

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

TRABALHO DE FORMATURA

**MÁQUINA DE COMPACTAÇÃO DE APARAS
METÁLICAS**

9,0 (nove)
Edson

Gabriel Alex Apsan

José Roberto Arenstein

Orientador: Edson Gomes
2001 10 dez 2001

Ao Professor Edson Gomes,

Agradecimento

- Ao nosso amigo Bruno, que tirou a gente do telhado.

ÍNDICE

- Introdução.....	5
- Funcionamento da Máquina.....	6
- Dados Iniciais.....	8
- Memorial de Cálculo	9
- Conclusões.....	29
- Anexos.....	30

1- Introdução

O presente trabalho é resultado da convergência de diversos fatores, dentre os quais alguns foram determinantes:

- O interesse dos autores em desenvolver um Projeto de Máquinas, aplicando os conhecimentos adquiridos ao longo do curso.
- A abrangência do projeto, que envolve diversos campos de conhecimento da Engenharia Mecânica.

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver o projeto de uma máquina de compactação de aparas metálicas (cavacos), partindo de uma necessidade de um “cliente” fictício.

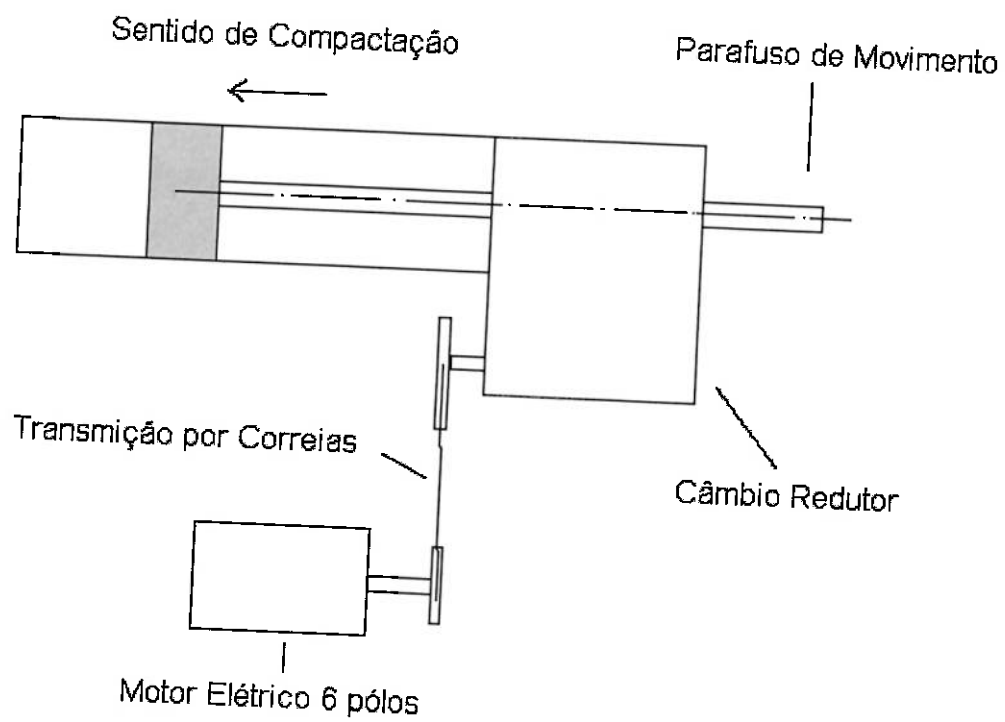
Dada estas necessidades, cabe aos autores deste trabalho, projetar a máquina para que possa ser construída de forma simples e ao um baixo custo.

2- Funcionamento da Máquina

A função da Máquina será reduzir o volume ocupado por aparas metálicas numa unidade industrial. A máquina deverá operar com duas velocidades de compactação V1 e V2 que serão selecionadas por meio de um câmbio.

O compactador é basicamente composto por um motor elétrico de seis pólos, uma caixa de redução com eixo de entrada recebendo a potência do motor através de uma transmissão por polias e eixo de saída correspondendo a um parafuso de movimento responsável, juntamente com o pistão compactador com seção transversal representada acima, pela compactação das aparas. Este pistão será guiado por uma calha onde serão depositadas as aparas. O curso deste parafuso será de 1m (L).

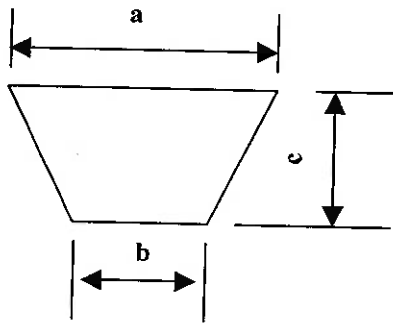
Abaixo é apresentado um esquema desta máquina



3- Dados Iniciais

Como foi dito anteriormente, o projeto será desenvolvido a partir de dados iniciais escolhidos de forma aleatória, porém dentro de uma nuance de valores coerentes com a realidade de máquinas do mesmo porte.

Abaixo, a seção transversal do pistão compactador, e alguns valores iniciais.



a	280 mm
b	180 mm
c	200 mm
L	1000 mm
V1	1 m/min
V2	1,5 m/min

4- Memorial de Cálculo

Dimensionamento do Parafuso de Movimento e Definição do Motor Elétrico

Pressão de Compactação (P) = 30 Kgf / cm²

$$\begin{aligned} \text{Força de Compactação (F}_c\text{)} \quad F_c &= P \cdot (a + b) \cdot \left(\frac{c}{2}\right) \\ F_c &= 138000 \quad N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Potência de Compactação (N}_c\text{)} \quad N_c &= F_c \cdot V_2 \\ N_c &= 3450 \quad W \end{aligned}$$

Precisamos calcular a potência do motor. Para isto levamos em consideração os rendimentos dos rolamentos, pares engrenados, polias e do parafuso. Os rendimentos dos rolamentos, engrenagens e polias nos foram fornecido. É necessário, portanto calcularmos o rendimento do parafuso:

Dimensionamento do Parafuso por Compressão:

Material escolhido: Aço SAE 1045 HR

$$\sigma_e = 414 \text{ MPa}$$

Utilizarei um fator de segurança (K_f) igual a 5.

$$\boxed{\frac{K_f \cdot F_c \cdot 4}{\pi \cdot d_1^2} \leq \sigma_e \Rightarrow d_1 = 46,07 \text{ mm}}$$

Dimensionamento do Parafuso por Flambagem (Ref.: Roscas e Parafusos; Oliveira)

$\lambda = \frac{l_0}{i}; \quad i = \frac{d_1}{4} \Rightarrow$ Utilizando-se d_1 de um parafuso normalizado próximo ao encontrado por compressão; $d_1 = 48,5 \text{ mm}$

$\lambda = \frac{100 \cdot 4}{4,85} \Rightarrow \lambda \leq 95 \quad \therefore$ Aplica-se Tetmajer.

$$\frac{4 \cdot F_c}{\pi \cdot d_1^2} \leq \frac{31 - 0,114 \cdot \lambda}{K_f}, \quad \text{para } K_f = 3.$$

$d_1 = 43,13 \text{ mm}$ (menor que por compressão)

Escolha do parafuso Normalizado:

$d_1 = 48,5 \text{ mm}$
 $d = 58 \text{ mm}$
 $S = 18,47 \text{ cm}^2$
Aço SAE 1045 HR
 $p = 9 \text{ mm}$
 $d_2 = 53,5 \text{ mm}$

Porca:

$D1 = 50 \text{ mm}$
 $D = 58,5 \text{ mm}$
Bronze

Cálculo do Rendimento:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\varphi}{\pi \cdot d_1} \Rightarrow \alpha = 3,38^\circ$$

$$\begin{array}{l} \operatorname{tg} \varphi = N \\ N = 0,08 \end{array} \Rightarrow \varphi = 4,57^\circ$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} (\alpha + \varphi)} = 0,4227 \Rightarrow \boxed{\eta_{\text{parafuso}} = 42\%}$$

Posso agora calcular a potência do Motor:

$$N_{\text{motor}} = \frac{N_c}{\prod \eta}$$

$$\eta_{\text{rolamentos}} = 99,5\%$$

$$\eta_{\text{engrenagens}} = 99\%$$

$$\eta_{\text{polia}} = 96\%$$

$$\eta_{\text{parafuso}} = 42\%$$

$$\boxed{N_{\text{motor}} = \frac{3450}{(0,995)^3 \cdot (0,99)^2 \cdot (0,96) \cdot (0,42)} = 8862,55 \text{ W}}$$

Motor Escolhido:

Marca	WEG
Carcaça	160 M
Peso	113 Kg
Potência	9,375 KW, 12,5 HP
Rotação Nominal	1160 RPM
Conjugado Nominal	75,8 Nm

Folha de Dados do Motor anexa a este relatório.

Rotação da Porca:

$$V = n \cdot p, \quad p = 9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} n_1 &= 111,11 \text{ RPM} & V_1 &= 1 \text{ m/min} \\ n_2 &= 166,67 \text{ RPM} & V_2 &= 1,5 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Redução:

$$i = \frac{n_{\text{motor}}}{n_i}$$

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{1160}{111,11} = 10,44 \\ i_2 &= \frac{1160}{166,67} = 6,96 \end{aligned}$$

Correias e Polias

Rotação do eixo do motor: 1160 RPM

Potência requerida: 11,9 HP

Redução do Par de Polias: $i = 2$

Carga no Arranque Inicial: 200 % da carga normal

$$\therefore F.S. = 1,4$$

$$HP_{\text{efetivo}} = HP_{\text{requerido}} \cdot F.S. = 16,65 \text{ HP}$$

Seleção do Perfil da Correia: Perfil B

Dos valores recomendados:

$D_{(POLIA \text{ MOTORA})} = 162,6 \text{ mm}$ $D_{(POLIA \text{ MOVIDA})} = i \cdot 162,6 = 325,2 \text{ mm}$

Velocidade da Correia:

$$V = \pi \cdot D_{(MOTORA)} \cdot n_{(MOTOR)}$$

$$V = \frac{\pi \cdot 0,1626 \cdot 1160}{60} = 9,9 \text{ m/s}$$

Cálculo da Distância entre Centros (A):

$$I) \quad A = D_{(MOVIDA)} = 325,2 \text{ mm}$$

$$II) \quad A = \frac{D_{MOVIDA} + 3 \cdot D_{(MOTORA)}}{2} = 406,5 \text{ mm}$$

$$II > I \quad \therefore \quad A = 406,5 \text{ mm}$$

Comprimento da Correia:

$$L = 2 \cdot A + \frac{\pi}{2} \cdot (D_{(MOVIDA)} + D_{(MOTORA)}) + \frac{(D_{MOVIDA} - D_{(MOTORA)})^2}{4 \cdot A}$$

$$L = 1595,5 \text{ mm} \cong 62,81 \text{ pol}$$

Procuro então uma correia normalizada mais próxima:

$$B-62 \rightarrow L_T = 63,8 \text{ pol (1620 mm)}$$

Preciso agora recalcular a distância entre centros:

$$A = A_0 + \frac{L - L_0}{2} = 418,75 \text{ mm}$$

Cálculo do Número de Correias:

$$V = 9,9 \text{ m/s} = 1948,82 \text{ ft/min}$$

Para $D_{(MOTORA)} = 6,4''$	5,46 HP/correia	(Tabela 10 – Apostila do Curso)
HP Adicional:	0,74 HP/correia	(Tabela 10A – Apostila do Curso)

Ângulo de Abraçamento (Referência: Shigley)

$$\theta_d = \pi - 2 \cdot \arcsen \frac{D_{(MOVIDA)} - D_{(MOTORA)}}{2 \cdot A}$$

$$\theta_d = 157,61^\circ$$

$$K_1 \text{ (fator de correção do ângulo de abraçamento)} = 0,94$$

$$K_2 \text{ (fator de correção para comprimento da correia)} = 0,95$$

$$\therefore HP / correia = (5,46 + 0,74) \cdot 0,94 \cdot 0,95$$

$$HP / correia = 5,54 \quad HP$$

$$N^\circ \text{ correias} = \frac{16,65}{5,54} \cong 3$$

Determinação do Número de Raios e sua Geometria

$$Z = \sqrt{0,023 \cdot D_{(MOVIDA)}} = \sqrt{0,023 \cdot 325,2} \cong 2,73$$

$$\therefore Z = 3 \quad \text{Raios}$$

$$\frac{(T_1 - T_2) \cdot D_{(MOTORA)}}{2} = M_T = \frac{7162 \cdot N_{EF}}{n}$$

$$(T_1 - T_2) = \frac{7162 \cdot 16,6 \cdot 2}{0,1626 \cdot 1160}$$

$$(T_1 - T_2) = 126,4 \text{ Kgf}$$

Determinação de h e a das polias:

$$h \geq \left[\frac{(T_1 - T_2) \cdot D_{(MOVIDA)}}{24 \cdot Z} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$h \geq \left(\frac{126,4 \cdot 32,5}{24 \cdot 3} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,85 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \therefore h &= 38,5 \text{ mm} \\ a &= 0,4 \cdot h = 15,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Próximo ao Cubo)

$$\begin{aligned} \therefore h' &= 0,7 \cdot h = 27 \text{ mm} \\ a' &= 0,4 \cdot h' = 10,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Próximo à correia)

Cálculo de T_1 e T_2 :

As forças T_1 e T_2 nas correias trapezoidais podem ser calculadas de maneira simplificada tomando-se $T_1 + T_2$ aproximadamente igual a 2,5 vezes $T_1 - T_2$.

$$T_1 + T_2 \cong 2,5 \cdot (T_1 - T_2)$$

$$1,5 \cdot T_1 = 3,5 \cdot T_2$$

$$\text{como } (T_1 - T_2) = 126,4 \text{ Kgf}$$

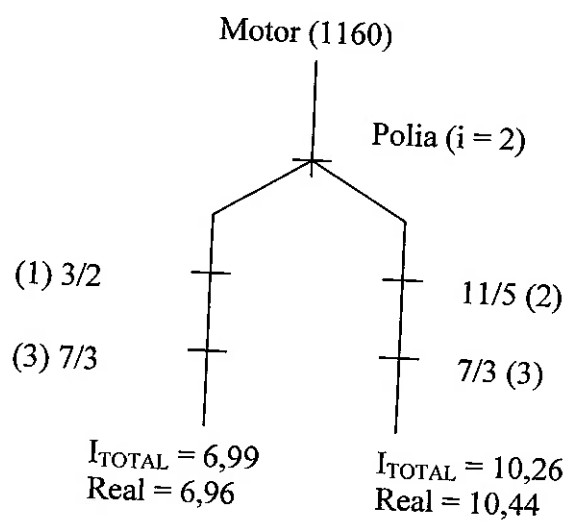
$$\begin{aligned} T_2 &= 94,8 \text{ Kgf} \\ T_1 &= 221,2 \text{ Kgf} \end{aligned}$$

Redução na Polia e nas Engrenagens

$$i_{polias} = 2 \Rightarrow n_{polia_movida} = 580rpm$$

$$n_{1_porca} = 111,11rpm \Rightarrow i_1 = 5,22$$

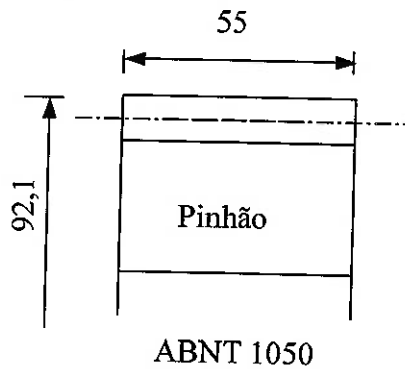
$$n_{2_porca} = 166,67rpm \Rightarrow i_2 = 3,48$$



Dimensionamento das Engrenagens

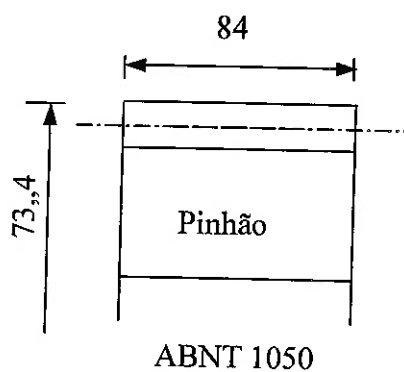
Calculados através do método dos Volumes Mínimos, os pares de engrenagens ficaram como ilustrado abaixo:

Par 1



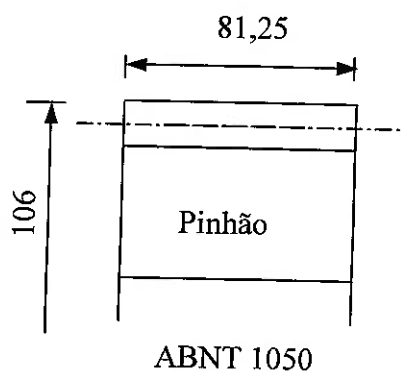
C.C: 109,46
 $m = 4$

Par 2



C.C: 109,46
 $m = 2,5$

Par 3



C.C: 164,2
 $m = 3,75$

Forças nas Engrenagens:

Par 1 $\beta = 18^\circ$, $\alpha = 20^\circ$

$$F_t = \frac{2M_t}{d} = \frac{2.1467}{8,41} \cong 350 \text{ kgf}$$

$$F_a = F_t \cdot \text{tg} \beta \cong 114 \text{ kgf}$$

$$F_r = \frac{F_t \cdot \text{tg} \alpha}{\cos \beta} \cong 134 \text{ kgf}$$

Par 2 $\beta = 24^\circ$, $\alpha = 20^\circ$

$$F_t = \frac{2M_t}{d} = \frac{2.1467}{8,41} \cong 350 \text{ kgf}$$

$$F_a = F_t \cdot \text{tg} \beta \cong 114 \text{ kgf}$$

$$F_r = \frac{F_t \cdot \text{tg} \alpha}{\cos \beta} \cong 134 \text{ kgf}$$

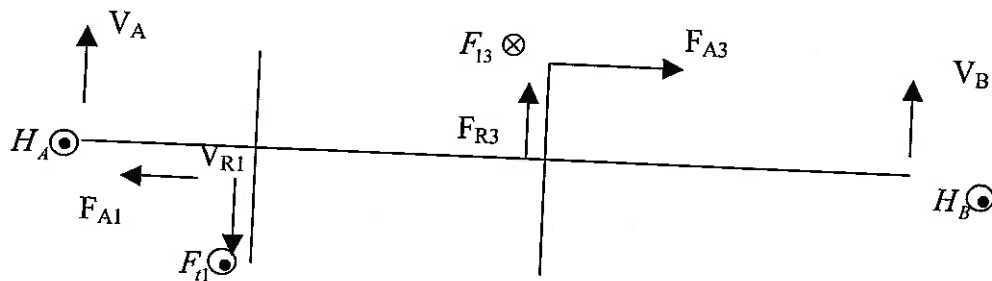
Par 3 $\beta = 18^\circ$, $\alpha = 20^\circ$

Par 1 engrenado: $F_t = 443 \text{ kgf}$
 $F_a = 144 \text{ kgf}$
 $F_r = 170 \text{ kgf}$

Par 2 engrenado: $F_t = 631 \text{ kgf}$
 $F_a = 205 \text{ kgf}$
 $F_r = 242 \text{ kgf}$

Dimensionamento dos Eixos

Eixo 2 (Par 1 engrenado)



$$F_{t3} = 443 \text{ kgf}$$

$$F_{t1} = 350 \text{ kgf}$$

$$F_{a3} = 144 \text{ kgf}$$

$$F_{a1} = 114 \text{ kgf}$$

$$F_{r3} = 170 \text{ kgf}$$

$$F_{r1} = 134 \text{ kgf}$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow V_A - V_{R1} + F_{R3} + V_B = 0$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -F_{R1}(37,5) - F_{a1}(65,1) - F_{a3}(51,25) + F_{r3}(123,15) + V_B(370) = 0$$

$$V_B = -3 \text{ kgf}$$

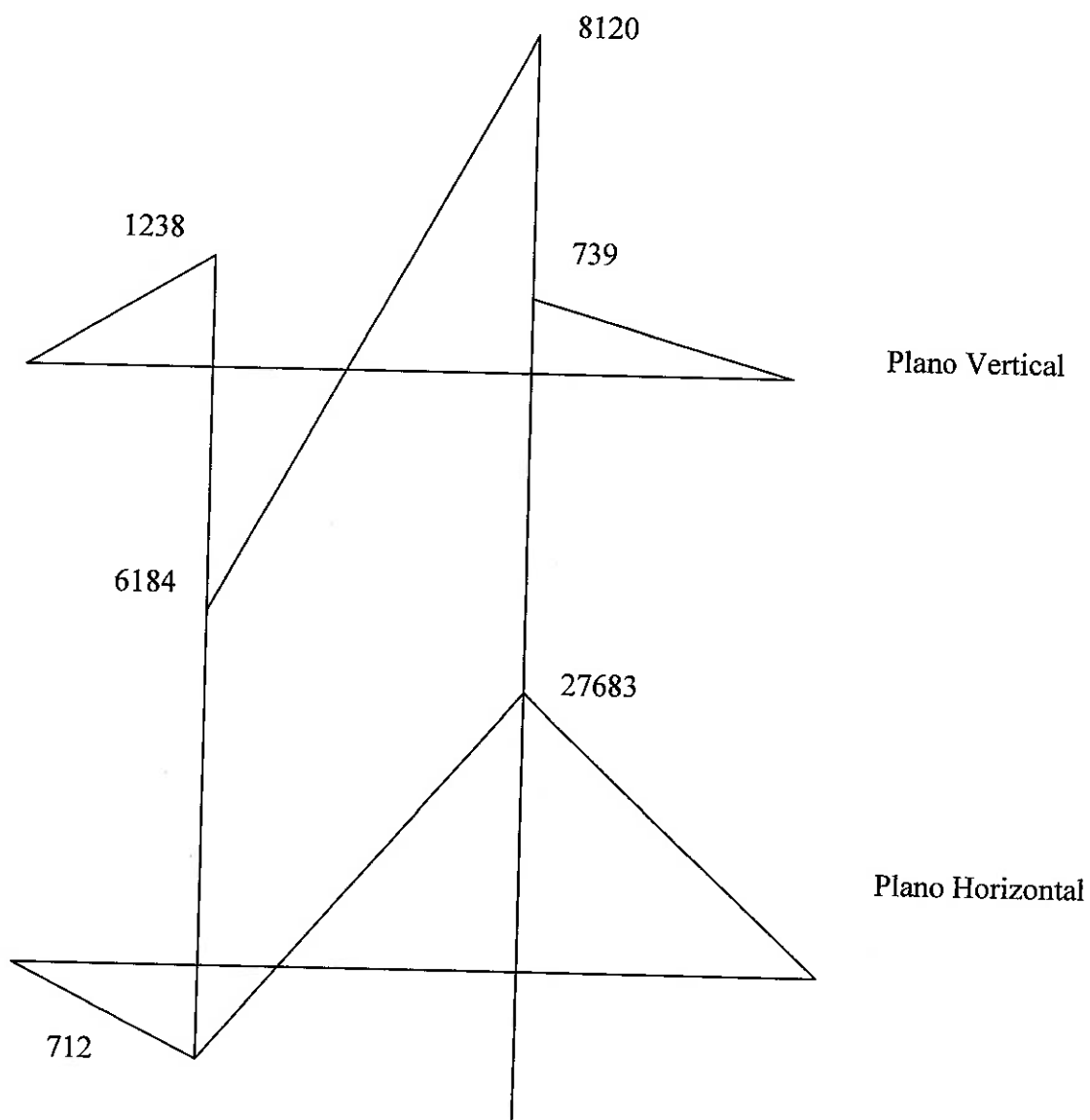
$$V_A = -33 \text{ kgf}$$

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow H_A - H_{T1} + H_{T3} + H_B = 0$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -H_B(370) + F_{T3}(123,15) - F_{T1}(37,5) = 0$$

$$H_B = 112 \text{ kgf}$$

$$H_A = -19 \text{ kgf}$$



Momento Torçor: 22.785 kgf.mm

$$M = \sqrt{(8120^2 + 27638^2) + (\alpha \cdot 22785)^2}$$

$$M = 29.606 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

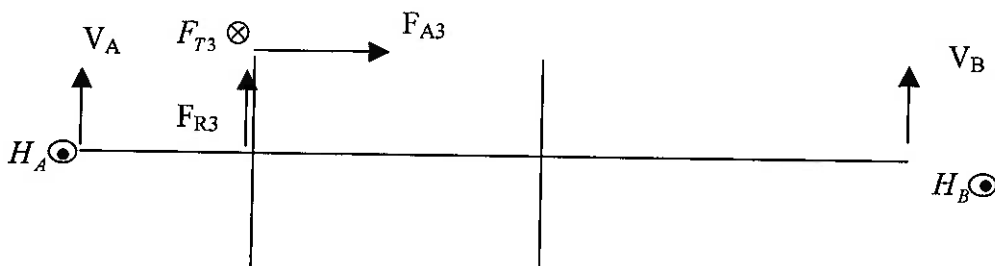
SAE 3140 (estriado a frio)

$$\sigma_r = 87 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M}{0,1\sigma_{III}}} = \sqrt[3]{\frac{29606}{0,1 \cdot 87}}$$

$$d \geq 34 \text{ mm}$$

Eixo 2 (Par 2 engrenado)



$$F_{T3} = 631 \text{ kgf}$$

$$F_{T1} = 430 \text{ kgf}$$

$$F_{A3} = 205 \text{ kgf}$$

$$F_{A1} = 192 \text{ kgf}$$

$$F_{R3} = 242 \text{ kgf}$$

$$F_{R1} = 172 \text{ kgf}$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow V_A - V_{R1} + F_{R3} + V_B = 0$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -F_{R1}(37,5) - F_{a1}(65,1) - F_{a3}(51,25) + F_{r3}(123,15) + V_B(370) = 0$$

$$V_B = 64 \text{ kgf}$$

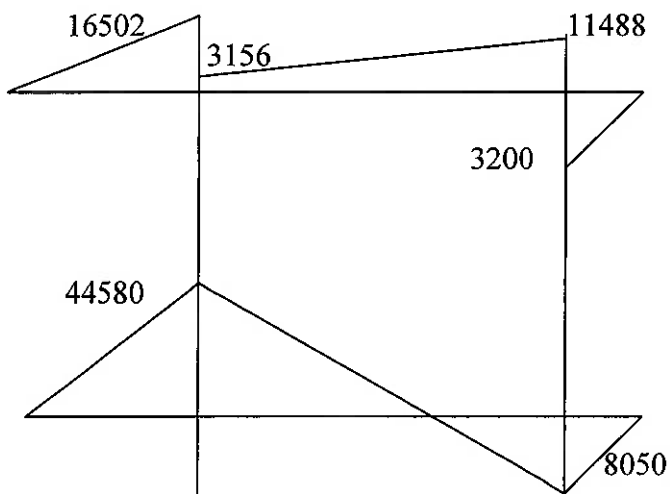
$$V_A = -134 \text{ kgf}$$

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow H_A - H_{T1} + H_{T3} + H_B = 0$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -H_B(370) + F_{T3}(123,15) - F_{T1}(37,5) = 0$$

$$H_B = -161 \text{ kgf}$$

$$H_A = 362 \text{ kgf}$$



Momento Torçor: 32.895 kgf.mm

$$M = \sqrt{(16502^2 + 44580^2) + (\alpha \cdot 32895)^2}$$

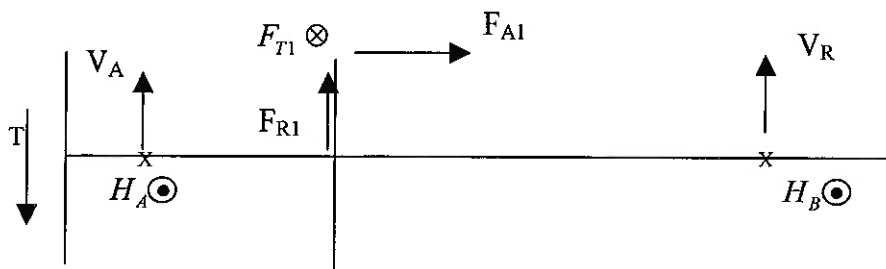
$$M = 48550 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

Aço SAE 3140 (estriado a frio)

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M}{0,1\sigma_{III}}} = \sqrt[3]{\frac{48550}{0,763}} \Rightarrow$$

$$d \geq 40 \text{ mm}$$

Eixo 1 (Par 1 engrenado)



$$T = 221 \text{ kgf}$$

$$F_{R1} = 134 \text{ kgf}$$

$$F_{A1} = 114 \text{ kgf}$$

$$F_{T1} = 350 \text{ kgf}$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow V_A + V_B - T + F_{R1} = 0$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow T(424) - V_A(364) - F_{R1}(326,5) - F_{A1}(44) = 0$$

$$V_B = 123,5 \text{ kgf}$$

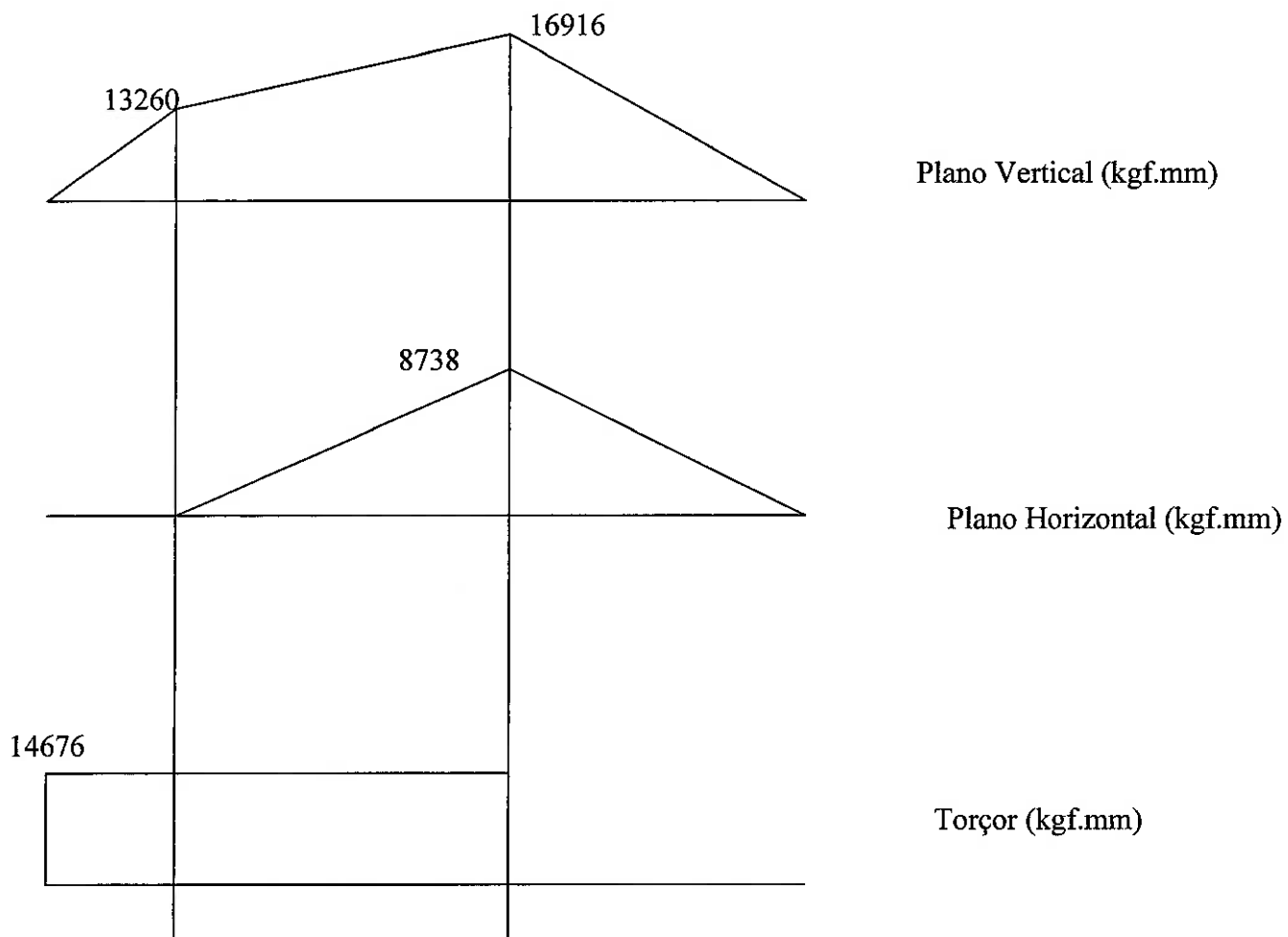
$$V_A = -36 \text{ kgf}$$

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow H_A + H_B - F_{T1} = 0$$

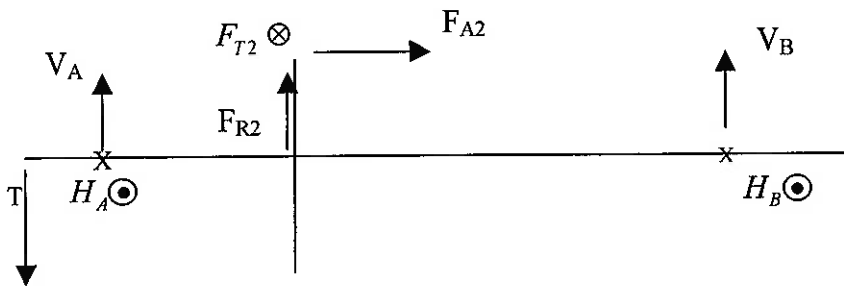
$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -H_B(364) + F_{T1}(121,3) = 0$$

$$H_B = 117 \text{ kgf}$$

$$H_A = 233 \text{ kgf}$$



Eixo 1 (par 1 engrenado)



$$T = 221 \text{ kgf}$$

$$F_{R1} = 430 \text{ kgf}$$

$$F_{A1} = 192 \text{ kgf}$$

$$F_{T1} = 172 \text{ kgf}$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow V_A + V_{R2} - T + V_B = 0$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow T(424) - V_{A1}(364) - F_{R2}(205,2) - F_{A2}(35,5) = 0$$

$$V_A = 142 \text{ kgf}$$

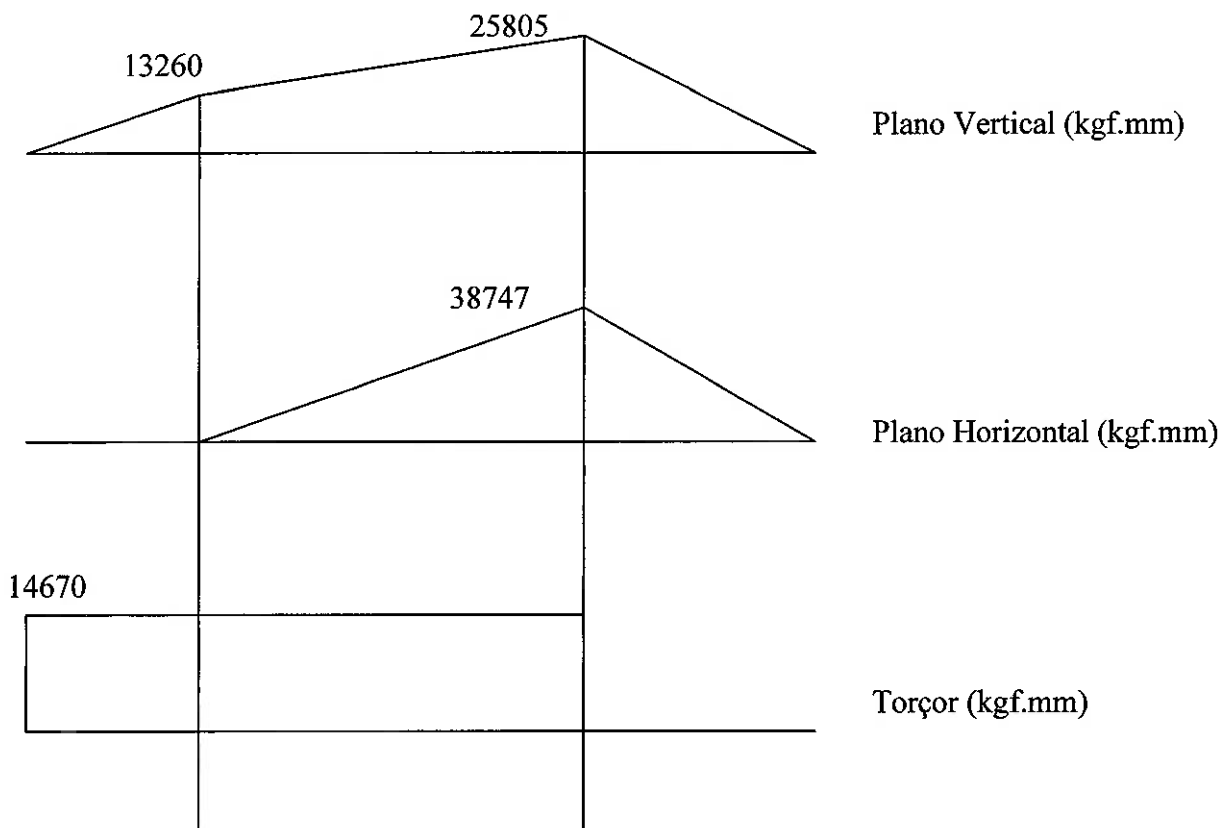
$$V_B = -93 \text{ kgf}$$

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow H_A - F_{T2} + B_B = 0$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -H_B(364) + F_{T2}(158,8) = 0$$

$$H_B = 186 \text{ kgf}$$

$$H_A = 224 \text{ kgf}$$



$$M = \sqrt{(25805^2 + 38747^2) + (\alpha \cdot 14670)^2}$$

$$M = 46.761 \text{ kgf.mm}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M}{0,1\overline{\sigma}_{III}}}$$

$$\overline{\sigma}_{III} = \frac{87}{3,3,8} = 7,63 \text{ MPa}$$

$$d \geq 39,42 \text{ mm} \Rightarrow d = 40 \text{ mm}$$

Com estes dados, foi possível fazer o desenho de fabricação da caixa de engrenagens (ver anexo).

Devido a complexidade do projeto, alguns componentes não foram devidamente calculados e foram selecionados utilizando o bom senso dos autores.

Excluindo as peças calculadas no memorial e os elementos normalizados, os outros componentes não têm um material especificado, isto porque, existem uma gama de materiais com diversas características que se adequam ao projeto.

O desenho de fabricação em anexo, possui as principais vista da caixa de engrenagem e da polia motora.

5- Conclusões

O nosso projeto de formatura demonstrou que existem inúmeras variáveis e parâmetros que devem ser analisados para o desenvolvimento de uma máquina.

Muitos destes parâmetros não foram profundamente analisados, tais como Custo, Processo de Fabricação, Peso etc.

Porém, este não era o escopo do projeto, e sim um contato com as fases iniciais do desenvolvimento de um protótipo.

6 - Anexos