text{Força no cabo } N = 12 \times 1,0\text{cm}^2 \times 13000 \text{ kgf/cm}^2 = 156000 \text{ kgf} \approx 160 \text{ ton}$$

Cabos C1, C2, C3 protendidos com 160 t na extremidade :

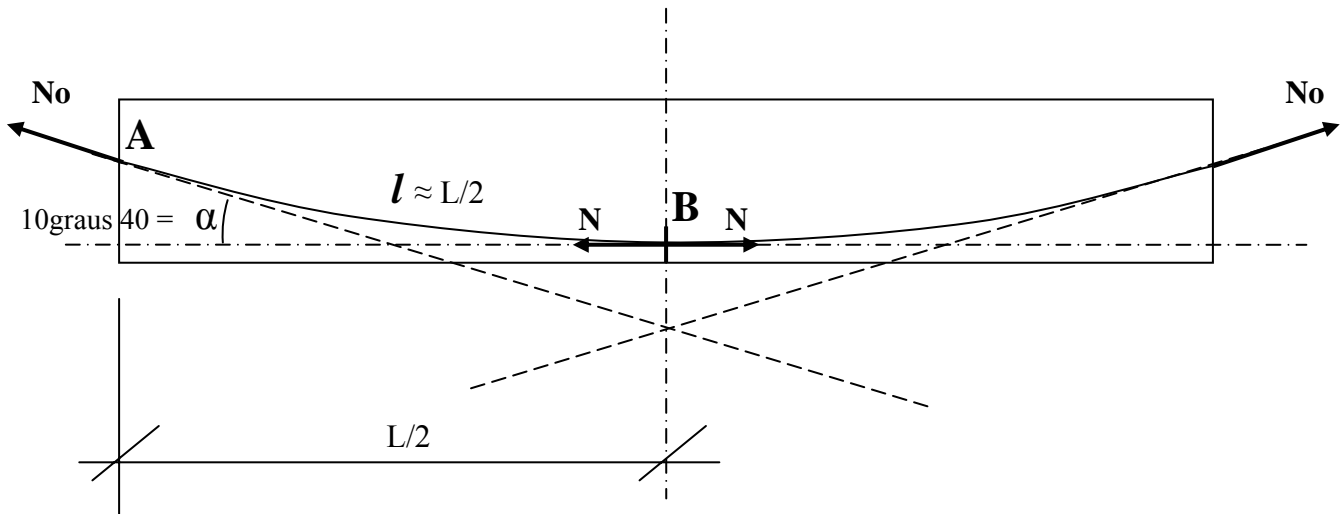
Cabo C1 $y_1 = 36\text{cm}$ ângulo = 7 graus 15 = 0,126 rad

Cabo C2 $y_2 = 23 \text{ cm}$ ângulo = 10 graus 40 = **0,184 rad** = ângulo médio

Cabo C3 $y_3 = 49 \text{ cm}$ ângulo = 12 graus 28 = 0,217 rad



Perdas de Protensão:



Perda de atrito :

$$N = N_0 \times e^{-(\mu \cdot \Sigma \alpha + \mu \cdot \beta \cdot x)} = 160 \times e^{-\left(0,20 \times 0,184 \text{ rad.} + 0,20 \times \frac{0,01 \text{ rad.}}{m} \times 15,3m\right)} =$$

$$N = 160 \times e^{-(0,0368 + 0,0281)} = 169 \times 0,937 = 150 \text{ ton}$$

μ = coeficiente de atrito $\approx 0,20$

α = mudança de direção do cabo segundo o projeto

β = mudança de direção do cabo, por imprecisão na execução $\approx \left(\frac{1}{100}\right) \times \text{radiano} / m \approx \frac{1}{2}$
grau / m

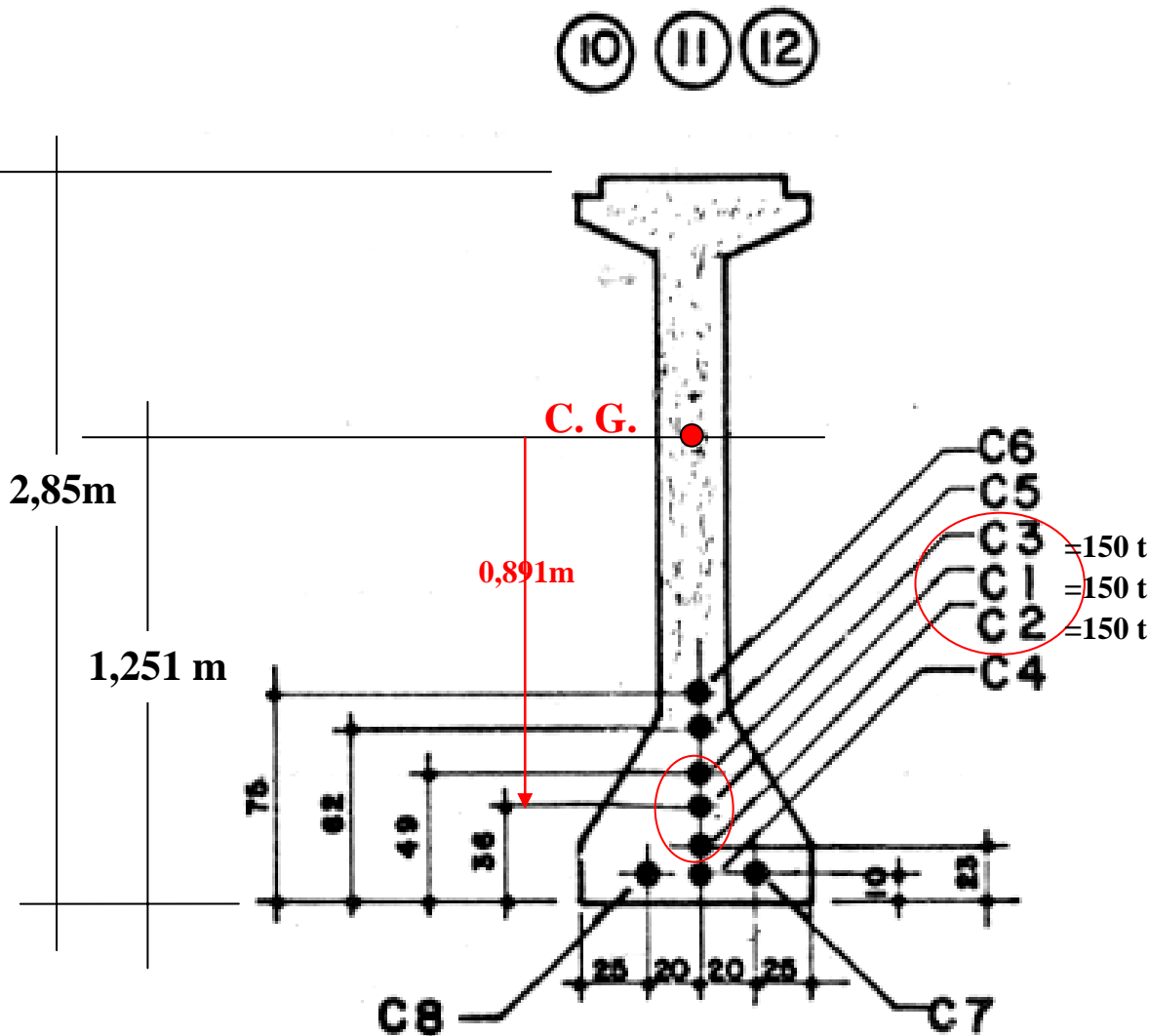
O pré-alongamento de protensão na seção Meio do Vão vale :

$$\varepsilon_{pré} = \frac{N}{A_{aço} \times E_{aço}} = \frac{1500kN}{12 \text{ cordoalhas} \times \left(1,0 \frac{cm^2}{\text{cordoalha}}\right) \times 195 \left(\frac{GN}{m^2}\right)} = 6,4 \text{ } ^\circ / \text{oo} = 6,4 \text{ mm} / m$$



Com 3 cabos $N = 3 \times 150 \text{ ton} = 450 \text{ ton}$
Ponto de aplicação da protensão : $y_m = 36 \text{ cm}$

Com 3 cabos $N = 3 \times 150 \text{ ton} = 450 \text{ ton}$
Ponto de aplicação da protensão : $y_m = 36 \text{ cm}$



Excentricidade = $ZI - y_m = 1.251 \text{ m} - 0.36 \text{ m} = 0.891 \text{ m}$

M protensão = $450 \text{ ton} \times 0.891 \text{ m} = 4500 \text{ kN} \times 0.891 \text{ m} = 4009.5 \text{ kN.m}$

Tensões devidas à 1ª protensão :

Convenção de sinal : *Compressão = positivo ; Tração = negativo*

$$\sigma = \frac{N}{S} - \frac{M}{W_s} = \frac{4500 \text{ kN}}{1.16975 \text{ m}^2} - \frac{4009.5 \text{ kN.m}}{0.69677 \text{ m}^3} = 3847 - 5754.4 = -1907.4 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{-1.91}$$

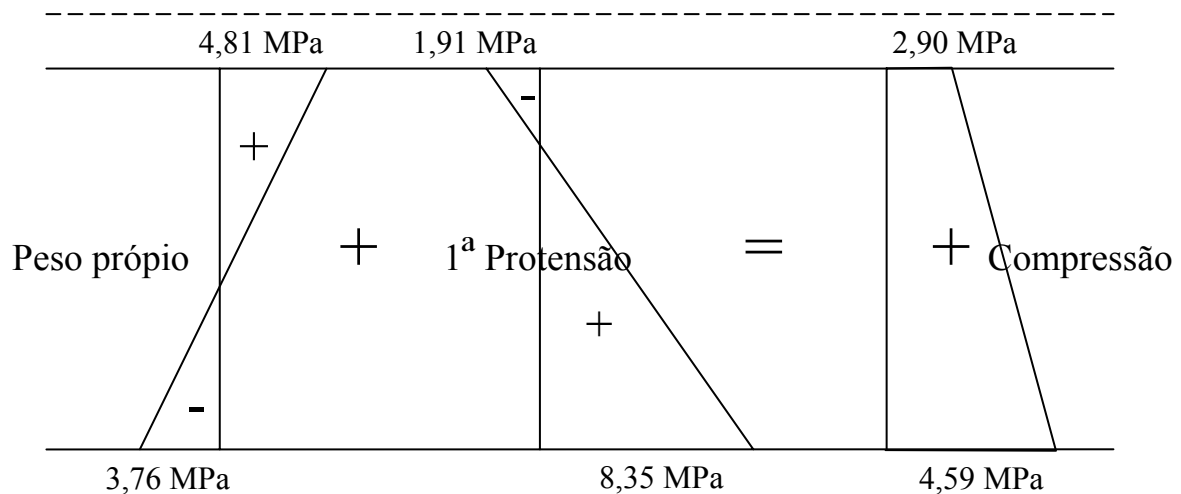
MPa

$$\sigma_i = \frac{N}{S} + \frac{M}{W_s} = \frac{4500 \text{ kN}}{1.16975 \text{ m}^2} + \frac{4009.5 \text{ kN.m}}{0.89026 \text{ m}^3} = 3847 + 4503.7 = 8350.7 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{+ 8.35}$$

MPa



Após a 1ª protensão aos 7 dias : O concreto ainda não tinha resistência suficiente para a protensão total.



Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo

Tensão no bordo superior : $\sigma_s = 4811 \text{ kN} / \text{m}^2 - 1907,4 \text{ kN} / \text{m}^2 = 2904 \text{ kN} / \text{m}^2 = 2,90 \text{ MPa}$

Tensão no bordo inferior : $\sigma_i = 8350,7 \text{ kN} / \text{m}^2 - 3765 \text{ kN} / \text{m}^2 = 4586 \text{ kN} / \text{m}^2 = 4,59 \text{ MPa}$



Segunda protensão : 5 cabos aos 28 dias.

$$C6 \quad y6 = 75 \text{ cm}$$

$$C5 \quad y5 = 62 \text{ cm}$$

$$C8 \quad y8 = 10 \text{ cm}$$

$$C4 \quad y4 = 10 \text{ cm}$$

$$C7 \quad y7 = 10 \text{ cm}$$

$$y_m = 33,4 \text{ cm} \quad ZI = 1.25127 \text{ m}$$

$$N = 5 \times 150 \text{ ton} = 750 \text{ ton} = 7500 \text{ kN}$$

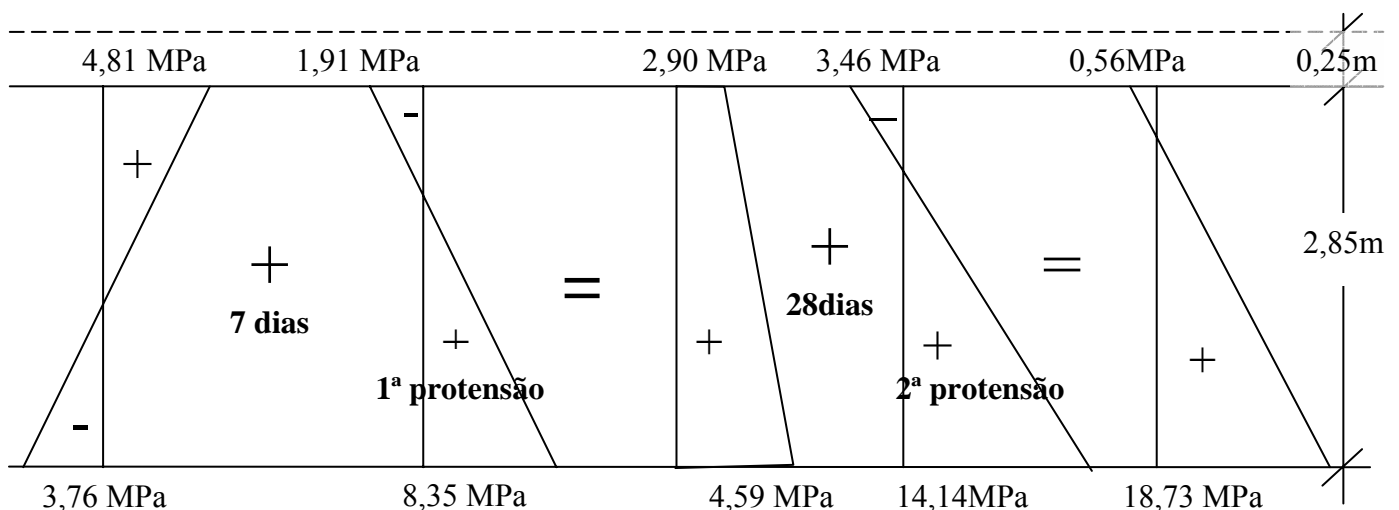
$$M = 7500 \text{ kN} \times (1,251 \text{ m} - 0,334 \text{ m}) = 6877,5 \text{ kN.m}$$

Tensões devidas à 2ª protensão :

Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo

$$\sigma_s = \frac{N}{S} - \frac{M}{W_s} = \frac{7500 \text{ kN}}{1,16975 \text{ m}^2} - \frac{6877,5 \text{ kN.m}}{0,69677 \text{ m}^3} = 6411,6 - 9870,5 = -3458,9 \text{ kN/m}^2$$

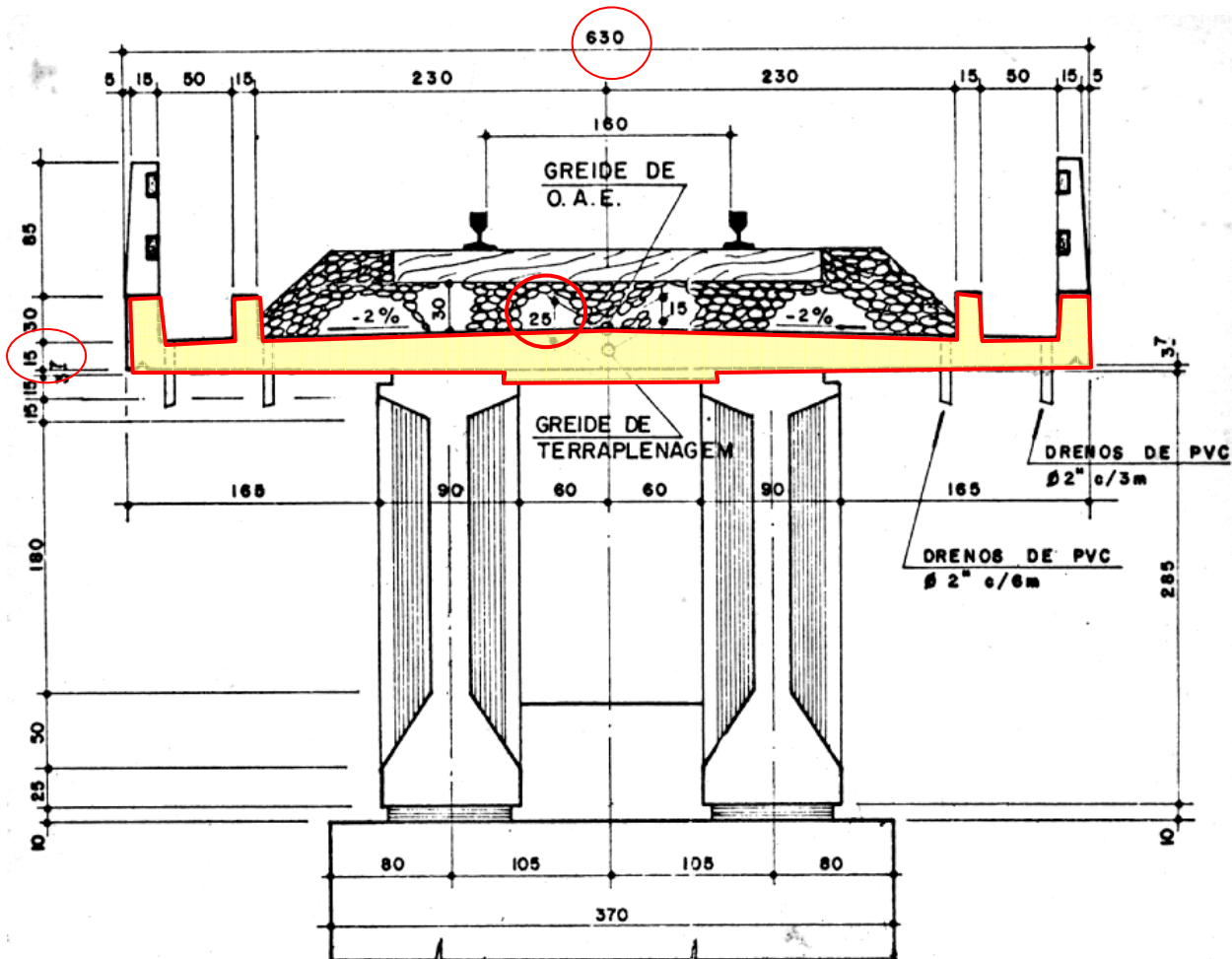
$$\sigma_i = \frac{N}{S} + \frac{M}{W_s} = \frac{7500 \text{ kN}}{1,16975 \text{ m}^2} + \frac{6877,5 \text{ kN.m}}{0,89026 \text{ m}^3} = 6411,6 + 7725,3 = 14137 \text{ kN/m}^2$$



Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo



Concretagem da laje e das transversinas do tabuleiro



$$\text{Área da laje} = \frac{0,25m + 0,15m}{2} \times 6,3m = 1,26 \text{ m}^2$$

$$\text{Área das muretas} = 2 \times (0,20m + 0,15m) \times 0,30 \text{ m} = 0,21m^2$$

$$\text{Lajota pré-moldada} = 1,40m \times 0,07m = 0,098 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso da laje} = (1,26 + 0,21 + 0,098) \text{ m}^2 \times 25\text{kN/m}^3 = 39,2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Guarda corpo} = 2 \times 1,0 \text{ kN/m} = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Carga Total em duas vigas} = 41,2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Carga em uma viga} : 41,2 \text{ kN/m} / 2 = 20,6 \text{ kN/m}$$

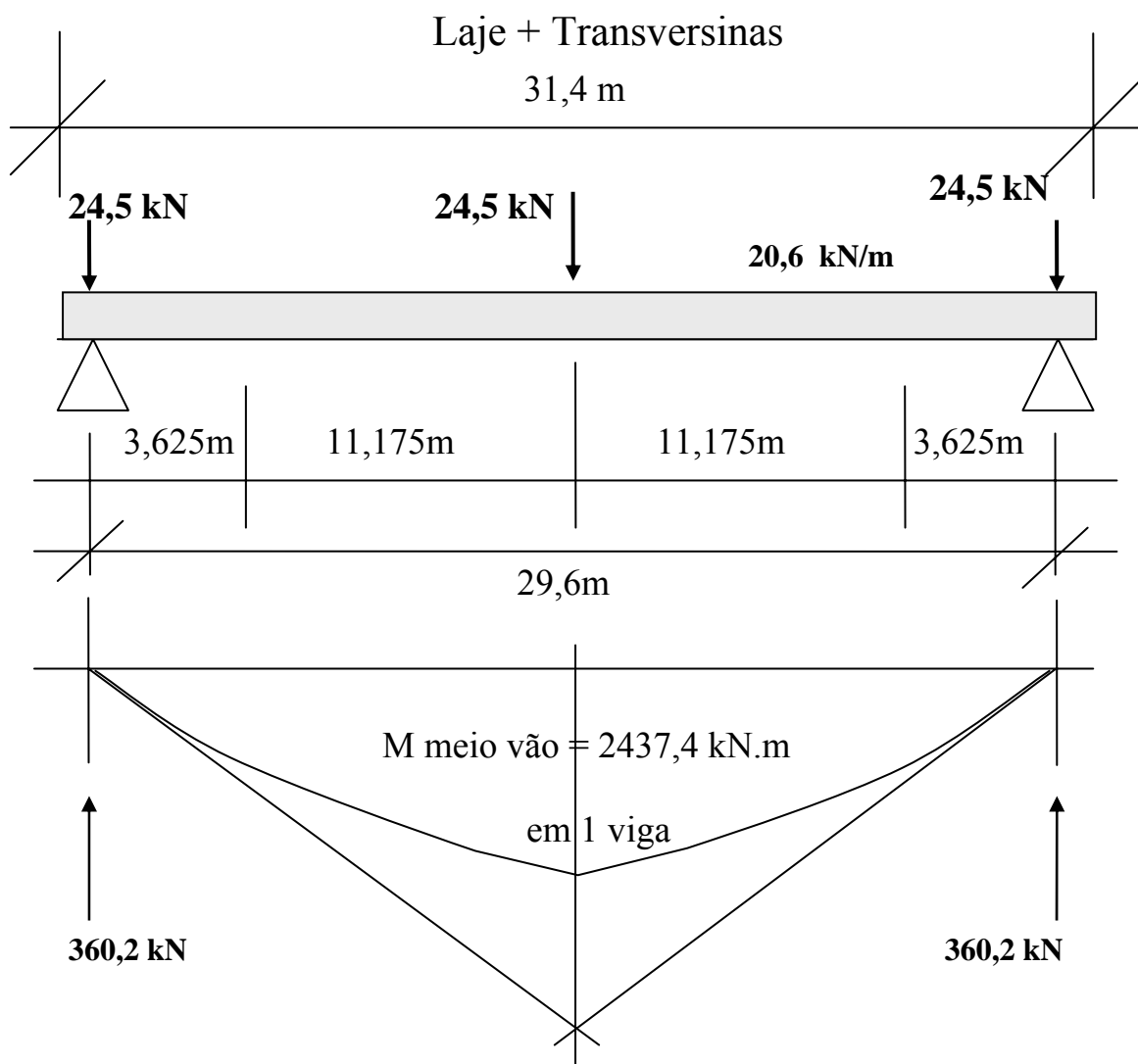
$$\text{Peso da transversina central} : 0,30m \times (3,0m - 2 \times 0,25m) \times 2,6m \times 25 \text{ kN/m}^3 = 49 \text{ kN}$$

$$\text{Carga em uma viga} = 49 / 2 = 24,5 \text{ kN}$$



Momento fletor no meio do vão em uma viga :

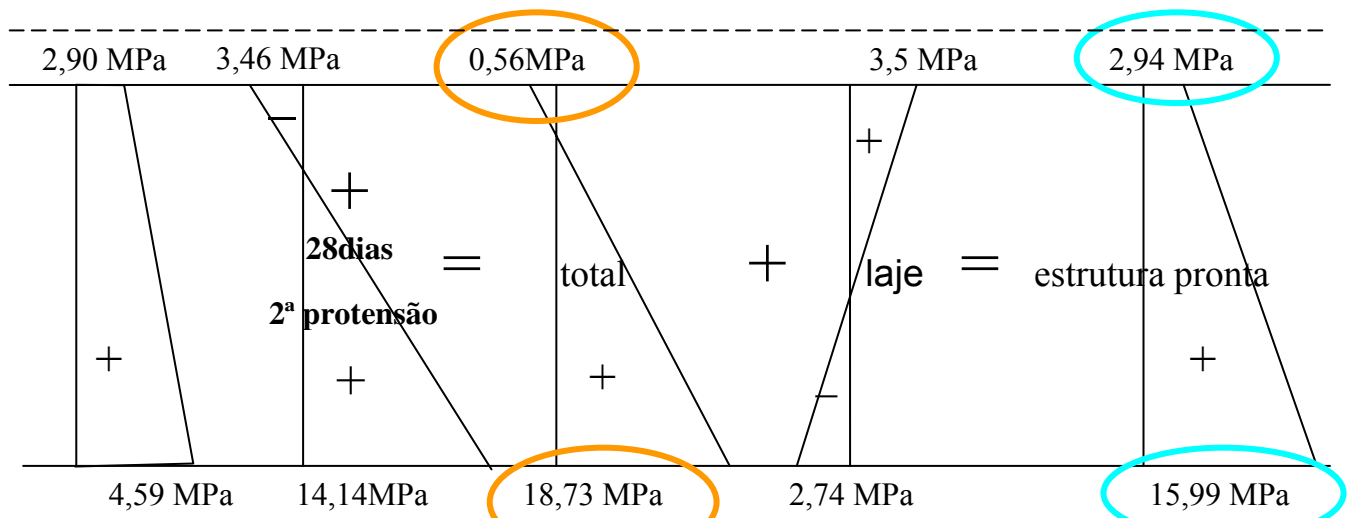
$$\frac{20,6 \text{ kN/m} \times (29,6 \text{ m})^2}{8} + \frac{24,5 \text{ kN} \times 29,6 \text{ m}}{4} = 2256,1 + 181,3 = 2437,4 \text{ kN.m/viga}$$





Tensão no bordo superior : $\sigma_4 = \frac{2437,4 \text{ kN.m}}{0,69677\text{m}^3} = +3498 \text{ kN/m}^2 \text{ compressão} = 3,50 \text{ MPa}$

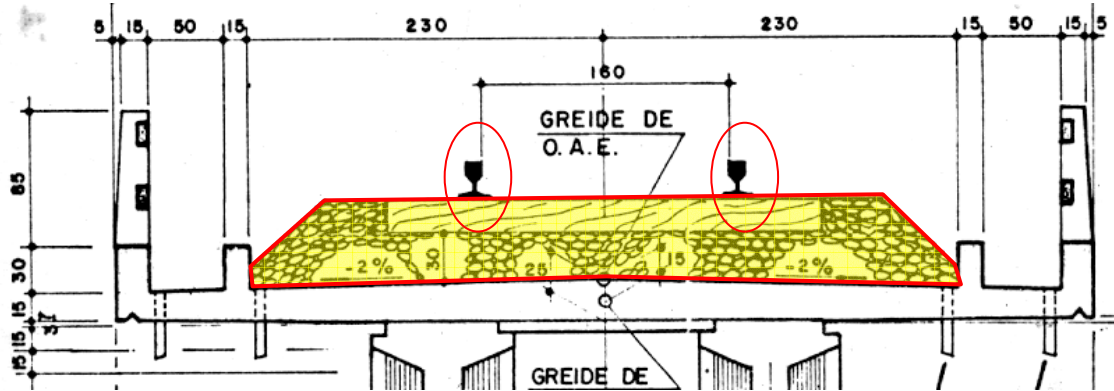
Tensão no bordo inferior : $\sigma_4 = \frac{2437,4 \text{ kN.m}}{0,89026\text{m}^3} = -2738 \text{ kN/m}^2 \text{ tração} = - 2,74 \text{ Mpa}$



Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo



Colocação do lastro e do trilho



Programa DEGEP para
Determinação de Propriedades Geométricas

Designação da seção

Seção completa : Duas vigas mais a laje

Unid	Larg_Super.	Num_trap.	Num_discont.	Alt.	Cal_M_Est.	Cal_Ef_Temp.
[L]	[L]	[]	[]	[L]	s n	s n
m	0.00 m	8	2	3.10 m	n	n

Alturas e Larguras

h1	b1	h2	b2	h3	b3	h4	b4	h5	b5	h6	b6	h7
0.10	6.30	0.15	6.30	0.00	1.40	0.07	1.40	0.00	1.80	0.08	1.80	0.15
0.50												
	b8	h8	b9	h9	b10	h10						
	1.80	0.50	0.50	1.80	0.25	1.80						

$$\begin{aligned}
 H &= 3.10000 \text{ m} & ZS &= 1.25336 \text{ m} & ZI &= 1.84664 \text{ m} \\
 A &= 3.59950 \text{ m}^2 & WS &= 3.67142 \text{ m}^3 & WI &= 2.49189 \text{ m}^3 \\
 IY &= 4.60162 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\text{Largura superior} = 4.60\text{m} - 2 \times 1,5 \times (0,50\text{m} - 0,30\text{m}) = 4,60\text{m} - 0,60\text{m} = 4,0\text{m}$$

$$\text{Volume do lastro} : 4,60\text{m} \times 0,30\text{m} = 1,38\text{m}^3/\text{m}$$

$$+ ((4,60 \text{ m} + 4,0\text{m}) / 2) \times 0,20\text{m} = 0,86\text{m}^3/\text{m}$$

$$\text{Volume total} = 1,38\text{m}^3 + 0,86\text{m}^3 = 2,24 \text{ m}^3/\text{m}$$

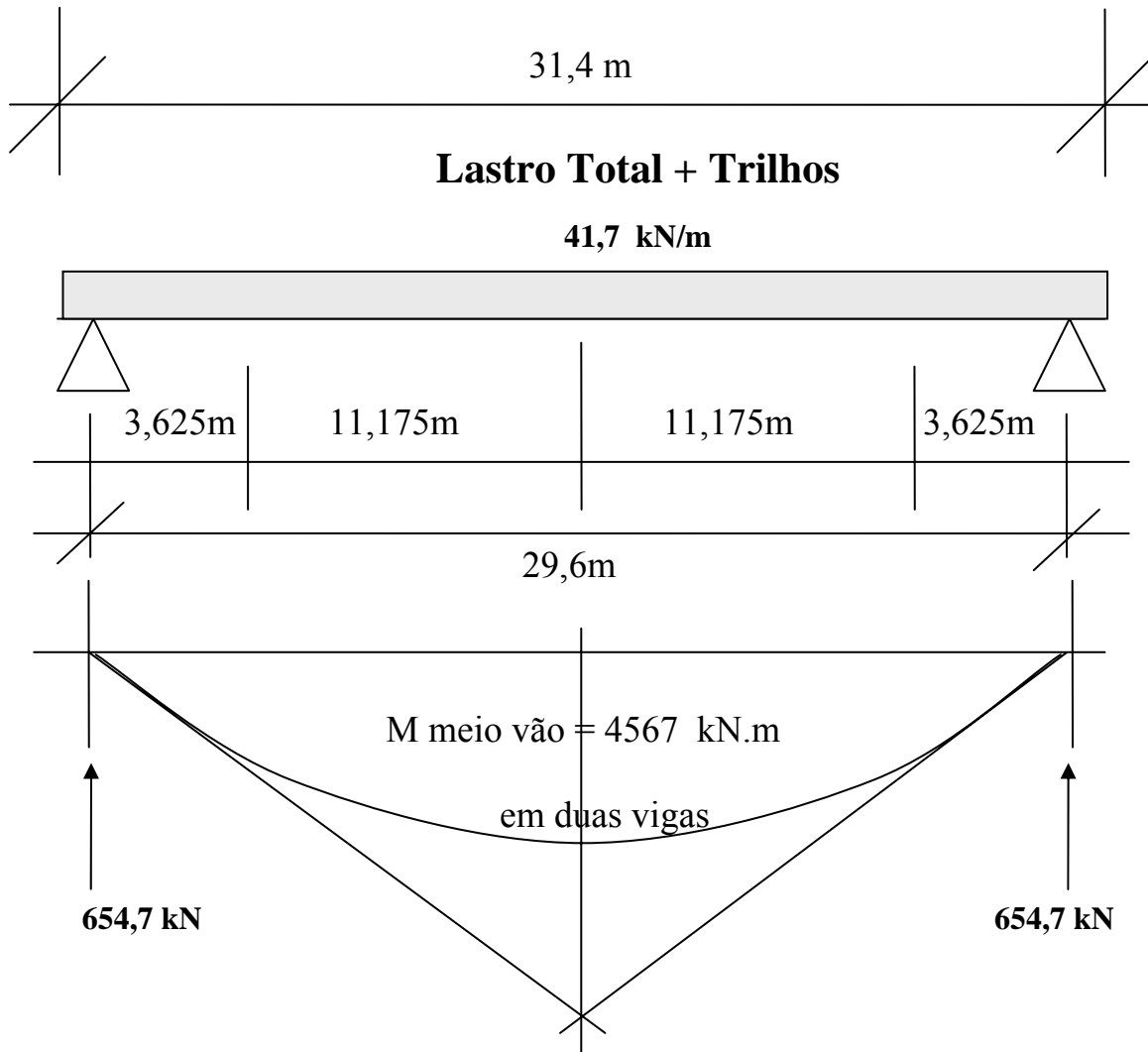
$$\text{Peso do lastro} = 2,24\text{m}^3/\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3 = 40,3 \text{ kN/m}$$

$$\text{Peso dos trilhos} = 2 \times 0,68 \text{ kN/m} = 1,4 \text{ kN/m}$$

Duas vigas : Carga total = 40,3 + 1,4 = 41,7 kN/m em duas vigas



Colocação do lastro e do trilho





WS = 3.67142 m3 WI = 2.49189 m3

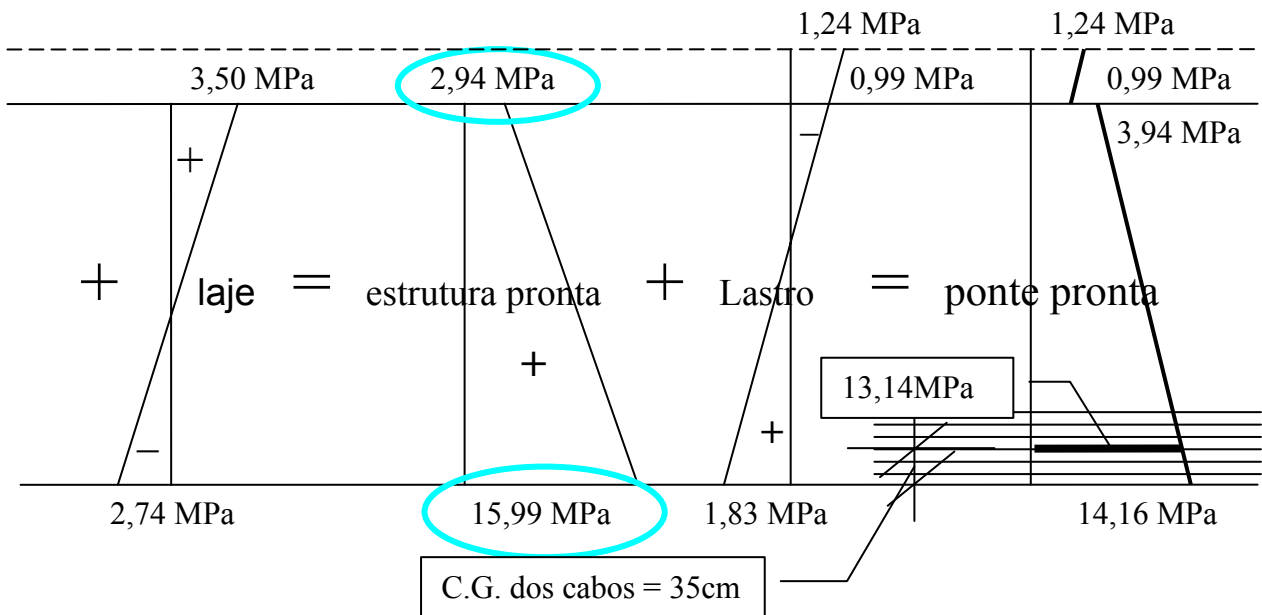
Tensão no bordo superior : $\sigma_4 = \frac{4567 \text{ kN.m}}{3,67142\text{m}^3} = +1244 \text{ kN/m}^2$ compressão

Seção completa


Tensão no bordo inferior : $\sigma_4 = \frac{4567 \text{ kN.m}}{2,49189\text{m}^3} = -1833 \text{ kN/m}^2$ tração

Seção completa

Tensão no concreto na altura do C.G. dos cabos



Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo

	Concreto Protendido Flexão	Ponte ferroviária Notas de aula	Prof.. Eduardo C. S. Thomaz	pág. 15/43
---	----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	------------

Perdas lentas de protensão :

Retração + Fluência (= Deformação Lenta) + Relaxação

Considerando um aço de protensão CP175 RB – Baixa relaxação

$$\frac{\Delta\sigma_p}{\sigma_p} = 7,4 + \frac{\sigma_p}{18,7} \times \varphi^{1,07} \times (3 + \sigma_{c, po g}) \text{ segundo a norma NBR 6118 item 9.6.3.4.3}$$

$$\frac{\Delta\sigma_p}{\sigma_p} = 7,4 + \left[\frac{210 \text{ GPa } (E \text{ aço})}{25 \text{ GPa } (E \text{ concreto})} \right] \times 2,0^{1,07} \times (3 + 13,14) = 22,6 \%$$

Perda de protensão ao longo do tempo = 22,6 % × (8 cabos com 150 t) = 271,2 t = 2712 kN

Variação das tensões do concreto devido às perdas na força nos cabos.

Propriedades da seção transversal:

$$\begin{aligned} H &= 3.10000 \text{ m} & ZS &= 1.25336 \text{ m} & ZI &= 1.84664 \text{ m} \\ A &= 3.59950 \text{ m}^2 & WS &= 3.67142 \text{ m}^3 & WI &= 2.49189 \text{ m}^3 \\ IY &= 4.60162 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Tensões devidas às perdas de protensão :

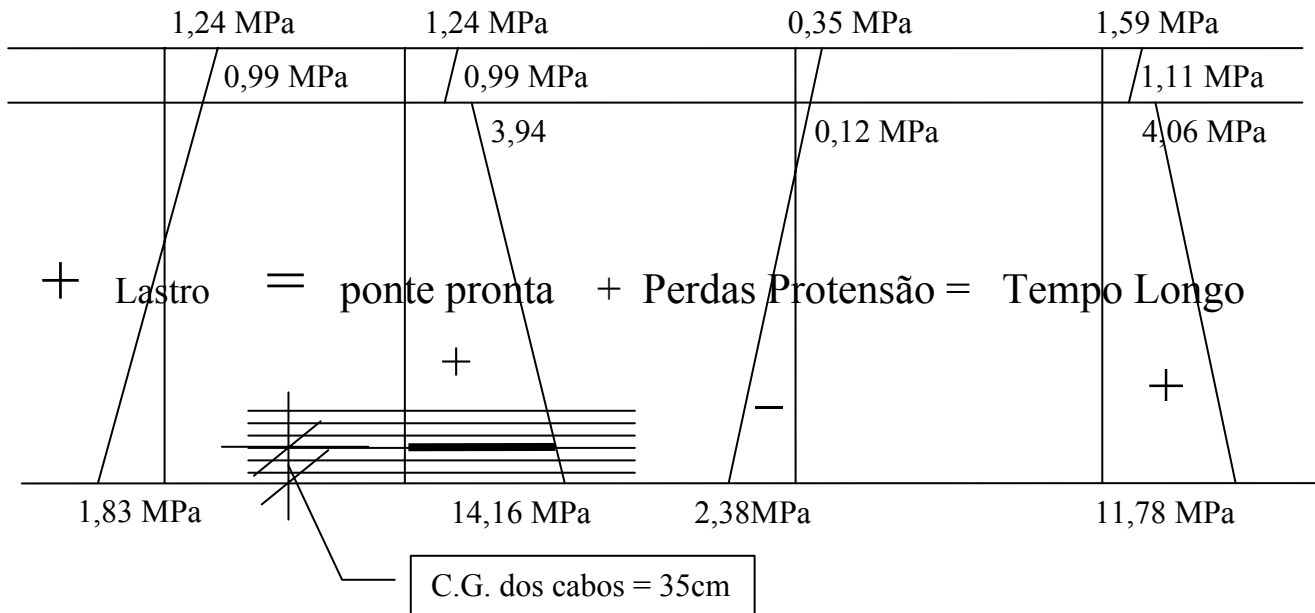
Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo

$$\begin{aligned} \sigma_s &= -\frac{N}{S} + \frac{M}{W_s} = \frac{-2712 \text{ kN}}{3,5995 \text{ m}^2} + \frac{2712 \text{ kN} \times (1,84664 \text{ m} - 0,35 \text{ m}) \text{ kN.m}}{3,67142 \text{ m}^3} = \\ &= -753,4 + (1105,5) = 352,1 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_i &= -\frac{N}{S} - \frac{M}{W_s} = \frac{-2712 \text{ kN}}{3,5995 \text{ m}^2} + \frac{-2712 \text{ kN} \times (1,84664 \text{ m} - 0,35 \text{ m}) \text{ kN.m}}{2,49189 \text{ m}^3} = \\ &= -753,4 + (-1628,8) = -2382,2 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{aligned}$$



Tensão no concreto na altura do C.G. dos cabos

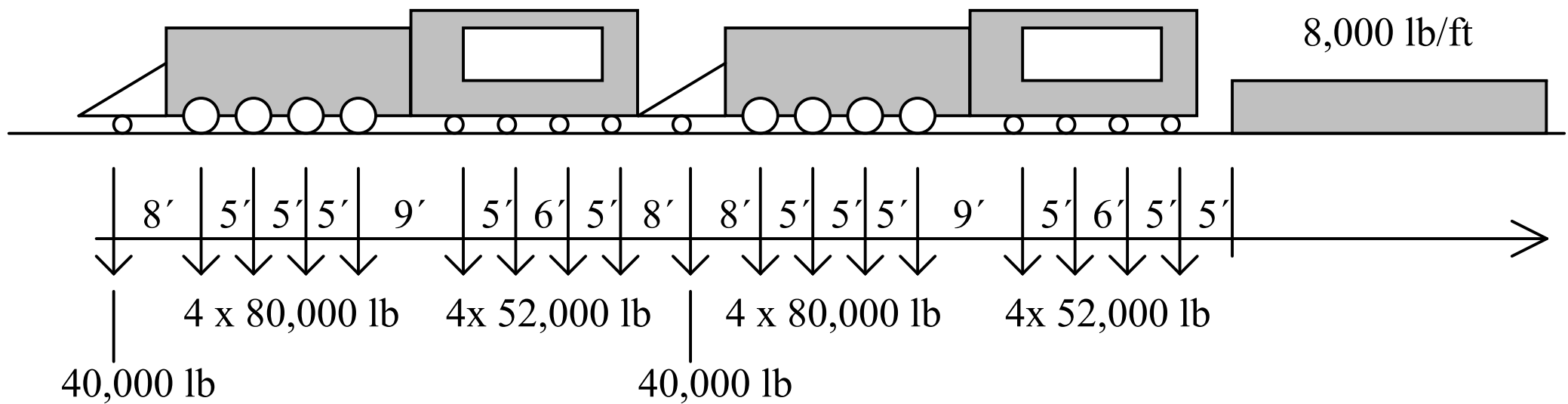


Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo



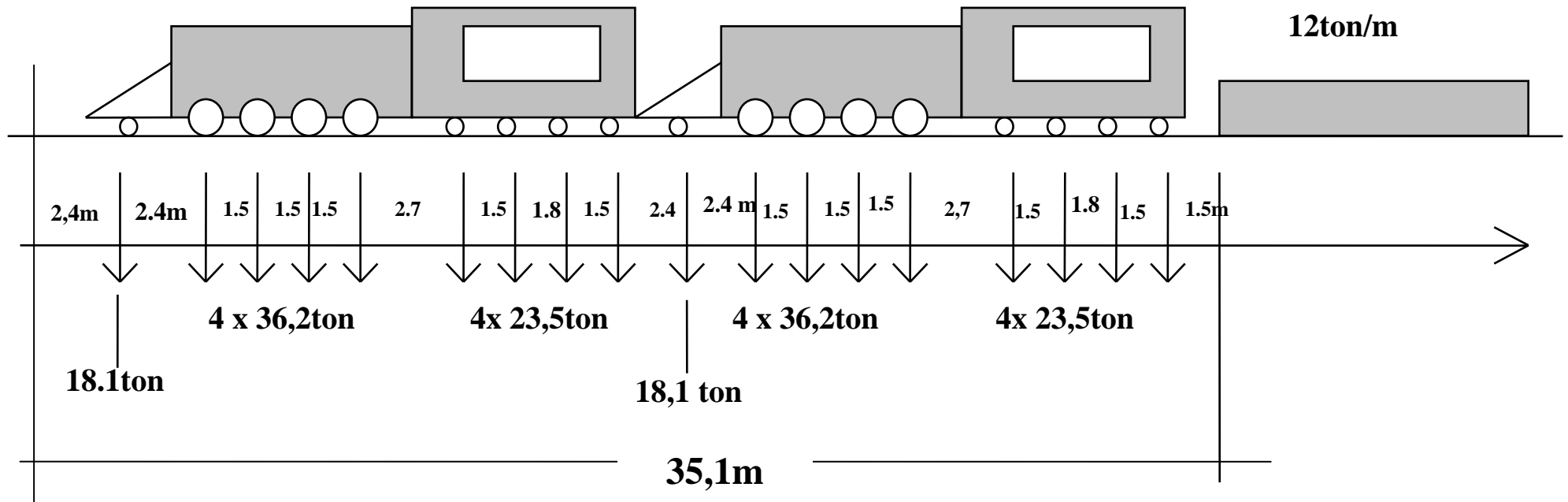
Trem tipo Cooper 80 segundo a A.R.E.A.

Carga Móvel





Trem tipo Cooper 80 segundo a A.R.E.A. American Railway Engineering Association





Determinação do momento fletor máximo no meio do vão:

Programa Vig3con – Autor : Prof. Ernani Diaz

Entrada de dados:

ponte com 29.6m de vão

1 1 0 0
1 10 1 2.96 3.56 1.50 4.60 2.5e+007 1.25e+007 1e-005
1 11 10 r r l

0

0 0 0 0

1

envoltoria para trem ferroviario AREA - COOPER 80 isto eh 5138 kN

x0 fz 5138 35.1 0 20 120 0.2

18

181 2.4

362 4.8

362 6.3

362 7.8

362 9.3

235 12

235 13.5

235 15.3

235 16.8

181 19.2

362 21.6

362 23.1

362 24.6

362 26.1

235 28.8

235 30.3

235 32.1

235 33.6

1

1 10 1 1.34 1.34 1.34

2 s

v m



Programa Vig3con

Resultados :

*Programa VIG3CON para analise de vigas continuas – Autor Prof. Ernani Diaz
Versao 3.0, Modificacao 5 de 31/dez/1992*

O Programa analisa estruturas em vigas com cargas nos membros, temperatura, protensao, recalques, cargas nos nós.

Determina linhas de influencia e envoltorias para trem-tipo rodoviario, ferroviario e qualquer.

Designacao da viga

ponete com 29.6m de vão

Geracao de Coord., Membros, Propr., Apoios, Molas e Liber. dos Membros

<i>Num_R_G_Memb</i>	<i>Num_R_G_Restr</i>	<i>Num_R_G_Molas</i>	<i>Num_R_G_Liberac</i>
1	1	0	0

Definicao da Geometria e Propriedades dos Membros

<i>M_In</i>	<i>M_Fin</i>	<i>Inc_M</i>	<i>Comp.</i>	<i>Ar_AX</i>	<i>Ar_Ciz</i>	<i>Inerc_Iy</i>	<i>Mod_E</i>	<i>Mod_G</i>	<i>Coef_D</i>	<i>Term</i>
1	10	1	2.96	3.56	1.5	4.6	2.5e+007	1.25e+007	1e-005	

Resumo da geometria

<i>Num_Membros</i>	<i>Num_Nos</i>	<i>Graus_Lib</i>
10	11	33

Definicao das Restricoes dos Nos

<i>No_Inic</i>	<i>No_Fin</i>	<i>Incr_No</i>	<i>Desl_X</i>	<i>Desl_Z</i>	<i>Rot_Y</i>
		<i>r l</i>	<i>r l</i>	<i>r l</i>	
1	11	10	r	r	l


Numero de carregamentos

0

Determinacao Individual de Linhas de Influencia

Numero de dados referentes a linhas de influencia

<i>Esf_Internos</i>	<i>Reacoes</i>	<i>Deslocam</i>	<i>Esforc_Hip_Prot</i>
0	0	0	0

	Concreto Protendido Flexão	Ponte ferroviária Notas de aula	Prof.. Eduardo C. S. Thomaz	pág. 21/43
---	----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	------------

Determinacao de Envolvitorias para Trens_Tipos

Numero de Trens Tipos

1

Designacao do Trem Tipo

envoltoria para ferroviario COOPER 80 isto eh 5138 kN AREA

Trem_Tipo Dir_Carr Esf_Vei Comp_Vei Esf_Dist_Vei Esf_D_Min Esf_D_Max Int_Pos
r0|f0|x0 fx|fz|my

x0 fz 5138.000 35.100 0.000 20.000 120.000 **0.200**

Trem tipo especial com cargas fornecidas.

O comprimento fornecido e 35.10

Numero de Esforços do Trem Tipo Especial

18

Esforços e Distancias (do Inicio do Trem) Fornecidos

181.00	2.40	362.00	4.80	362.00	6.30
362.00	7.80	362.00	9.30	235.00	12.00
235.00	13.50	235.00	15.30	235.00	16.80
181.00	19.20	362.00	21.60	362.00	23.10
362.00	24.60	362.00	26.10	235.00	28.80
235.00	30.30	235.00	32.10	235.00	33.60

NOTA: A força distribuída mínima será aplicada à frente e atrás do veículo em toda a extensão da estrutura

Numero de dados referentes a coeficientes de impacto

1

Memb_Inic Memb_Final Incr. Veiculo Carga_veic Carg_dist

1 10 1 1.34 1.34 1.34

Numero de envoltórias a serem calculadas

Numero Calcula_envoltorias_concomitantes(s|n)

2

s

Discriminação dos tipos de envoltórias

n|v|m| fx|fz|my| dx|dz|ry

v m



envoltoria para ferroviario COOPER 80 isto eh 5138 kN AREA

*Envoltoria de Esforços Internos nos Membros- Valores minimos
Solicitacao de Esforço Cortante*

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
<i>ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES</i>						
1	0	0*	0	0	-70.47*	1877.3
2	0	-70.47*	1877.3	0	-232.71*	5510.6
3	0	-232.71*	5510.6	0	-444.93*	9219
4	0	-444.93*	9219	0	-683.15*	12133
5	0	-683.15*	12133	0	-979.77*	14983
6	0	-979.77*	14983	0	-1354*	16152
7	0	-1354*	16152	0	-1806.9*	16046
8	0	-1806.9*	16046	0	-2341*	13859
9	0	-2341*	13859	0	-2911*	8616.6
10	0	-2911*	8616.6	0	-3472*	-0.004401

envoltoria para ferroviario COOPER 80 isto eh 5138 kN AREA


*Envoltoria de Esforços Internos nos Membros- Valores maximos
Solicitacao de Esforço Cortante*

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
<i>ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES</i>						
1	0	3573.7*	-0.0045304	0	2933.5*	8683.2
2	0	2933.5*	8683.2	0	2350*	13934
3	0	2350*	13934	0	1843.8*	16598
4	0	1843.8*	16598	0	1405.4*	16639
5	0	1405.4*	16639	0	1037*	15348
6	0	1037*	15348	0	712.01*	12645
7	0	712.01*	12645	0	438.76*	9091.1
8	0	438.76*	9091.1	0	237.26*	5677.5
9	0	237.26*	5677.5	0	68.469*	1883.1
10	0	68.469*	1883.1	0	0*	0

envoltoria para ferroviario COOPER 80 isto eh 5138 kN AREA

*Envoltoria de Esforços Internos nos Membros- Valores minimos
Solicitacao de Momento Fletor*

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
<i>ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES</i>						

	Concreto Protendido Flexão	Ponte ferroviária Notas de aula	Prof.. Eduardo C. S. Thomaz	pág. 23/43
---	----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	------------

1	0	3170.3	-0.0046673*	0	0	0*
2	0	0	0*	0	0	0*
3	0	0	0*	0	0	0*
4	0	0	0*	0	0	0*
5	0	0	0*	0	0	0*
6	0	0	0*	0	0	0*
7	0	0	0*	0	0	0*
8	0	0	0*	0	0	0*
9	0	0	0*	0	0	0*
10	0	0	0*	0	-3084.8	-0.0046528*

envoltoria para ferroviario COOPER 80 isto eh 5138 kN AREA

*Envoltoria de Esforços Internos nos Membros- Valores maximos
Solicitacao de Momento Fletor*

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
	<i>ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES</i>					
1	0	0	0*	0	2781.9	8962.2*
2	0	2781.9	8962.2*	0	1957.6	15494*
3	0	1957.6	15494*	0	1180.9	19728*
4	0	1180.9	19728*	0	454.98	21928*
5	0	454.98	21928*	0	377.03	22844*
6	0	377.03	22844*	0	-227.35	22341*
7	0	-227.35	22341*	0	-1060.1	19866*
8	0	-1060.1	19866*	0	-1653.9	15386*
9	0	-1653.9	15386*	0	-2701.1	8771.4*
10	0	-2701.1	8771.4*	0	0	0*

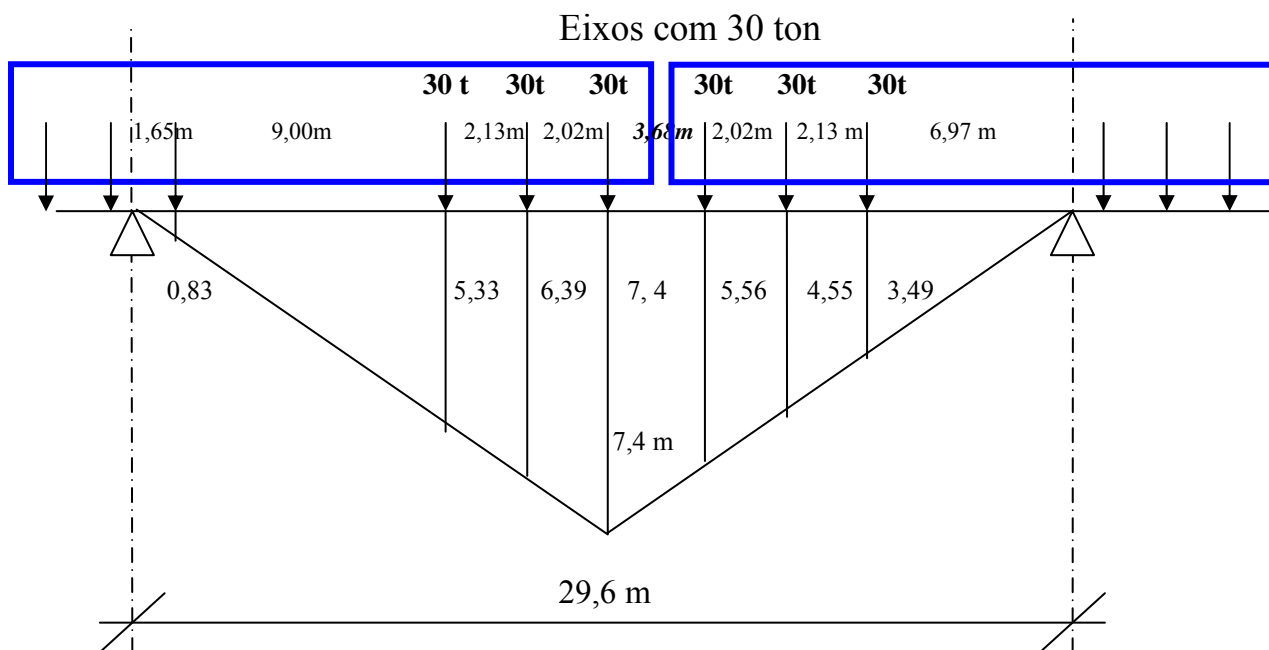
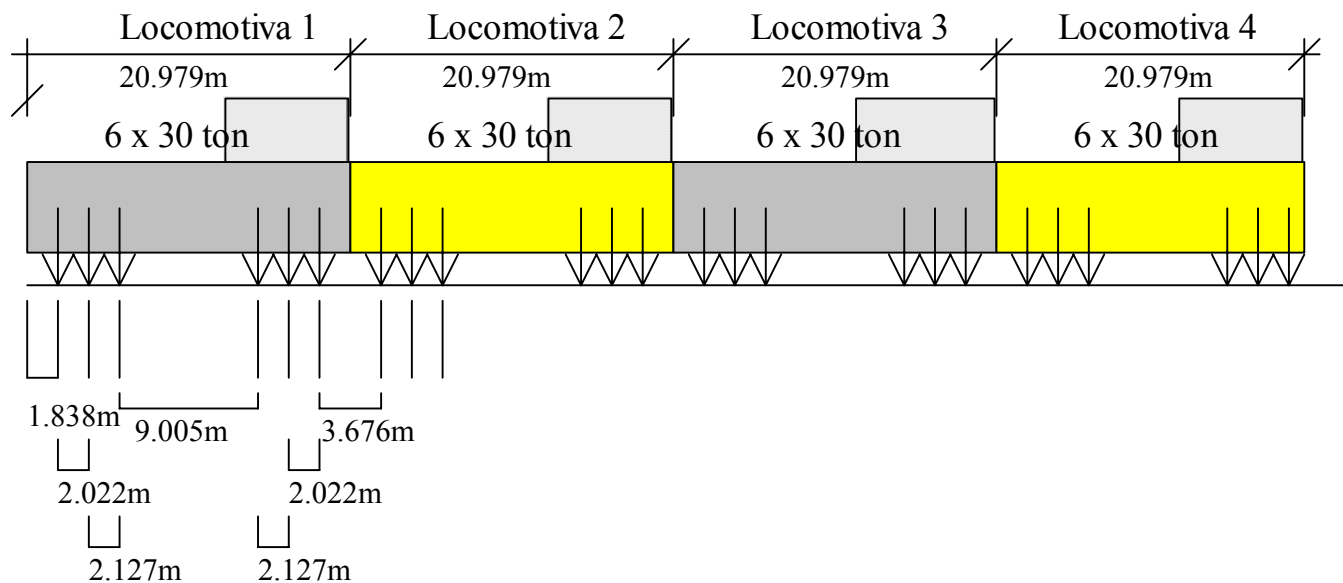
Fim do Programa



Outro Trem tipo CVRD NOVO (1995) :

4 Locomotivas Villares SD-40-2 com 6 x 30ton = 180ton (comprimento = 20.979m) + 202 a 240 vagões de 4 x 36ton = 144 ton (comprimento = 9.80 m)

4 LOCOMOTIVAS Villares SD+40+2 , com 6 eixos e carga de 30ton. por eixo



Momento de carga móvel = $(0,83 + 5,33 + 6,39 + 7,4 + 5,56 + 4,55 + 3,49) \times 30\text{ton} = 1006,5 \text{ ton.m} = 10065 \text{ kN.m}$ (duas vigas)

Com $L = 29,6\text{m}$: Coeficiente de impacto : $\varphi = 1,6 - 0,06\sqrt{L} + 0,00225 \times L = 1,6 - 0,326 + 0,067 = 1,34$



Só 2 Locomotivas tipo CVRD

Programa VIG3CON para análise de vigas contínuas – Autor Prof. Ernani Diaz
Versao 3.0, Modificacao 5 de 31/dez/1992

O Programa analisa estruturas em vigas com cargas nos membros,
temperatura, protensao, recalques, cargas nos nos. Determina
linhas de influencia e envoltorias para trem-tipo rodoviario,
ferroviario e qualquer.

Designacao da viga

ponte com 29.6m de vão

Geracao de Coord., Membros, Propr., Apoios, Molas e Liber. dos Membros

Num_R_G_Memb	Num_R_G_Restr	Num_R_G_Molas	Num_R_G_Liberac
1	1	0	0

Definicao da Geometria e Propriedades dos Membros

M_In	M_Fin	Inc_M	Comp.	Ar_AX	Ar_Ciz	Inerc_Iy	Mod_E	Mod_G	Coef_D	Term
1	10	1	2.96	3.56	1.5	4.6	2.5e+007	1.25e+007	1e-005	

Resumo da geometria

Num_Membros	Num_Nos	Graus_Lib
10	11	33

Definicao das Restricoes dos Nos

No_Inic	No_Fin	Incr_No	Desl_X	Desl_Z	Rot_Y
		r l	r l	r l	
1	11	10	r	r	l

Numero de carregamentos

0

Determinacao Individual de Linhas de Influencia

Numero de dados referentes a linhas de influencia

Esf_Internos	Reacoes	Deslocam	Esforc_Hip_Prot
0	0	0	0

Determinacao de Envoltorias para Trens_Tipos

Numero de Trens Tipos

1

Designacao do Trem Tipo

envoltOria para ferroviario CVRD 1995 2 Locomotivas

Trem_Tipo	Dir_Carr	Esf_Vei	Comp_Vei	Esf_Dist_Vei	Esf_D_Min	Esf_D_Max	Int_Pos
r0 f0 x0	fx fz my						
x0	fz	3600.000	41.958	0.000	20.000	20.000	0.100



Trem tipo especial com cargas fornecidas pela empresa ferroviária.

O comprimento fornecido é de **41.96m**

Numero de Esforços do Trem Tipo Especial
12

Esforços e Distancias (do Inicio do Trem) Fornecidos

300.00	1.84	300.00	3.86	300.00	5.99
300.00	14.99	300.00	17.12	300.00	19.14
300.00	22.82	300.00	24.84	300.00	26.97
300.00	35.97	300.00	38.10	300.00	40.12

NOTA: A força distribuida minima sera aplicada a frente e atras do veiculo em toda a extensao da estrutura

Numero de dados referentes a coeficientes de impacto
1

Memb_Inic Memb_Final Incr. Veiculo Carga_veic Carg_dist
1 10 1 1.34 1.34 1.34

Numero de envoltorias a serem calculadas

Numero Calcula_envoltorias_concomitantes(s|n)
2 s

Discriminacao dos tipos de envoltorias

n|v|m| fx|fz|my| dx|dz|ry
v m

envoltOria para ferroviario CVRD 1995 2 Locomotivas

Envoltoria de Esforços Internos nos Membros- Valores minimos
Solicitacao de Esforco Cortante

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES						
1	0	0*	0	0	-51.362*	1368.3
2	0	-51.362*	1368.3	0	-155.51*	3693.4
3	0	-155.51*	3693.4	0	-278.14*	5763.1
4	0	-278.14*	5763.1	0	-473.03*	8506.1
5	0	-473.03*	8506.1	0	-710.64*	10517
6	0	-710.64*	10517	0	-955.1*	11308
7	0	-955.1*	11308	0	-1199.6*	10652
8	0	-1199.6*	10652	0	-1478.4*	8752.1
9	0	-1478.4*	8752.1	0	-1824.4*	5400.3
10	0	-1824.4*	5400.3	0	-2181.8*	-0.0024832

envoltOria para ferroviario CVRD 1995 2 Locomotivas

Envoltoria de Esforços Internos nos Membros- Valores maximos



Solicitacao de Esforco Cortante

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES						
1	0	2189.1*	-0.0024769	0	1819.3*	5385.2
2	0	1819.3*	5385.2	0	1484.7*	8789.4
3	0	1484.7*	8789.4	0	1196.1*	10622
4	0	1196.1*	10622	0	951.69*	11268
5	0	951.69*	11268	0	715.38*	10588
6	0	715.38*	10588	0	470.08*	8456.9
7	0	470.08*	8456.9	0	276.4*	5727.1
8	0	276.4*	5727.1	0	154.62*	3661.5
9	0	154.62*	3661.5	0	50.225*	1338
10	0	50.225*	1338	0	0*	0

envoltória para ferroviário tipo CVRD 1995 2 Locomotivas

Envoltória de Esforços Internos nos Membros- Valores mínimos

Solicitação de Momento Fletor

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES						
1	0	1733.8	-0.0026825*	0	0	0*
2	0	0	0*	0	0	0*
3	0	0	0*	0	0	0*
4	0	0	0*	0	0	0*
5	0	0	0*	0	0	0*
6	0	0	0*	0	0	0*
7	0	0	0*	0	0	0*
8	0	0	0*	0	0	0*
9	0	0	0*	0	0	0*
10	0	0	0*	0	-1726.6	-0.0026826*

envoltória para ferroviário CVRD 1995 2 Locomotivas

Envoltória de Esforços Internos nos Membros- Valores máximos

Solicitação de Momento Fletor

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES						
1	0	0	0*	0	1429.5	5410.9*
2	0	1429.5	5410.9*	0	929.76	9361.3*
3	0	929.76	9361.3*	0	811.08	11864*
4	0	811.08	11864*	0	491.09	13202*
5	0	491.09	13202*	0	-170.5	13479*
6	0	-170.5	13479*	0	-94.204	13203*
7	0	-94.204	13203*	0	-413.63	11855*
8	0	-413.63	11855*	0	-922.65	9366*
9	0	-922.65	9366*	0	-1434.7	5409.2*
10	0	-1434.7	5409.2*	0	0	0*

Fim do Programa



2 locomotivas + vagões pesados

Programa VIG3CON para análise de vigas contínuas – Autor Prof. Ernani Diaz
Versão 3.0, Modificação 5 de 31/dez/1992

O Programa analisa estruturas em vigas com cargas nos membros, temperatura, protensão, recalques, cargas nos nós. Determina linhas de influencia e envoltórias para trem-tipo rodoviário, ferroviário e qualquer.

Designação da viga

ponete com 29.6m de vão

Geração de Coord., Membros, Propr., Apoios, Molas e Liber. dos Membros

Num_R_G_Memb	Num_R_G_Restr	Num_R_G_Molas	Num_R_G_Liberac
1	1	0	0

Definição da Geometria e Propriedades dos Membros

M_In	M_Fin	Inc_M	Comp.	Ar_AX	Ar_Ciz	Inerc_Iy	Mod_E	Mod_G	Coef_D_Term
1	10	1	2.96	3.56	1.5	4.6	2.5e+007	1.25e+007	1e-005

Resumo da geometria

Num_Membros	Num_Nos	Graus_Lib
10	11	33

Definição das Restrições dos Nos

No_Inic	No_Fin	Incr_No	Desl_X	Desl_Z	Rot_Y
		r l	r l	r l	
1	11	10	r	r	l

Numero de carregamentos

0

Determinacao Individual de Linhas de Influencia

Numero de dados referentes a linhas de influencia

Esf_Internos	Reacoes	Deslocam	Esforc_Hip_Prot
0	0	0	0

Determinacao de Envoltorias para Trens_Tipos

Numero de Trens Tipos

1

Designacao do Trem Tipo

envoltOria para ferroviario CVRD 1995 Locomotiva

Trem_Tipo	Dir_Carr	Esf_Vei	Comp_Vei	Esf_Dist_Vei	Esf_D_Min	Esf_D_Max	Int_Pos
r0 f0 x0	fx fz my						
x0	fz	3600.000	41.958	0.000	20.000	120.000	0.100

Trem tipo especial com cargas fornecidas.



O comprimento fornecido e 41.96

Numero de Esforços do Trem Tipo Especial

12

Esforços e Distancias (do Inicio do Trem) Fornecidos

300.00	1.84	300.00	3.86	300.00	5.99
300.00	14.99	300.00	17.12	300.00	19.14
300.00	22.82	300.00	24.84	300.00	26.97
300.00	35.97	300.00	38.10	300.00	40.12

NOTA: A força distribuída mínima será aplicada à frente e atrás do veiculo em toda a extensão da estrutura

Numero de dados referentes a coeficientes de impacto

1

Memb_Inic Memb_Final Incr. Veiculo Carga_veic Carg_dist

1	10	1	1.34	1.34	1.34
---	----	---	------	------	------

Numero de envoltórias a serem calculadas

Numero Calcula_envoltorias_concomitantes(s|n)

2	s
---	---

Discriminação dos tipos de envoltórias

n|v|m| fx|fz|my| dx|dz|ry

v m

envoltória para ferroviário tipo CVRD 1995 Locomotiva

Envoltória de Esforços Internos nos Membros- Valores mínimos

Solicitação de Esforço Cortante

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES						
1	0	0*	0	0	-51.362*	1368.3
2	0	-51.362*	1368.3	0	-155.51*	3693.4
3	0	-155.51*	3693.4	0	-296.42*	6141.9
4	0	-296.42*	6141.9	0	-489.41*	8692
5	0	-489.41*	8692	0	-722.45*	10692
6	0	-722.45*	10692	0	-1011.6*	11977
7	0	-1011.6*	11977	0	-1337.6*	11878
8	0	-1337.6*	11878	0	-1722.9*	10199
9	0	-1722.9*	10199	0	-2157.1*	6384.9
10	0	-2157.1*	6384.9	0	-2623.3*	-0.0035013

envoltória para ferroviário CVRD 1995 Locomotiva

Envoltória de Esforços Internos nos Membros- Valores máximos

Solicitação de Esforço Cortante

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y



ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES

1	0	2633.1*	-0.0034988	0	2150.7*	6366
2	0	2150.7*	6366	0	1717.2*	10166
3	0	1717.2*	10166	0	1344.6*	11940
4	0	1344.6*	11940	0	1007.2*	11926
5	0	1007.2*	11926	0	727.59*	10768
6	0	727.59*	10768	0	486.39*	8638.2
7	0	486.39*	8638.2	0	294.08*	6093.3
8	0	294.08*	6093.3	0	154.62*	3661.5
9	0	154.62*	3661.5	0	50.225*	1338
10	0	50.225*	1338	0	0*	0

envoltória para ferroviário CVRD 1995 Locomotiva

Envoltória de Esforços Internos nos Membros- Valores mínimos
Solicitação de Momento Fletor

Membro Extr_Inicial Extr_Final
Forc_x Forc_z Mom_y Forc_x Forc_z Mom_y

ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES

1	0	2379.8	-0.0035467*	0	0	0*
2	0	0	0*	0	0	0*
3	0	0	0*	0	0	0*
4	0	0	0*	0	0	0*
5	0	0	0*	0	0	0*
6	0	0	0*	0	0	0*
7	0	0	0*	0	0	0*
8	0	0	0*	0	0	0*
9	0	0	0*	0	0	0*
10	0	0	0*	0	-2370.5	-0.0035467*

envoltória para ferroviário CVRD 1995 Locomotiva

Envoltória de Esforços Internos nos Membros- Valores máximos
Solicitação de Momento Fletor

Membro Extr_Inicial Extr_Final
Forc_x Forc_z Mom_y Forc_x Forc_z Mom_y

ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES

1	0	0	0*	0	1695.7	6527.8*
2	0	1695.7	6527.8*	0	1533.8	11393*
3	0	1533.8	11393*	0	951.93	14793*
4	0	951.93	14793*	0	475.96	16906*
5	0	475.96	16906*	0	-0.0092629	17611*
6	0	-0.0092629	17611*	0	-475.98	16906*
7	0	-475.98	16906*	0	-951.95	14793*
8	0	-951.95	14793*	0	-1540.4	11398*
9	0	-1540.4	11398*	0	-2088.1	6530.9*
10	0	-2088.1	6530.9*	0	0	0*

Fim do Programa

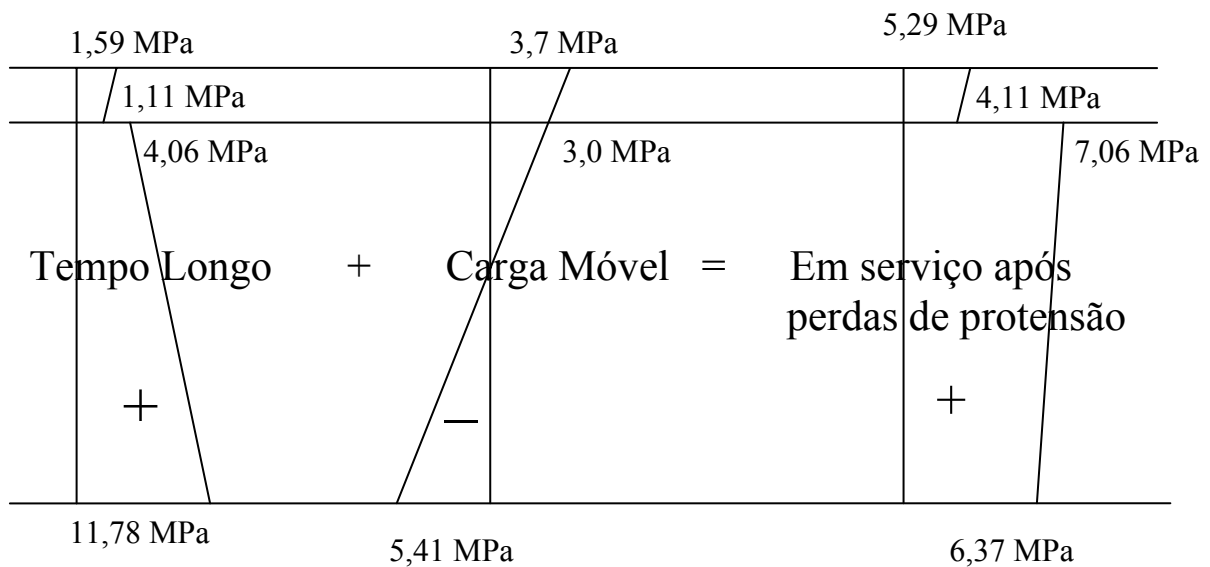


Tensão no concreto :

Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo

$$\sigma_s = \frac{M}{W_s} = \frac{1,34 \times 10065 \text{ kN.m}}{3,67142 \text{ m}^3} = 1,34 \times 2741 \text{ kN/m}^2 = 3,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_i = \frac{M}{W_i} = -\frac{1,34 \times 10065 \text{ kN.m}}{2,49189 \text{ m}^3} = -1,34 \times 4039 \text{ kN/m}^2 = -5,41 \text{ MPa}$$



Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo



Verificação da segurança à ruptura

$$M = \frac{29,24 \times 29,6^2}{8} + \frac{(52,02 - 29,24) \times 3,625^2}{2} = 3202,4 + 149,7 = 3352,1 \text{ kN.m}$$

Carga permanente total :

Peso de duas Vigas = 2 x 3352,1 kN.m = 6704,2 kN.m

Laje total = 2 x 2437,4 kN.m = 4874,8 kN.m

Lastro total em duas vigas = 4 567 kN.m

Total de carga permanente = 16146 kN.m

Carga móvel (duas vigas)... = 10 065 kN.m

Coefficiente de impacto : : $\varphi = 1,6 - 0,06\sqrt{L} + 0,00225 \times L = 1,6 - 0,326 + 0,067 = 1,34$

Md total = 1,35 x 16146 + 1,50 x 1,34 x 10065 = 21797 + 20231 = 42028 kN.m (2 duas vigas)

Z = braço de alavanca = 3,10m - 0,35m (C.G cabos) - 0,10m (CG laje) = 2,65m

$$Rc \text{ concreto} = Rt \text{ aço} = \frac{42028 \text{ kN}}{2,65\text{m}} = 15859 \text{ kN}$$

$$\text{Área de concreto necessária : } Ac = \frac{15859 \text{ kN}}{0,85 \times \frac{28000 \text{ kN/m}^2}{1,40}} = 0,93 \text{ m}^2 =$$

Ac existente = 6,30 m x 0,20m = 1,26m² > 0,93 m² **OK**

Área de aço de protensão total (2 vigas) :

$$As \text{ prot.} = \frac{15859 \text{ kN}}{\left(\frac{150 \text{ kN/cm}^2}{1,15} \right)} = 121,5 \text{ cm}^2 \text{ nas duas vigas} = 61 \text{ cm}^2 \text{ por viga}$$

A obra foi executada com o aço CP175 - RB

Hoje em dia se usa o aço CP190 - RB.

No projeto existem 8 cabos com 12 cordoalhas cada = 96cm² em cada viga



OUTROS TRENS TIPO

Trem tipo CVRD-NOVO : Trecho com os vagões cheios :

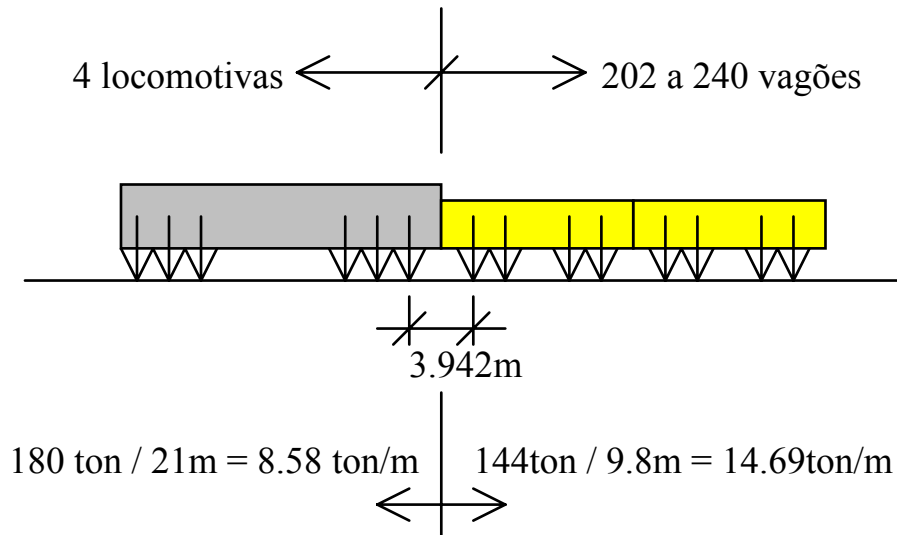
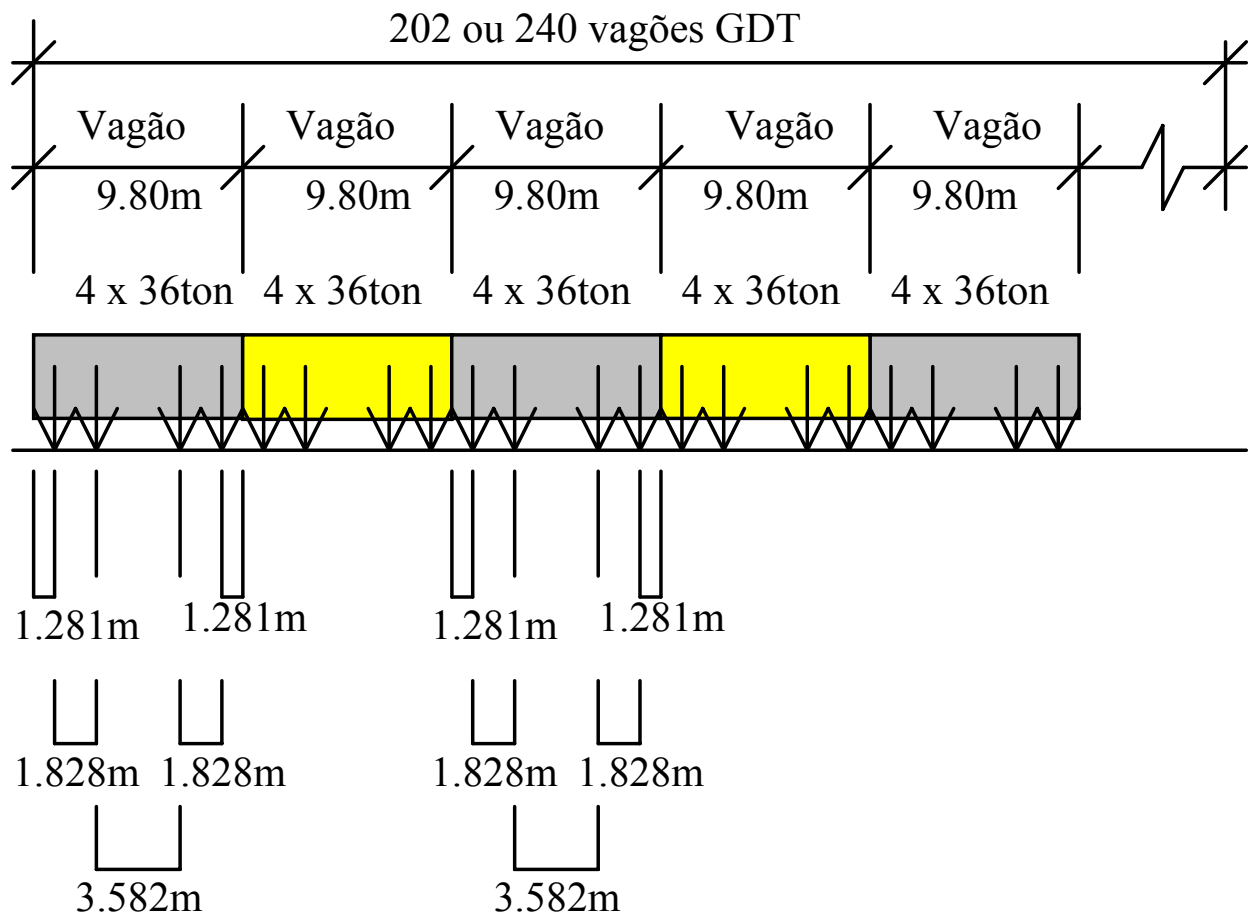


Figura 5 - Trem tipo CVRD-NOVO - 144ton / 1995 Ligação Locomotiva-Vagão

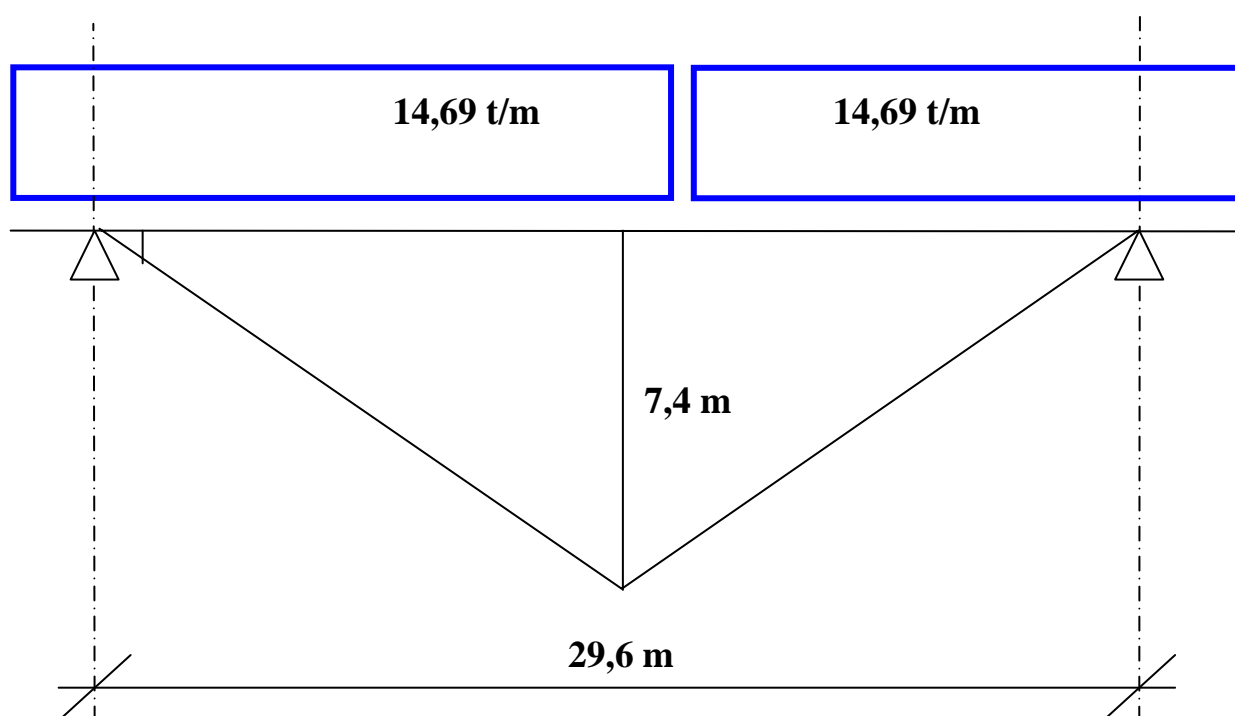
202 a 240 VAGÕES GDT com 4 eixos e carga de 360kN (36 ton.) por eixo.





Trem tipo CVRD-NOVO 144ton / 1995 - 202 a 240 VAGÕES GDT

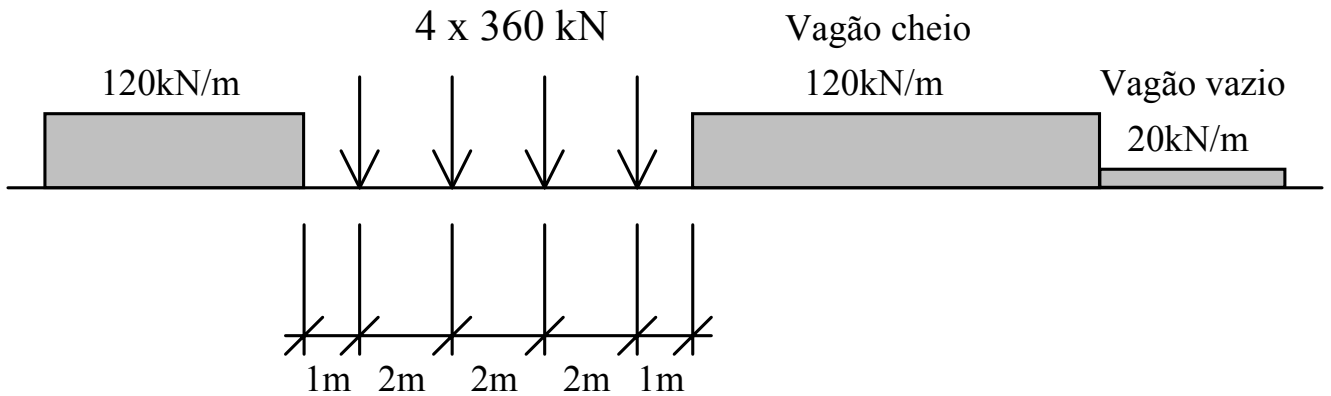
Carga distribuída do vagão = $4 \times 36t / 9,8m = 14,69 \text{ t/m}$



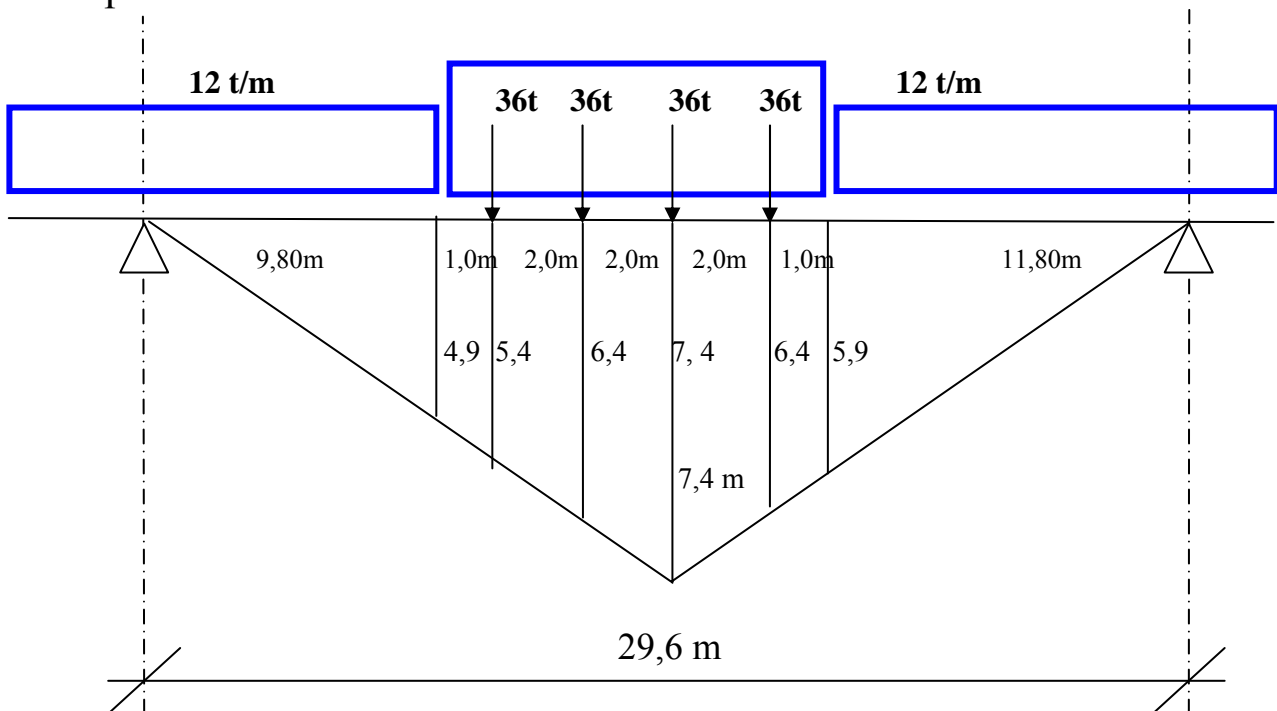
Momento fletor de carga móvel : $146,9 \text{ kN/m} \times (29,6 \text{ m})^2 / 8 = \mathbf{16088 \text{ kN.m}}$



Trem tipo TB360 da ABNT



Trem tipo TB360



$$M = (5,4 + 6,4 + 7,4 + 6,4) \text{ m} \times 360 \text{ kN} = 9216 \text{ kN.m}$$
$$+ (4,9 \text{ m} \times 9,80 \text{ m} / 2) \times 120 \text{ kN/m} = 2881 \text{ kN.m}$$
$$+ (5,9 \text{ m} \times 11,80 \text{ m} / 2) \times 120 \text{ kN/m} = 4177 \text{ kN.m}$$
$$M_{\text{total}} = 16\,274 \text{ kN.m}$$
$$M_{\text{total}} \times \varphi = 16\,274 \text{ kN.m} \times 1,34 = 21\,807 \text{ kN.m}$$

Coeficiente de impacto : Com $L = 29,6\text{m}$: Coeficiente de impacto :

$$\varphi = 1,6 - 0,06\sqrt{L} + 0,00225 \times L = 1,6 - 0,326 + 0,067 = 1,34$$

$$: \varphi = 1,6 - 0,06\sqrt{L} + 0,00225 \times L = 1,6 - 0,326 + 0,067 = 1,34$$

Considerando todo o vão com a carga distribuída :

$$M = 120 \text{ kN/m} \times (29,6\text{m})^2 / 8 = \mathbf{13\,142 \text{ kN.m}}$$



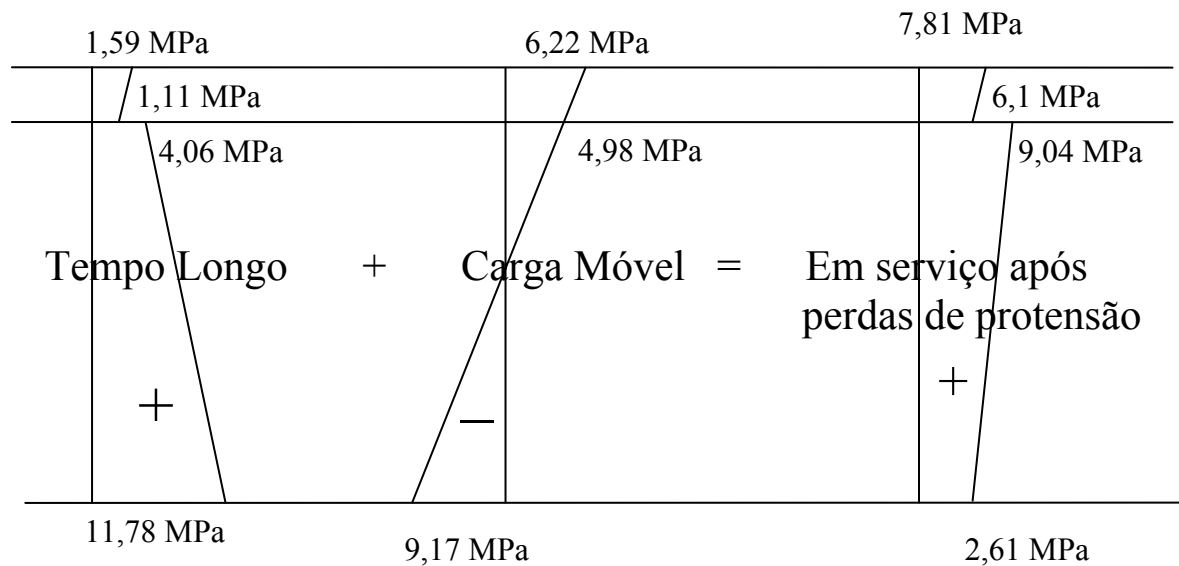
Tensão no concreto :

Para $\phi \times M$ máximo de carga móvel = 22844 kN.m (tabuleiro total)

Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo

$$\sigma_s = \frac{M}{W_s} = \frac{22844 \text{ kN.m}}{3,67142 \text{ m}^3} = +6222 \text{ kN / m}^2 = +6,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_i = \frac{M}{W_i} = -\frac{22844 \text{ kN.m}}{2,49189 \text{ m}^3} = -9167 \text{ kN / m}^2 = -9,17 \text{ MPa}$$



Convenção de sinal : Compressão = positivo ; Tração = negativo

Nova Verificação da segurança à ruptura na flexão :

Carga permanente total :

Peso de duas Vigas = 2 x 3352,1 kN.m = 6704,2 kN.m

Laje total = 2 x 2437,4 kN.m = 4874,8 kN.m

Lastro total em duas vigas = 4 567 kN.m

Total de carga permanente = 16146 kN.m

Carga móvel (duas vigas)... = 10 065 kN.m



Carga móvel (duas vigas)... = M total = 22844kN.m

$$M_d \text{ total} = 1,35 \times 15547 + 1,50 \times (22844) = 20988 + 34266 = 55254 \text{ kN.m (2 duas vigas)}$$

$$Z = \text{braço de alavanca} = 3,10\text{m} - 0,35\text{m (C.G cabos)} - 0,10\text{m (CG laje)} = 2,65\text{m}$$

$$R_c \text{ concreto} = R_t \text{ aço} = \frac{55254 \text{ kN}}{2,65\text{m}} = 20850 \text{ kN}$$

$$\text{Área de concreto necessária : } A_c = \frac{20850 \text{ kN}}{0,85 \times \frac{28000 \text{ kN/m}^2}{1,40}} = 1,23\text{m}^2 =$$

$$A_c \text{ existente} = 6,30 \text{ m} \times 0,20\text{m} = 1,26\text{m}^2 > 1,23 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

Área de aço de protensão total (2 vigas) :

$$A_s \text{ prot.} = \frac{20850 \text{ kN}}{\left(\frac{150 \text{ kN/cm}^2}{1,15} \right)} = 160 \text{ cm}^2 \text{ nas duas vigas}$$

A obra foi executada com o aço CP175 - RB

Hoje em dia se usa o aço CP190 - RB.

Nn projeto existem 8 cabos com 12 cordoalhas cada = 96cm² em cada viga

$$A_s \text{ prot.} = 2 \times (8 \times 12 \times 1,0\text{cm}^2) = 192\text{cm}^2$$



Verificação para o Trem tipo NB TB36 ABNT

Designação da viga

Ponte com 29.6m de vão -

Programa VIG3CON para análise de vigas contínuas – Autor Prof. Ernani Diaz

Versão 3.0, Modificação 5 de 31/dez/1992

O Programa analisa estruturas em vigas com cargas nos membros, temperatura, protensão, recalques, cargas nos. Determina linhas de influencia e envoltórias para trem-tipo rodoviário, ferroviário e qualquer.

Considerando o cálculo para posições do trem tipo a cada 10cm de obtemos um momento fletor máximo igual ao máximo teórico.

Designação da viga

ponte com 29.6m de vão

Geração de Coord., Membros, Propr., Apoios, Molas e Liber. dos Membros

Num_R_G_Memb	Num_R_G_Restr	Num_R_G_Molas	Num_R_G_Liberac
1	1	0	0

Definição da Geometria e Propriedades dos Membros

M_In	M_Fin	Inc_M	Comp.	Ar_AX	Ar_Ciz	Inerc_Iy	Mod_E	Mod_G	Coef_D_Term
1	10	1	2.96	1.61	1.61	0.0071	2.5e+007	1.25e+007	1e-005

Resumo da geometria

Num_Membros	Num_Nos	Graus_Lib
10	11	33

Definição das Restrições dos Nós

No_Inic	No_Fin	Incr_No	Desl_X	Desl_Z	Rot_Y
		r	r	r	
1	11	10	r	r	1

Numero de carregamentos

0

Determinação Individual de Linhas de Influencia

Numero de dados referentes a linhas de influencia

Esf_Internos	Reacoes	Deslocam	Esforc_Hip_Prot
0	0	0	0

Determinação de Envoltórias para Trens_Tipos

Numero de Trens Tipos

1



Designação do Trem Tipo : **4x36ton isto é 1440 kN**

Passo usado no programa = 10cm (distância entre cada posição consecutiva do trem tipo)

Tipo envoltoria para ferroviario

Trem_Tipo Dir_Carr Esf_Vei Comp_Vei Esf_Dist_Vei Esf_D_Min Esf_D_Max Int_Pos
r0|f0|x0 fx|fz|my

O intervalo para posicionamento do trem tipo pode ser pequeno

x0 fz 1440.000 8.000 0.000 0.000 120.000 **0.100**

Trem tipo especial com cargas fornecidas.

O comprimento fornecido e 8.00

Numero de Esforços do Trem Tipo Especial

4

Esforços e Distancias (do Inicio do Trem) Fornecidos

360.00 1.00 360.00 3.00 360.00 5.00

360.00 7.00

Numero de dados referentes a coeficientes de impacto

1

Memb_Inic Memb_Final Incr. Veiculo Carga_veic Carg_dist

1 10 1 1.34 1.34 1.34

Numero de envoltorias a serem calculadas

Numero Calcula_envoltorias_concomitantes(s|n)

1 s

Discriminacao dos tipos de envoltorias

n|v|m| fx|fz|my| dx|dz|ry

m

envoltOria para ferroviario 4x36ton isto eh 1440 kN

Envoltoria de Esforços Internos nos Membros- Valores minimos
Solicitacao de Momento Fletor

Membro Extr_Inicial Extr_Final
Forc_x Forc_z Mom_y Forc_x Forc_z Mom_y

ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES

1	0	2764.5	-0.034793*	0	0	0*
2	0	0	0*	0	0	0*
3	0	0	0*	0	0	0*
4	0	0	0*	0	0	0*
5	0	0	0*	0	0	0*
6	0	0	0*	0	0	0*
7	0	0	0*	0	0	0*
8	0	0	0*	0	0	0*
9	0	0	0*	0	0	0*
10	0	0	0*	0	-2764.5	-0.034793*



envoltória para ferroviário 4x36ton isto e 1440 kN

Envoltória de Esforços Internos nos Membros- Valores máximos

Solicitação de Momento Fletor

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y
ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES						
1	0	0	0*	0	2571.1	7931.9*
2	0	2571.1	7931.9*	0	1559.3	14008*
3	0	1559.3	14008*	0	1376.8	18353*
4	0	1376.8	18353*	0	365.06	20968*
5	0	365.06	20968*	0	-299.87	21808*
6	0	-299.87	21808*	0	-365.06	20968*
7	0	-365.06	20968*	0	-1376.8	18353*
8	0	-1376.8	18353*	0	-1559.3	14008*
9	0	-1559.3	14008*	0	-2571.1	7931.9*
10	0	-2571.1	7931.9*	0	0	0*

Fim do Programa

...

Considerando o cálculo para posições do trem tipo a cada **20cm** de obtemos um momento fletor máximo pouco menor que o máximo teórico.

Geracao de Coord., Membros, Propr., Apoios, Molas e Liber. dos Membros

Num_R_G_Memb	Num_R_G_Restr	Num_R_G_Molas	Num_R_G_Liberac
1	1	0	0

Definicao da Geometria e Propriedades dos Membro

M_In	M_Fin	Inc_M	Comp.	Ar_AX	Ar_Ciz	Inerc_Iy	Mod_E	Mod_G	Coef_D_Term
1	10	1	2.96	1.61	1.61	0.0071	2.5e+007	1.25e+007	1e-005

Resumo da geometria

Num_Membros	Num_Nos	Graus_Lib
10	11	33

Definicao das Restricoes dos Nos

No_Inic	No_Fin	Incr_No	Desl_X	Desl_Z	Rot_Y
		r l	r l	r l	
1	11	10	r	r	l

Numero de carregamentos

0

Determinacao Individual de Linhas de Influencia

Numero de dados referentes a linhas de influencia

Esf_Internos	Reacoes	Deslocam	Esforc_Hip_Prot
0	0	0	0



Determinacao de Envoltorias para Trens_Tipos

Numero de Trens Tipos

1

Designacao do Trem Tipo

envoltOria para ferroviario 4x36ton isto eh 1440 kN

Trem_Tipo Dir_Carr Esf_Vei Comp_Vei Esf_Dist_Vei Esf_D_Min Esf_D_Max Int_Pos
r0|f0|x0 fx|fz|my

O intervalo para posicionamento do trem tipo pode ser pequeno

x0 fz 1440.000 8.000 0.000 0.000 120.000 **0.200**

Trem tipo especial com cargas fornecidas.

O comprimento fornecido e 8.00

Numero de Esforços do Trem Tipo Especial

4

Esforços e Distancias (do Inicio do Trem) Fornecidos

360.00 1.00 360.00 3.00 360.00 5.00

360.00 7.00

Numero de dados referentes a coeficientes de impacto

1

Memb_Inic Memb_Final Incr. Veiculo Carga_veic Carg_dist

1 10 1 1.34 1.34 1.34

Numero de envoltorias a serem calculadas

Numero Calcula_envoltorias_concomitantes(s|n)

1

s

Discriminacao dos tipos de envoltorias

n|v|m| fx|fz|my| dx|dz|ry

m

envoltOria para ferroviario 4x36ton isto eh 1440 kN

Envoltoria de Esforços Internos nos Membros- Valores minimos

Solicitacao de Momento Fletor

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y

ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES

1	0	2766.6	-0.034787*	0	0	0*
2	0	0	0*	0	0	0*
3	0	0	0*	0	0	0*
4	0	0	0*	0	0	0*
5	0	0	0*	0	0	0*
6	0	0	0*	0	0	0*
7	0	0	0*	0	0	0*
8	0	0	0*	0	0	0*
9	0	0	0*	0	0	0*
10	0	0	0*	0	-2766.6	-0.034787*



Envoltória para trem ferroviário 4x36ton isto é 1440 kN

Envoltória de Esforços Internos nos Membros- Valores máximos

Solicitação de Momento Fletor

Membro	Extr_Inicial			Extr_Final		
	Forc_x	Forc_z	Mom_y	Forc_x	Forc_z	Mom_y

ATENCAO AOS VALORES CONCOMITANTES

1	0	0	0*	0	2571.1	7931.9*
2	0	2571.1	7931.9*	0	1577.6	13990*
3	0	1577.6	13990*	0	1358.5	18335*
4	0	1358.5	18335*	0	365.06	20968*
5	0	365.06	20968* (21808 cada 10cm)	0	-299.87	21808*
6	0	-299.87	21808*	0	-365.06	20968*
7	0	-365.06	20968*	0	-1358.5	18335*
8	0	-1358.5	18335*	0	-1577.6	13989*
9	0	-1577.6	13989*	0	-2571.1	7931.9*
10	0	-2571.1	7931.9*	0	0	0*

Resumo dos diversos Trens Tipo

Momento Fletor (kN.m) já com o coeficiente de impacto de $\phi = 1,34$

Trem Tipo	Locomotivas Passando	Vagões Passando
	$\phi \times M$ (kN.m)	$\phi \times M$ (kN.m)
TB 36 ABNT	21808	
		17610
AREA – COOPER 80	22844	
		17610
Tipo CVRD	13479	
		21558



Verificação final da segurança à ruptura na flexão :

Carga permanente total :

Peso de duas Vigas = 2 x 3352,1 kN.m = 6704,2 kN.m

Laje total = 2 x 2437,4 kN.m = 4874,8 kN.m

Lastro total em duas vigas = 4 567 kN.m

Total de carga permanente = 16146 kN.m

Carga móvel (duas vigas)... = $\varphi \times M \text{ total} = 22844 \text{ kN.m}$

$M_d \text{ total} = 1,35 \times 16146 + 1,50 \times (22844) = 21797 + 34266 = 56063 \text{ kN.m}$ (2 duas vigas)

$Z = \text{braço de alavanca} = 3,10\text{m} - 0,35\text{m}$ (C.G cabos) – $0,10\text{m}$ (CG laje) = 2,65m

$$R_c \text{ concreto} = R_t \text{ aço} = \frac{56063 \text{ kN}}{2,65\text{m}} = 21156 \text{ kN}$$

$$\text{Área de concreto necessária : } A_c = \frac{21156 \text{ kN}}{0,85 \times \frac{28000 \text{ kN/m}^2}{1,40}} = 1,24 \text{ m}^2 =$$

$$A_c \text{ existente} = 6,30 \text{ m} \times 0,20\text{m} = 1,26 \text{ m}^2 > 1,24 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

Área de aço de protensão total (2 vigas) :

$$A_s \text{ prot.} = \frac{21156 \text{ kN}}{\left(\frac{150 \text{ kN/cm}^2}{1,15} \right)} = 162 \text{ cm}^2 \text{ nas duas vigas.}$$

A obra foi executada com o aço CP175 - RB , que era o melhor aço disponível.

Hoje em dia seria usado o aço CP190 - RB.

$$\text{Em cada viga temos 8 cabos com 12 cordoalhas cada} = 8 \text{ cabos} \times 12 \text{ cordoalhas} \times \frac{1 \text{ cm}^2}{\text{cordoalha}} =$$

$A_s \text{ prot.} = 96 \text{ cm}^2$ em cada viga

No tabuleiro inteiro existem = $2 \times 96 \text{ cm}^2 = 192 \text{ cm}^2 > 162 \text{ cm}^2$ OK