

2171780

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia Mecânica
Projeto Mecânico

*7.0 (cte)
João Plaza
06/12/82*

PONTE ROLANTE - ESTRUTURA

Autor : Arnaldo Múrasse Junior
Orientador : Prof. João Plaza

1.982



SUMÁRIO

A escolha da área do projeto consistiu na importância que dou ao sistema de elevação e transporte, em especial à Ponte Rolante, uma vez que uma Indústria de porte deve, obrigatoriamente, possuir para que todo o processo de produção se desenvolva.

O enfoque principal deste projeto, foi dado à parte estrutural da ponte (vigas principais, vigas cabeceiras de 4 rodas e vigas cabeceiras de 8 rodas, como alternativa).

Para fins de complementação, a passarela da ponte foi desenhada tendo como referência desenhos de pontes antigas, isto é, a passarela é constituída de vigas. Isso não ocorre nas pontes rolantes modernas onde as passarelas constituem-se apenas de chapa (piso) e dos reforços (nervuras).

Meus agradecimentos ao Professor João Plaza pela orientação, para que esse trabalho se desenvolvesse.



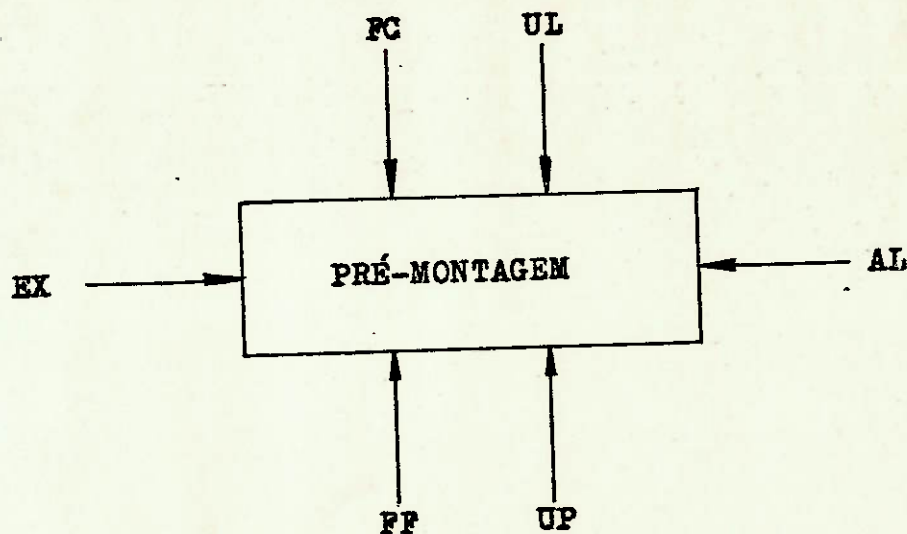
I-INTRODUÇÃO

O setor de pré-montagem de uma indústria de fabricação de máquina de papel necessita de um aparelho de elevação e transporte para movimentação de cargas de pesos e tamanhos diferentes : mancais; cilindros (vários diâmetros e larguras); colunas e outras peças que compõem uma máquina de papel.

Para a escolha adequada do aparelho de elevação e transporte devemos considerar os seguintes aspectos :

1) Organização de produção na empresa

O setor de pré-montagem, como a maior parte da indústria, não possui produções seriadas. Esse setor é abastecido por quase todos outros setores :



FC - Calderaria

FF - Fundição

UL - Usinagem leve

UP - Usinagem pesada

AL - Almoxarifado

EX - Peças compradas prontas para montagem

2) Tipo de carga

Vários são as cargas a serem transportadas :

- mancais (carcaças, tampas, rolamentos) de diversos tamanhos;
- cilindros secadores (camisas, tampas, pontas de eixo);
- colunas;
- conjuntos soldados;
- tubulações;
- chapas;
- perfis;
- etc.

3) Tempo de transporte

O tempo de transporte deverá ser compatível com a produção dos demais setores, uma vez que as peças são procedentes desses mesmos setores.

4) Tipo de movimento (direção e distância do percurso da carga)

Os tipos de movimentos que as peças deverão ter são :

- translação (de um ponto para outro, em toda a área);
- elevação (para transpor obstáculos).

5) Condições do local (dimensões e forma da área)

Forma da área : retangular (plana).

Dimensões aproximadas : 20mx80m.

Após serem analisadas os aspectos anteriormente citados, recaímos num tipo de máquina de elevação e transporte de grande importância e imprescindível numa indústria de porte : a "PONTE ROLANTE". Graças a sua circulação por vias elevadas, deixa livre toda a superfície do setor, de modo que o trabalho e o trânsito no solo podem efetuar-se sem transtornos. Devido ao movimento da ponte rolante, do carro sobre a ponte e de elevação da carga, o campo de atuação da ponte são todos os pontos de um paralelepípedo.

II-DEFINIÇÃO DA PONTE ROLANTE

1) Tipo: ponte rolante para montagem

a) Classe de levantamento : H2 DIN 15018

b) Grupo de carga: B2 DIN 15018

2) Carga máxima : $Q=32$ ton.

3) Vão : $L=17,5$ m

4) Altura de elevação : $H=8,0$ m

5) Velocidade da ponte : $V_p=60$ m/min

6) Coeficiente de impacto : $\psi=1,1$ (Tabela 1)
(junta nos trilhos ou irregularidades no caminho)

7) Velocidade de levantamento : $V_h=45$ m/min

8) Coeficiente de compensação
classe H2. $\psi = 1,2 + 0,0044V_h$ (Tabela 2 ou Figural)
 $\psi = 1,4$

9) Distância entre rodas do carro : $a=2,4$ m

10) Peso do carro : $P_c=8,5$ ton (Figura 2)

11) Peso do conjunto de movimento : $P_{cm}=700$ kg

12) Flecha admissível : $f = \frac{L}{1000}$

III-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

1) Cálculo e determinação da seção

- pesos nas rodas da ponte

$$P = \frac{P_c + Q}{n} = \frac{8,5 + 32}{4} \therefore P = 10,125 \text{ ton}$$

- considerando que se trata de uma ponte rolante acionada eletricamente, a flecha admissível estará em torno de :

$$f = \frac{L}{1000} = \frac{1750}{1000} \therefore f = 1,75 \text{ cm}$$

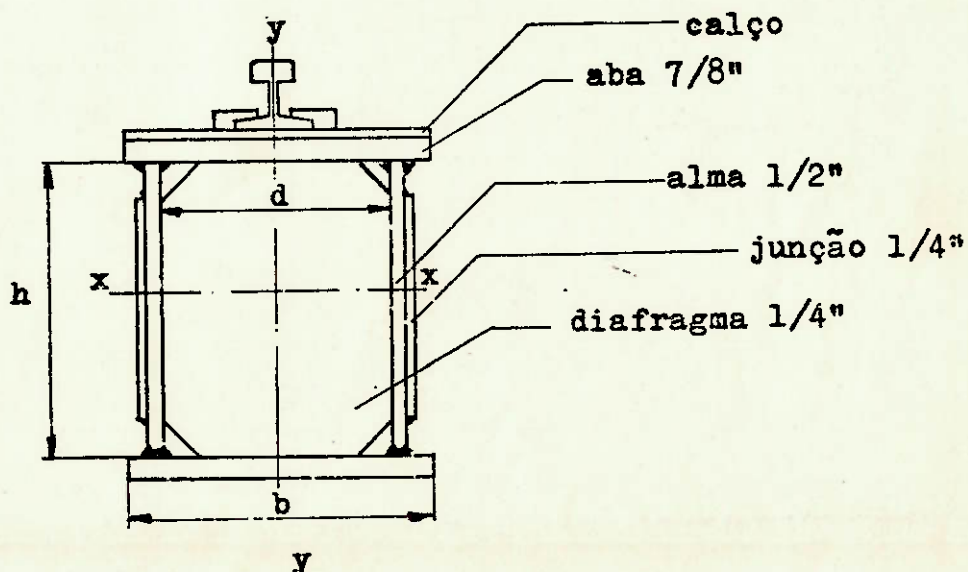
- para uma distribuição de forças iguais nas rodas, a flecha no centro da viga é :

$$f = \frac{P(L - a) [3L^2 - (L - a)^2]}{48EJ_{xx}}$$

- então o momento de inércia mínimo necessário para garantir a flecha admissível é :

$$J_{xx} = \frac{P(L - a) [3L^2 - (L - a)^2]}{48Ef} =$$
$$= \frac{10125(1750 - 240) [3 \times 1750^2 - (1750 - 240)^2]}{48 \times 2.100.000 \times 1,75} \therefore J_{xx} = 598.671 \text{ cm}^4$$

Adotaremos a seguinte seção com os seguintes dados :



$$J_{xx} = 871.500 \text{ cm}^4$$

$$h = 1.100 \text{ mm}$$

$$J_{yy} = 121.260 \text{ cm}^4$$

$$d = 370 \text{ mm}$$

$$W_{xx} = 15.200 \text{ cm}^3$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$W_{yy} = 5.400 \text{ cm}^3$$

$$G = 350 \text{ kg/m}$$

$$\frac{J_{xx}}{S_{xx}} = 103,1 \text{ cm}$$

$$F = 196,6 \text{ cm}^2$$

$$i_y = 16,5 \text{ cm}$$

2) Cálculo dos esforços solicitantes

2.1 Plano vertical

a) Momento fletor devido a carga móvel

$$M_p = \frac{P(L-a/2)^2}{2L} = \frac{10125(1750-240/2)^2}{2 \times 1750} \therefore M_p = 7.686.032 \text{ kg.cm}$$

b) Momento fletor devido ao peso do conjunto de movimento :

$$M_{Pcm} = \frac{P_{cm} L}{4} = \frac{700 \times 1750}{4} \therefore M_{Pcm} = 306.250 \text{ kg.cm}$$

c) Momento fletor devido ao peso próprio

q_i kg/m

1 350 chaparia

2 35 trilho TR32 + 10% de pertences

3 5,7 calços para trilho a cada 0,6m

4 17 diafragma inteiro (1/4" x 370 x 1.100) cada 1,2m

5 8,5 meio diafragma a cada 1,2m

6 100 plataforma de serviço (3/16")

7 36 eixo de transmissão (3")

$$\Sigma q_i = 552,2$$

$$M_{Pl} = \frac{\Sigma q_i L^2}{8} = \frac{5,522 \times 1750^2}{8} \therefore M_{Pl} = 2.113.891 \text{ kg.cm}$$

2.2 Plano horizontal

a) Momento fletor devido à carga móvel

$$M'_P = \frac{M_P}{14} = \frac{7.686.032}{14} \therefore M'_P = 549.002 \text{ kg.cm}$$

b) Momento fletor devido ao peso do conjunto de movimento :

$$M'_{Pcm} = \frac{M_{Pcm}}{14} = \frac{306.250}{14} \therefore M'_{Pcm} = 21.875 \text{ kg.cm}$$

c) Momento fletor devido ao peso próprio

$$M'_{Pl} = \frac{M_{Pl}}{14} = \frac{2.113.891}{14} \therefore M'_{Pl} = 150.992 \text{ kg.cm}$$

3) Cálculo das tensões

3.1 Plano vertical

-devemos ter : $\sigma_v < 1.400 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}_v$ (admissível)

$$\sigma_v = \frac{\psi M_P + \varphi (M_{Pl} + M_{Pcm})}{W_{xx}} =$$

$$= \frac{1,4 \times 7.686.032 + 1,1 (2.113.891 + 306.250)}{15.200}$$

$$\therefore \sigma_v = 883,1 \text{ kg/cm}^2 < 1.400 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}_v$$

3.2 Plano horizontal

$$\sigma_h = \frac{M'_P + M'_{Pl} + M'_{Pcm}}{W_{yy}} = \frac{549.002 + 150.992 + 21.875}{5.400} \therefore$$

$$\sigma_h = 133,7 \text{ kg/cm}^2$$

3.3 Tensão total (σ_t)

-devemos ter $\sigma_t < 1.600 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}_t$ (admissível)

$$\sigma_t = \sigma_v + \sigma_h = 883,1 + 133,7$$

$$\therefore \sigma_t = 1.016,8 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}_t$$

4) Flambagem da aba superior

4.1 Cálculo da força axial :

$$F_c = \frac{M_{med}}{J_{xx}/S_{xx}}$$

$$M_{med} = \frac{1}{2} \psi M_F + \frac{2}{3} \psi M_{Pl} + \frac{1}{2} \psi M_{Pcm} =$$

$$= \frac{1 \times 1,4 \times 7.686.032}{2} + \frac{2 \times 1,1 \times 2.113.891}{3} + \frac{1 \times 1,1 \times 306.250}{2}$$

$$\therefore M_{med} = 7.098.847 \text{ kg.cm}$$

$$F_c = \frac{7.098.847}{103,1} \therefore F_c = 68.854 \text{ kg}$$

4.2 Tensão de flambagem :

-devemos ter $\sigma_k < 1.600 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}_k$ (admissível) (Tabela 3)

$$\sigma_k = \frac{F_c w}{F}$$

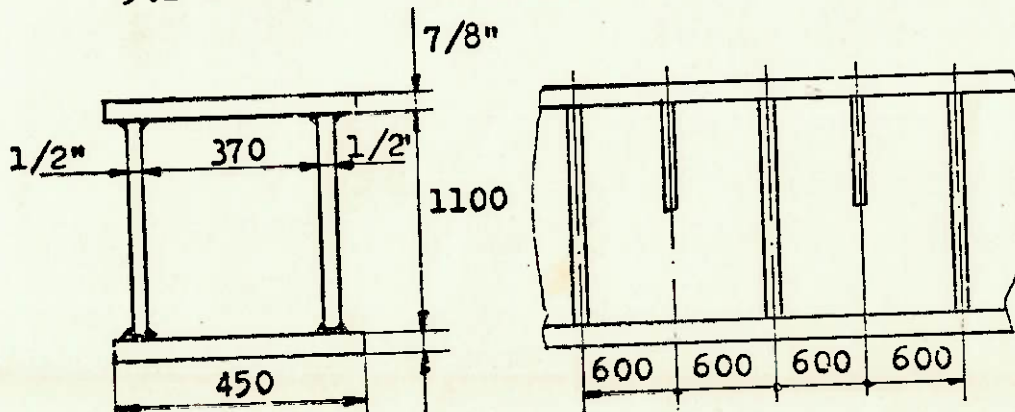
$$\lambda = \frac{L}{i_y} = \frac{1.750}{16,5} \therefore \lambda = 106, \text{ através da Tabela 4}$$

obtemos $w = 2,02$

$$\sigma_k = \frac{68.854 \times 2,02}{196,6} \therefore \sigma_k = 707,5 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}_k$$

5) Flambagem das almas

5.1 Esforços solicitantes no centro da viga



a) Força cortante

-peso próprio

$$Q_x = \sum q_i (L/2 - x) \quad \therefore \text{para } x=L/2 \Rightarrow Q_x=0$$

-peso do conjunto de movimento

$$Q_{pl} = P_{cm} = 700\text{kg}$$

$$Q'_{pl} = \psi Q_{pl} = 1,1 \times 700 \quad \therefore \quad Q'_{pl} = 770\text{kg}$$

-carga móvel

$$Q_p = P_c + Q'_{pl} = 8.500 + 770 \quad \therefore \quad Q_p = 9.270\text{kg}$$

$$Q'_p = \psi Q_p = 1,4 \times 9.270 \quad \therefore \quad Q'_p = 12.978\text{kg}$$

-força cortante total

$$Q_c = Q_x + Q'_{pl} + Q'_p = 0 + 770 + 12.978 \quad \therefore \quad Q_c = 13.748\text{kg}$$

b) Momento fletor

-plano vertical

$$\begin{aligned} M_v &= \psi M_p + \psi (M_{pl} + M_{Pcm}) = \\ &= 1,4 \times 7.686.032 + 1,1 (2.113.891 + 306.250) \quad \therefore \\ M_v &= 13.422.600\text{kg.cm} \end{aligned}$$

-plano horizontal

$$\begin{aligned} M_h &= M'_p + M'_{pl} + M'_{Pcm} = 549.002 + 150.992 + 21.875 \\ M_h &= 721.869\text{kg.cm} \end{aligned}$$

5.2 Esforços resistentes no centro da viga

a) Tensão de cisalhamento devido a força cortante

$$\tau_q = \frac{Q_c}{2hs'} = \frac{13.748}{2 \times 110 \times 1,27} \quad \therefore \quad \tau_q = 49,2\text{kg/cm}^2$$

b) Tensão de cisalhamento total

$$\tau = 1,25 \tau_q \quad (25\% \text{ de acréscimo, levando em consideração a torção quando se freia o carro})$$

$$\tau = 1,25 \times 49,2 \quad \therefore \quad \tau = 61,5\text{kg/cm}^2$$

c) Tensão normal total

$$\sigma_t = 1.016,8\text{kg/cm}^2 \quad (\text{conf. item III-3.3})$$

5.3 Segurança contra flambagem das almas (centro da viga)

a) Tensão de referência de EULER

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{s}{h} \right)^2 = \frac{\pi^2 2,1 \times 10^6}{12(1 - 0,3^2)} \left(\frac{1,27}{110} \right)^2 \dots$$

$$\sigma_e = 253 \text{ kg/cm}^2$$

b) Tensão crítica de flambagem

- flexão

$$\sigma_{cr} = K_\sigma \sigma_e \quad K_\sigma = \text{coeficiente de flambagem de flexão}$$

$$\psi_1 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = - \frac{\sigma_1}{\sigma_1} = -1$$

para $\alpha = \frac{1}{h} = \frac{1 \cdot 200}{1 \cdot 100} \dots \alpha = 1,09 > 2/3 \quad K_\sigma = 23,9$

$$\sigma_{cr} = 23,9 \times 253 \dots \sigma_{cr} = 6046,7 \text{ kg/cm}^2$$

- cisalhamento

$$\tau_{cr} = K_\tau \sigma_e \quad K_\tau = \text{coeficiente de flambagem de cisalhamento}$$

para $\alpha \geq 1 \quad K_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2} = 5,34 + \frac{4}{1,09^2} \dots$

$$K_\tau = 8,71$$

$$\tau_{cr} = 8,71 \times 253 \dots \tau_{cr} = 2202,8 \text{ kg/cm}^2$$

c) Tensão crítica de comparação

$$\sigma'_{cr.c} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}}{\frac{1 + \psi_1}{4} \frac{\sigma_1}{\sigma_{cr}} + \sqrt{\left(\frac{3 - \psi_1}{4} \frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2}}$$

para $\psi_1 = -1$

$$\sigma'_{cr.c} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}}{\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2}} = \frac{\sqrt{1086,7^2 + 3 \times 70^2}}{\sqrt{\left(\frac{1086,7}{6047,7} \right)^2 + \left(\frac{70}{2.202,8} \right)^2}}$$

$$\sigma_{cr.c} = 5.992,2 \text{ kg/cm}^2 > 1.900 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{aço RSt 37.2})$$

-estando no campo plástico, então toma-se

$$\sigma_{cr.c} = 2.400 - \frac{953.400}{\sigma_{cr.c}} = 2.400 - \frac{953.400}{5.992,2} \quad \therefore$$

$$\sigma_{cr.c} = 2.241 \text{ kg/cm}^2$$

d) Coeficiente de segurança

$$c = \frac{\sigma_{cr.c}}{\sqrt{\sigma_t^2 + 3\tau^2}} = \frac{2.241}{\sqrt{1.086,7^2 + 3 \times 70^2}} \quad \therefore \quad c = 2,05$$

-de acordo com a Tabela 5, devemos ter $c > 1,4$ (caso I - aparelho em serviço sem vento) ; sendo o coeficiente $c = 2,05 > 1,4$ então não flambará.

IV-DIMENSIONAMENTO DA CABECEIRA COM QUATRO RODAS

1) Dados

-tipo : caixa fechada

-distância entre rodas (b) : $b_{\min} = \frac{L}{7} = \frac{1.750}{7} = 250\text{cm}$

adotaremos $b=400\text{cm}$

2) Carga máxima por roda

-peso da ponte (P_p)

$$P_p = 2 \sum q_i L + P_{cm} = 2(552,2 \times 17,5) + 700 \therefore P_p = 20.027\text{kg}$$

-peso do carro (P_c)

$$P_c = 8.500\text{kg}$$

-carga útil (Q)

$$Q = 32.000\text{kg}$$

-vão (L)

$$L = 1.750\text{cm}$$

-aproximação máxima do gancho (e)

$$e = \frac{a}{2} = \frac{240}{2} \therefore e = 120\text{cm}$$

-número de rodas (n)

$$n = 4$$

-carga máxima ($P_{\max}$)

$$P_{\max} = \frac{P_p}{n} + \frac{P_c + Q}{n/2} \cdot \frac{L-e}{L} = \frac{20.027}{4} + \frac{8.500 + 32.000}{2} \times \frac{1.750 - 120}{1.750} \therefore$$

$$P_{\max} = 23.868\text{kg}$$

-carga vertical (P_v)

$$P_v = \psi P_{\max} = 1,4 \times 23.868 \therefore P_v = 33.415\text{kg}$$

-carga horizontal (P_h)

$$P_h = P_{\max} / 10 = \frac{23.868}{10} \therefore P_h = 2.387\text{kg}$$

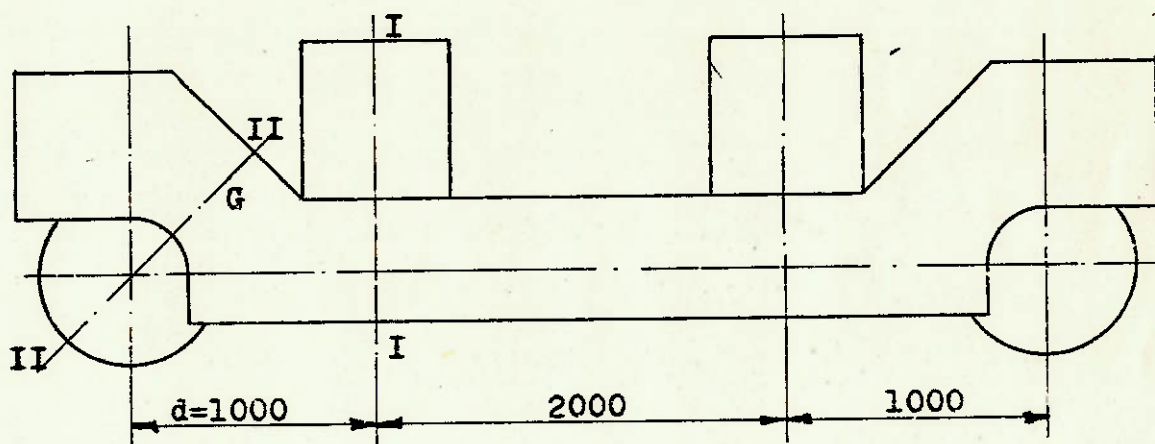
3) Cálculo do diâmetro (D) da roda

$$D = \frac{P_{\max}}{(b-2r)k}$$

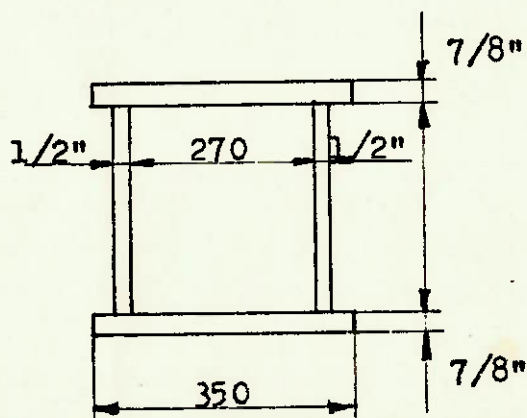
- trilho TR45 : $(b-2r)=4,6\text{cm}$ (Tabela 6)
 - material da roda: aço forjado (60kg) temperado
 - $k=80\text{kg/cm}^2$ (Tabela 7)

$$D = \frac{23.868}{4,6 \times 80} = 64,86 \quad \therefore D = 710\text{mm}$$

4) Cálculo das seções da cabeceira



4.1 Cálculo da seção I-I



$$W_{xx} = 3.620\text{cm}^3$$

$$W_{yy} = 1.900\text{cm}^3$$

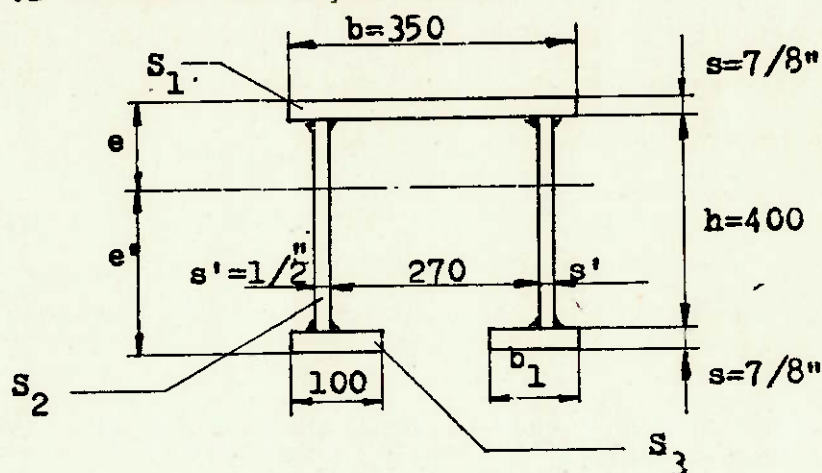
$$M_v = P_v d = 33.415 \times 100 \quad \therefore M_v = 3.341.500 \text{ kg.cm}$$

$$M_h = P_h d = 2.387 \times 100 \quad \therefore M_h = 238.700 \text{ kg.cm}$$

$$\sigma_{\text{tot}} = \frac{M_v}{W_{xx}} + \frac{M_h}{W_{yy}} \leq 1.600 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}_{\text{adm}}$$

$$\sigma_{\text{tot}} = \frac{3.341.500}{3.520} + \frac{238.700}{1.900} \quad \therefore \sigma_{\text{tot}} = 1.048,7 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2$$

4.2 Cálculo da seção II-II



$$S_1 = b s = 35 \times 2,22 \quad \therefore S_1 = 77,8 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = h s' = 40 \times 1,27 \quad \therefore S_2 = 50,8 \text{ cm}^2$$

$$S_3 = b_1 s = 10 \times 2,22 \quad \therefore S_3 = 22,2 \text{ cm}^2$$

$$S = S_1 + 2(S_2 + S_3) = 77,8 + 2(50,8 + 22,2) \quad \therefore S = 223,8 \text{ cm}^2$$

$$W_1 = S_1 \frac{s}{2} = 77,8 \times 1,11 \quad \therefore W_1 = 86,455 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = S_2 \left(\frac{h}{2} + s \right) = 50,8 (20 + 2,22) \quad \therefore W_2 = 1.128,903 \text{ cm}^3$$

$$W_3 = S_3 \left(\frac{s}{2} + h + s \right) = 22,2 (1,11 + 40 + 2,22) \quad \therefore W_3 = 961,926 \text{ cm}^3$$

$$W = W_1 + 2(W_2 + W_3) = 86,455 + 2(1.128,903 + 961,926) \quad \therefore$$

$$W = 4.268,113 \text{ cm}^3$$

$$e = \frac{W}{S} = \frac{4.268,113}{223,8} \therefore e = 19,07 \text{ cm} \quad e' = 25,37 \text{ cm}$$

$$J_1 = \frac{bs^3}{12} + S_1 \left(e - \frac{s}{2} \right)^2 = \frac{35 \times 2,22^3}{12} + 77,8(19,07 - 1,11)^2 \therefore$$

$$J_1 = 25.127,2 \text{ cm}^4$$

$$J_2 = \frac{s'h^3}{12} + S_2 \left(\frac{h}{2} + s - e \right)^2 = \frac{1,27 \times 40^3}{12} + 50,8(20 + 2,22 - 19,07)^2$$

$$J_2 = 7.277,4 \text{ cm}^4$$

$$J_3 = \frac{b_1 s^3}{12} + S_3 \left(e' - \frac{s}{2} \right)^2 = \frac{10 \times 2,22^3}{12} + 22,2(25,37 - 1,11)^2 \therefore$$

$$J_3 = 13.074,9 \text{ cm}^4$$

$$J_{xx} = J_1 + 2(J_2 + J_3) = 25.127,2 + 2(7.277,4 + 13.074,9) \therefore$$

$$J_{xx} = 65.832 \text{ cm}^4$$

$$W_{xx\max} = \frac{J_{xx}}{e} = \frac{65.832}{19,07} \therefore W_{xx\max} = 3.452 \text{ cm}^3$$

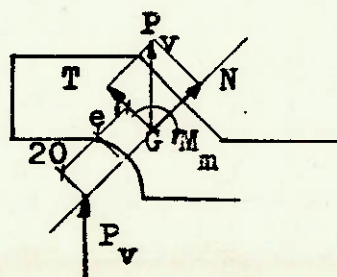
$$W_{xx\min} = \frac{J_{xx}}{e'} = \frac{65.832}{25,37} \therefore W_{xx\min} = 2.595 \text{ cm}^3$$

$$m = (20 + e') \cos 45^\circ = (20 + 25,37) \sqrt{2}/2 \therefore m = 32,1 \text{ cm}$$

$$M_m = m P_v = 32,1 \times 33.415 \therefore M_m = 1.072.622 \text{ kg.cm}$$

$$\sigma_+ = \frac{M_m}{W_{xx\min}} = \frac{1.072.622}{2.595} \therefore \sigma_+ = 413,34 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_- = \frac{M_m}{W_{xx\max}} = \frac{1.072.622}{3.452} \therefore \sigma_- = 310,72 \text{ kg/cm}^2$$



$$T=N=P_v \cos 45^\circ = 33.415\sqrt{2}/2 \quad \therefore T=N= 23.628\text{kg}$$

$$\sigma_{+axial} = \frac{T}{S} = \frac{23.628}{223,8} \quad \therefore \sigma_{+axial} = 105,58\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma'_+ = \sigma_+ + \sigma_{+axial} = 413,34 + 105,58 \quad \therefore \sigma'_+ = 519\text{kg/cm}^2$$

-cisalhamento

$$M'_1 = S_1(e - \frac{s}{2}) = 77,8(19,07 - 1,11) \quad \therefore M'_1 = 1.397,3\text{cm}^3$$

$$M'_2 = S'_2(\frac{e-s}{2}) = (e-s)s'(\frac{e-s}{2}) = \\ = (19,07 - 2,22)1,27(\frac{19,07 - 2,22}{2}) \quad \therefore M'_2 = 180,3\text{cm}^3$$

$$M' = M'_1 + 2M'_2 = 1.397,3 + 2 \times 180,3 \quad \therefore M' = 1.758\text{cm}^3$$

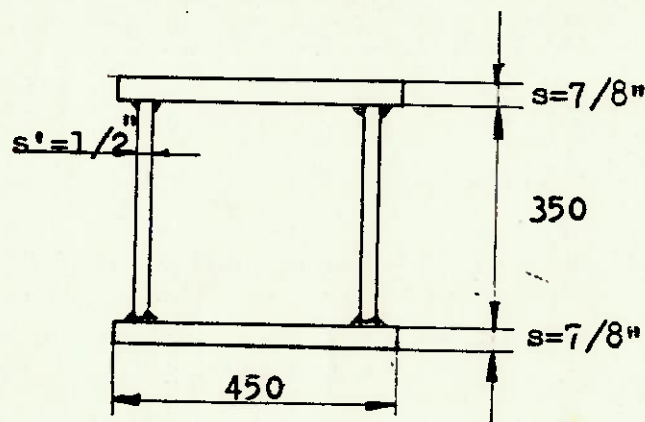
$$\tau_{\max} = \frac{NM'}{2s'J_{xx}} = \frac{23.628 \times 1.758}{2 \times 1,27 \times 65.832} \quad \therefore \tau_{\max} = 248\text{kg/cm}^2$$

4.3 Cálculo de σ_i

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma'^2_+ + 4\tau^2} \leq 800\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_i = \sqrt{519^2 + 4 \times 248^2} \quad \therefore \sigma_i = 718\text{kg/cm}^2 \leq 800\text{kg/cm}^2$$

4.4 Cálculo do cisalhamento da seção de encaixe da viga principal com a viga da cabeceira



$$S_1 = 45 \times 2,22 \quad \therefore \quad S_1 = 99,90 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = 35 \times 1,27 \quad \therefore \quad S_2 = 44,45 \text{ cm}^2$$

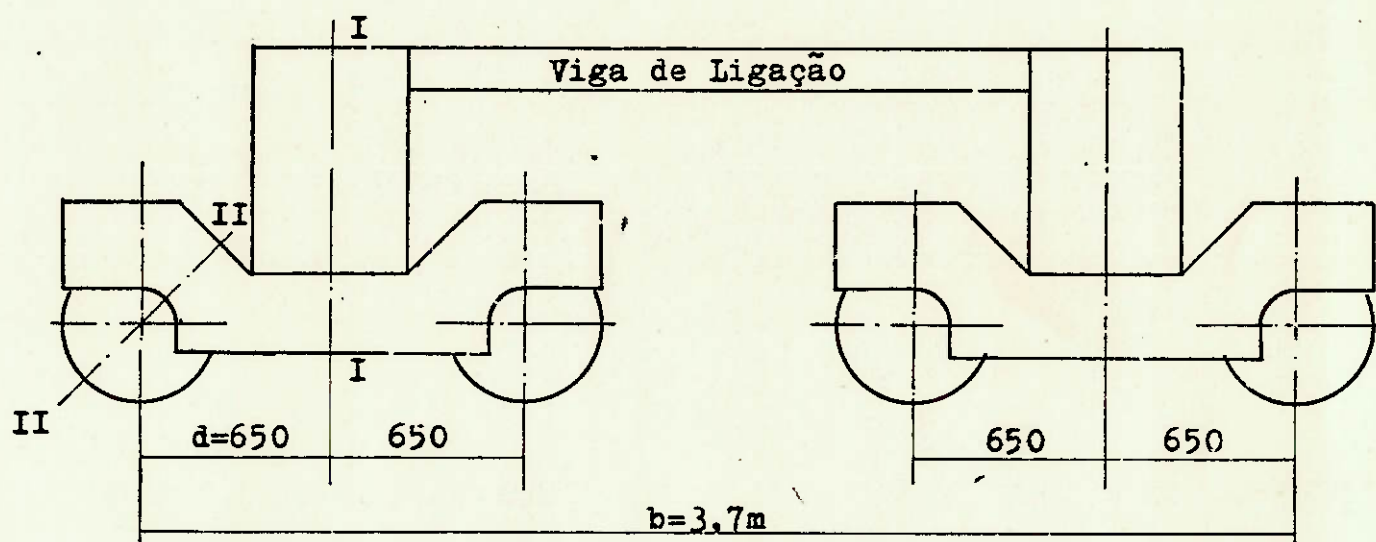
$$S = 2(S_1 + S_2) = 2(99,9 + 44,45) \quad \therefore \quad S = 288,7 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{F_v}{S} = \frac{33.415}{288,7} \quad \therefore \quad \tau = 116 \text{ kg/cm}^2$$

-por flexão

$$\tau = \frac{P_v}{\frac{2s'J_{xx}}{S_{xx}}} = \frac{33.415}{2 \times 1,27 \times 39,7} \quad \therefore \quad \tau = 331,4 \text{ kg/cm}^2$$

V-DIMENSIONAMENTO DA CABECEIRA COM OITO RODAS (ALTERNATIVA)



1) Dados

-tipo : caixa fechada

-distância entre rodas : $b= 3,7m$; $b_1= 1,3m$

2) Carga máxima por roda

$$P_{\max} = \frac{P}{n} + \frac{P_c + Q}{n/2} \cdot \frac{L - e}{L} \quad n=8 \text{ rodas}$$

$$P_{\max} = \frac{20.027}{8} + \frac{8.500 + 32.000}{4} \cdot \frac{1.750 - 120}{1.750} \quad \therefore$$

$$P_{\max}' = 11.934kg$$

-carga vertical

$$P_v = \psi P_{\max}' = 1,4 \times 11.934 \quad \therefore P_v = 16.708kg$$

-carga horizontal

$$P_h = \frac{P_{\max}}{10} = \frac{11.934}{10} \quad \therefore \quad P_h = 1.193 \text{ kg}$$

3) Cálculo do diâmetro da roda

$$D = \frac{P_{\max}}{k(b-2r)}$$

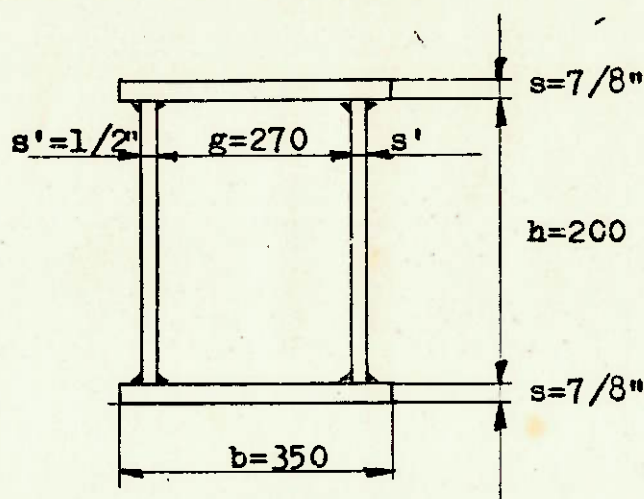
-para trilho TR32 $(b-2r)=4,5 \text{ cm}$
(Tabela 6) ;

-material da roda : aço forjado (60kg)
temperado ;

- $k= 80 \text{ kg/cm}^2$ (Tabela 7)

$$D = \frac{11.934}{80 \times 4,5} = 33,15 \quad \therefore \quad D = 400 \text{ mm}$$

4) Cálculo das seções da cabeceira



$$S_1 = bs = 35 \times 2,22 \quad \therefore \quad S_1 = 77,7 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = hs' = 20 \times 1,27 \quad \therefore \quad S_2 = 25,4 \text{ cm}^2$$

$$S = 2(S_1 + S_2) = 2(77,7 + 25,4) \quad \therefore \quad S = 206,2 \text{ cm}^2$$

-momento de inércia

$$J_1 = \frac{bs^3}{12} + S_1 \left(\frac{h}{2} + \frac{s}{2} \right)^2 = \frac{35 \times 2,22^3}{12} + 77,7 (10 + 1,11)^2 \quad \therefore$$

$$J_1 = 9.622,6 \text{ cm}^4$$

$$J_2 = \frac{s'h^3}{12} = \frac{1,27 \times 20^3}{12} \quad \therefore \quad J_2 = 846,7 \text{ cm}^4$$

$$J_{xx} = 2(J_1 + J_2) = (9.622,6 + 846,7) \cdot 2 \quad \therefore \quad J_{xx} = 20.938,6 \text{ cm}^4$$

$$e = \frac{2s + h}{2} = \frac{2 \times 2,22 + 20}{2} \quad \therefore \quad e = 12,22 \text{ cm}$$

$$W_{xx} = \frac{J_{xx}}{e} = \frac{20.938,6}{12,22} \quad \therefore \quad W_{xx} = 1.714 \text{ cm}^3$$

$$J'_1 = \frac{sb^3}{12} = \frac{2,22 \times 35^3}{12} \quad \therefore \quad J'_1 = 7.931,9 \text{ cm}^4$$

$$J'_2 = \frac{hs'^3}{12} + S_2 \left(\frac{g + s'}{2} \right)^2 = \frac{20 \times 1,27^3}{12} + 25,4(13,5 + 0,635)^2$$

$$J'_2 = 5.078,3 \text{ cm}^4$$

$$J_{yy} = 2(J'_1 + J'_2) = 2(7.931,9 + 5.078,3) \quad \therefore$$

$$J_{yy} = 26.020,4 \text{ cm}^4$$

$$W_{yy1} = \frac{2J'_1}{e_{y1}} = \frac{2 \times 7.931,9}{17,5} \quad \therefore \quad W_{yy1} = 906,5 \text{ cm}^3$$

$$W_{yy2} = \frac{2J'_2}{e_{y2}} = \frac{2 \times 5.078,3}{14,77} \quad \therefore \quad W_{yy2} = 687,7 \text{ cm}^3$$

$$W_{yy} = W_{yy1} + W_{yy2} = 906,5 + 687,7 \quad \therefore \quad W_{yy} = 1.594 \text{ cm}^3$$

4.1 Cálculo das tensões da seção I-I

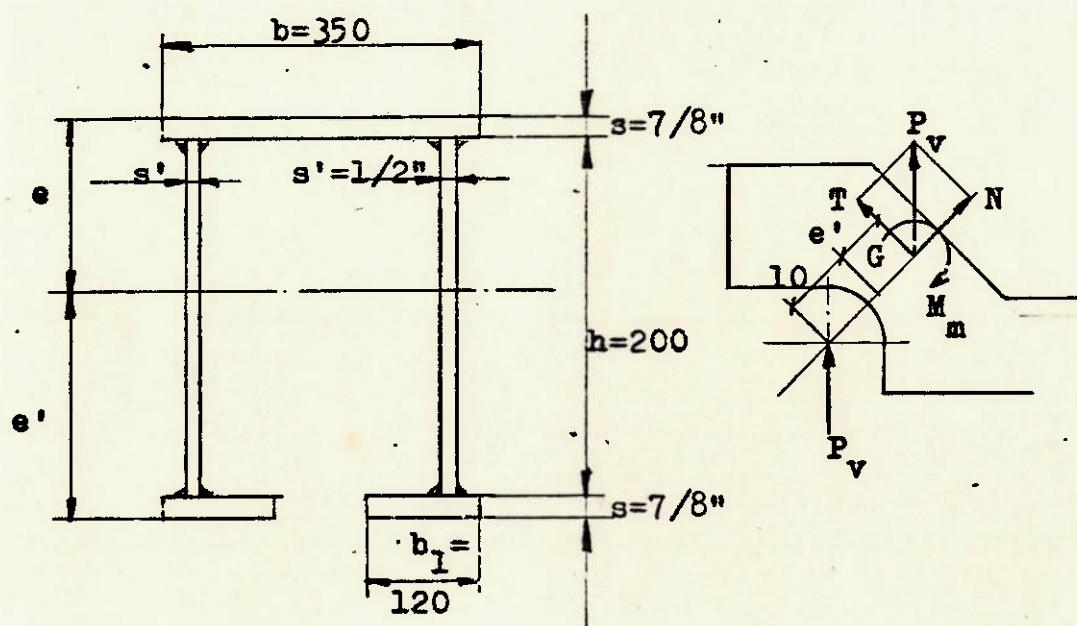
$$M_v = P_v d = 16.708 \times 65 \quad \therefore \quad M_v = 1.086.020 \text{ kg.cm}$$

$$M_h = P_h d = 1.193 \times 64 \quad \therefore \quad M_h = 77.545 \text{ kg.cm}$$

$$\sigma_{\text{total}} = \frac{M_v}{W_{xx}} + \frac{M_h}{W_{yy}} = \frac{1.086.020}{1.714} + \frac{77.545}{1.594} \quad \therefore$$

$$\sigma_{\text{total}} = 682,3 \text{ kg/cm}^2 < 1.200 \text{ kg/cm}^2$$

4.2 Cálculo da seção II-II



$$S_1 = bs = 35 \times 2,22 \quad \therefore S_1 = 77,7 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = hs' = 20 \times 1,27 \quad \therefore S_2 = 25,4 \text{ cm}^2$$

$$S_3 = b_1 s = 12 \times 2,22 \quad \therefore S_3 = 26,64 \text{ cm}^2$$

$$S = S_1 + 2(S_2 + S_3) = 77,7 + 2(25,4 + 26,64) \quad \therefore$$

$$S = 181,78 \text{ cm}^2$$

$$M_1 = S_1 \frac{s}{2} = 77,8 \times 1,11 \quad \therefore M_1 = 86,25 \text{ cm}^3$$

$$M_2 = S_2 \left(\frac{h}{2} + s \right) = 25,4(10 + 2,22) \quad \therefore M_2 = 310,39 \text{ cm}^3$$

$$M_3 = S_3 \left(h + s + \frac{s}{2} \right) = 26,64(20 + 2,22 + 1,11) \quad \therefore$$

$$M_3 = 621,51 \text{ cm}^3$$

$$M = M_1 + 2(M_2 + M_3) = 86,25 + 2(310,39 + 621,51) \quad \therefore$$

$$M = 1950 \text{ cm}^3$$

$$e = \frac{M}{S} = \frac{1.950}{181,78} \quad \therefore e = 10,73 \text{ cm} \quad e' = 13,72 \text{ cm}$$

-momento de inércia

$$J_1 = \frac{bs^3}{12} + S_1(e - \frac{s}{2})^2 = \frac{35 \times 2,22^3}{12} + 77,7(10,73 - 1,11)^2$$

$$J_1 = 7.222,61 \text{ cm}^4$$

$$J_2 = \frac{s'h^3}{12} + S_2(\frac{h}{2} + s - e)^2 =$$

$$= \frac{1,27 \times 20^3}{12} + 25,4(10 + 2,22 - 10,73)^2 \therefore J_2 = 903,06 \text{ cm}^4$$

$$J_3 = \frac{b_1 s^3}{12} + S_3(e' - \frac{s}{2})^2 = \frac{12 \times 2,22^3}{12} + 26,64(13,72 - 1,11)^2 \therefore$$

$$J_3 = 4.247,02 \text{ cm}^4$$

$$J_{xx} = J_1 + 2(J_2 + J_3) = 7.222,61 + 2(903,06 + 4.247,02) \therefore$$

$$J_{xx} = 17.522,8 \text{ cm}^4$$

$$W_{xx\max} = \frac{J_{xx}}{e} = \frac{17.522,8}{10,73} \therefore W_{xx\max} = 1.633 \text{ cm}^3$$

$$W_{xx\min} = \frac{J_{xx}}{e'} = \frac{17.522,8}{13,72} \therefore W_{xx\min} = 1.277 \text{ cm}^3$$

$$m = (10 + e') \cos 45^\circ = (10 + 13,72) \frac{\sqrt{2}}{2} \therefore m = 16,77 \text{ cm}$$

$$M_m = P_v m = 16.708 \times 16,77 \therefore M_m = 280.193,16 \text{ kg.cm}$$

$$\sigma_+ = \frac{M_m}{W_{xx\min}} = \frac{280.193,16}{1.277} \therefore \sigma_+ = 219,42 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_- = \frac{M_m}{W_{xx\max}} = \frac{280.193,16}{1.633} \therefore \sigma_- = 171,58 \text{ kg/cm}^2$$

$$T = N = P_v \cos 45^\circ = 16.708 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \therefore T = N = 11.814 \text{ kg}$$

$$\sigma_{+axial} = \frac{T}{S} = \frac{11.814}{181,78} \therefore \sigma_{+axial} = 65 \text{ kg/cm}^2$$

-cisalhamento

$$M_1' = S_1(e - \frac{s}{2}) = 77,7(10,73 - 1,11) \therefore M_1' = 747,5 \text{ cm}^3$$

$$M_2' = (e - s)s'(\frac{e - s}{2}) = (10,73 - 2,22)1,27(\frac{10,73 - 2,22}{2})$$

$$M'_2 = 46 \text{ cm}^3$$

$$M' = M'_1 + 2M'_2 = 747,5 + 2 \times 46 \quad \therefore \quad M' = 839,5 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{NM'}{2s'J_{xx}} = \frac{11.814 \times 839,5}{2 \times 1,27 \times 17.522,8} \quad \therefore \quad \tau_{\text{máx}} = 222,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_t = \sigma_+ + \sigma_{\text{axial}} = 219,42 + 65$$

$$\sigma'_t = 285 \text{ kg/cm}^2$$

-cálculo de σ_i

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_t'^2 + 4 \tau_{\text{máx}}^2} \leq 800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_i = \sqrt{285^2 + 4 \times 222,8^2} \quad \therefore \quad \sigma_i = 529 \text{ kg/cm}^2 < 800 \text{ kg/cm}^2$$

5) Cálculo da viga de ligação das cabeceiras

- G_c = peso da ponte, excluída a carga;

- n = número de rodas da ponte ;

- $n_f = \frac{n}{2}$ = número de rodas freadas

- F_f = força de frenagem

$$G_c = P_p + \text{cabeceiras} = 20.027 + 4 \times 552,2 \times 1,3$$

$$G_c = 22.900 \text{ kg} \quad (\text{supondo o peso por metro da ponte o mesmo para a cabeceira})$$

$$F_f = \frac{G_c}{14} = \frac{22.900}{14} \quad \therefore \quad F_f = 1.635,7 \text{ kg}$$

-tomando uma viga com 300mm x 1/2" de aba e 100mm x 1/4" de alma, a área da seção será :

$$S_1 = 30 \times 1,27 \quad \therefore \quad S_1 = 38,1 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = 10 \times 0,635 \quad \therefore \quad S_2 = 6,35 \text{ cm}^2$$

$$S = 2(S_1 + S_2) = 2(38,1 + 6,35) \quad \therefore \quad S = 88,9 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_- = \frac{F_f}{S} = \frac{1.635,7}{88,9} \therefore \sigma_- = 18,4 \text{ kg/cm}^2$$

TABELA 1 - Coeficiente de impacto ψ

Travelling speed v_F in m/min		Dead load factor φ
Runways		
with rail joints or irregularities (road)	without rail joints or with welded and machined rail joints	
up to 60	up to 90	1.1
over 60 up to 200	over 90 up to 300	1.2
over 200	—	≥ 1.2

TABELA 2 - Coeficiente de compensação ψ

Hoisting class	Hoist load factors ψ at hoisting speed v_H in m/min	
	up to 90	over 90
H1	$1.1 + 0.0022 \cdot v_H$	1.3
H2	$1.2 + 0.0044 \cdot v_H$	1.6
H3	$1.3 + 0.0066 \cdot v_H$	1.9
H4	$1.4 + 0.0088 \cdot v_H$	2.2

TABELA 3 - Valores de tensão de limite elástico e σ_k (σ_a) para aços de 37,42 e 52 kgf/mm²

Limite de ruptura: σ_R	Limite elástico: σ_R	Tensões admissíveis: σ_a		
		Caso I	Caso II	Caso III
kgf/mm ² ou da N/mm ²	kgf/mm ² ou da N/mm ²	kgf/mm ² ou da N/mm ²	kgf/mm ² ou da N/mm ²	kgf/mm ² ou da N/mm ²
37	24	16	18	21,5
42	26	17,5	19,5	24
52	36	24	27	32,5

TABELA 4 - Valor do coeficiente w em função da esbeltez λ para laminados em aço de 37kgf/mm²

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
120	2,43	2,47	2,51	2,55	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81
130	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,17	3,22	3,26
140	3,31	3,36	3,41	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75
150	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,16	4,22	4,27
160	4,32	4,38	4,43	4,49	4,54	4,60	4,65	4,71	4,77	4,82
170	4,88	4,94	5,00	5,05	5,11	5,17	5,23	5,29	5,35	5,41
180	5,47	5,53	5,59	5,66	5,72	5,78	5,84	5,91	5,97	6,03
190	6,10	6,16	6,23	6,29	6,36	6,42	6,49	6,55	6,62	6,69
200	6,75	6,82	6,89	6,96	7,03	7,10	7,17	7,24	7,31	7,38
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,73	7,81	7,88	7,95	8,03	8,10
220	8,17	8,25	8,32	8,40	8,47	8,55	8,63	8,70	8,78	8,86
230	8,93	9,01	9,09	9,17	9,25	9,33	9,41	9,49	9,57	9,65
240	9,74	9,81	9,89	9,97	10,05	10,14	10,22	10,30	10,39	10,47
250	10,55									

TABELA 5 - Coeficiente de segurança a flambagem.

	Caso I	Caso II	Caso III
«flambagem localizada» de elementos planos $\varphi_y =$	1,4	1,25	1,12
«flambagem localizada» de elementos curvos $\varphi_x =$	1,7	1,55	1,4

TABELA 6 - Trilhos

TRILHOS FABRICADOS PELA CSN

Trilho	Trilho	TR-37	TR-50	TR-65	TR-87	TR-92	TR-95	TR-92
	Tipos simétricos e assimétricos	ARE A 11525	ARE A 12025	ARE A 9020	ASCE 7540	ASLE 8540	ASCE 9040	ARE A 11551
Peso	kg/m	56,90	50,33	44,65	37,11	32,05	24,65	52,13
	lb/yd	114,7	100,5	90,0	74,8	64,6	49,7	105,0
DIMENSÕES (mm)	boto B	139,7	136,3	130,2	122,2	112,7	98,4	131,7
	altura H	168,3	152,4	142,9	122,2	112,7	98,4	131,7
	a	31,7	0	0	0	0	0	0
	b	69,0	68,2	65,1	62,7	61,1	54,0	65,1
	c	42,9	42,1	37,3	36,1	32,6	28,6	45,2
	d	96,8	83,3	80,2	64,7	60,3	52,4	61,1
	e	28,6	27,0	25,4	21,4	19,8	17,6	25,4
	f	108,0	—	—	—	—	—	—
	g	75,7	69,8	64,5	58,4	54,3	47,7	61,2
	h	77,0	64,7	65,5	55,6	50,0	43,7	56,0
	k	82,3	75,4	73,8	53,8	50,0	43,7	56,0
	l	15,9	14,3	14,3	13,5	12,7	11,1	23,8
	R ₁	254,0	355,6	355,6	304,8	304,8	304,8	304,8
	R ₂	38,1	—	—	—	—	—	—
	R ₃	9,5	9,5	9,5	7,9	7,9	7,9	7,9
	R ₄	19,0	—	—	—	—	—	—
	R ₅	76,3	9,5	9,5	6,3	6,3	6,3	6,3
	R ₆	355,6	355,6	355,6	304,8	304,8	304,8	304,8
	R ₇	19,0	19,0	9,5	6,3	6,3	6,3	6,3
	r	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5	1,8
ÂNGULOS	α_1	3° 34,5'	3° 34,5'	3° 34,5'	0°	0°	0°	0°
	α_2	14° 2'	14° 2'	14° 2'	13°	13°	13°	13°
	α_3	14° 2'	14° 2'	14° 2'	13°	13°	13°	13°

TABELA 7 - Coeficiente K (kg/cm^2) - valores admissíveis.

Plena carga	Frecuencia de utilización	Velocidad de traslación (m/mm)	Tipo de servicio	Valores admisibles de k		
				Acero moldeado 60 kg	Acero moldeado 60 kg temple al soplete	Ruedas de bandaje
raramente	rara	inferior a 60	ligero	70	80 ÷ 90	90
raramente	rara	superior a 60	normal	60	70 ÷ 80	80
raramente	elevada	inferior a 60				
frecuente	rara	inferior a 60				
raramente	elevada	superior a 60	semipesado	50	60 ÷ 70	70
frecuente	rara	superior a 60				
frecuente	elevada	inferior a 60				
frecuente	elevada	superior a 60	pesado	40	50 ÷ 60	60

FIGURA 1 - Coefic. de compensação em função da velocidade de levantamento de acordo com a classe de levantamento.

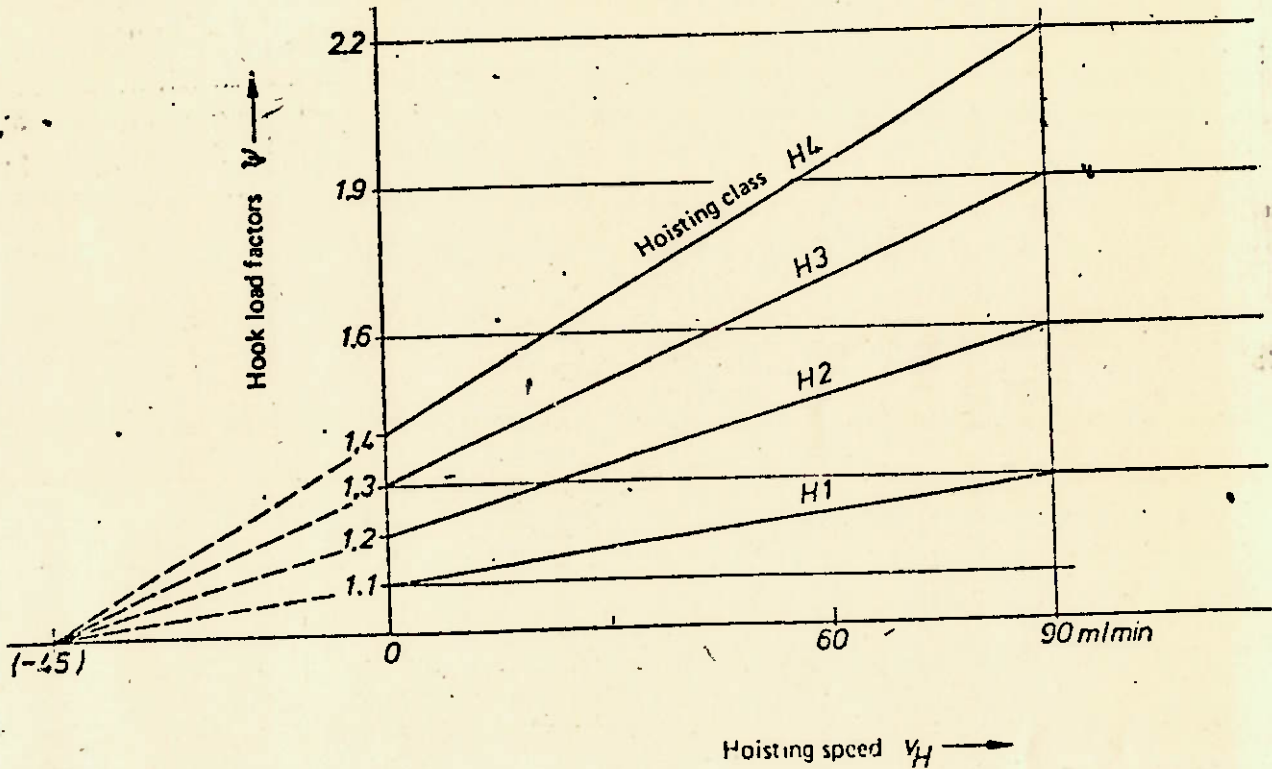
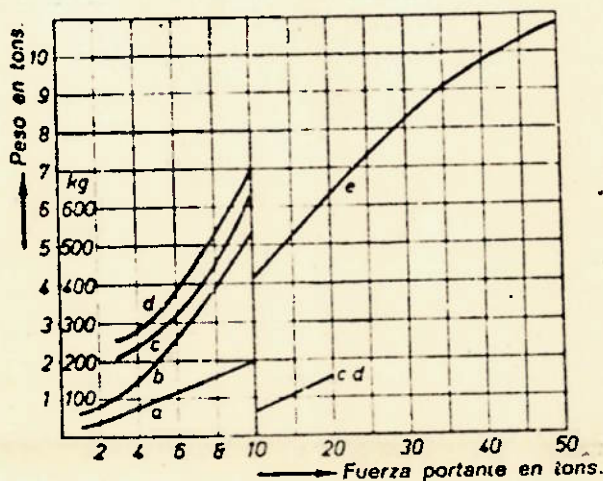


FIGURA 2 - Pesos próprios de carros de modelos distintos.



- a Carro para circular sobre las alas inferiores, para suspender aparatos, con accionamiento de traslación por cadena de maniobra;
- c Torno móvil de rueda de tornillo sin fin para dos carriles con accionamiento a mano y cadena de carga;
- d Torno móvil de ruedas rectas para dos carriles con accionamiento a mano y cadena de carga;
- e Carro de dos motores normal accionado eléctricamente.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ERNST, Hellmut - Aparatos de Elevacion y Transporte:
Tomo 1 - Principios y Elementos Constructivos.
Tomo 2 - Tornos y Grauas.
Tomo 3 - Ejecuciones Especiales.
- 2) RUDENKO, N. - Aparelhos de Elevação e Transporte.
Tradução: Prof. João Plaza.
- 3) Associação Brasileira de Normas técnicas - ABNT
P-NB-283: Aparelhos de Levantamento - Norma para
Cálculo.
- 4) DIN 15018 Cranes - Principales for Steel Structures
Stress Analysis. (Parte 1).
Stell Structures Principales of Construc-
tion. (Parte 2).
- 5) FERRARESI, D - Apostila de Máquinas de Elevação e Trans-
porte: Sistema de Elevação de carga:
EPUSP.