

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PMC 580/PMC 581  
PROJETO MECÂNICO I & II**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE ELEVAÇÃO  
E TRANSPORTE DE CARGA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE  
E  
PROJETO BÁSICO**

**Integrantes do grupo :**

|                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| Álvaro Otávio Isaias Rodrigues | Nº USP 2801603 |
| Eduardo Alexandre Dias e Silva | Nº USP 2802689 |
| Márcio César Mafeis Diniz      | Nº USP 2834287 |

**Professor orientador :**

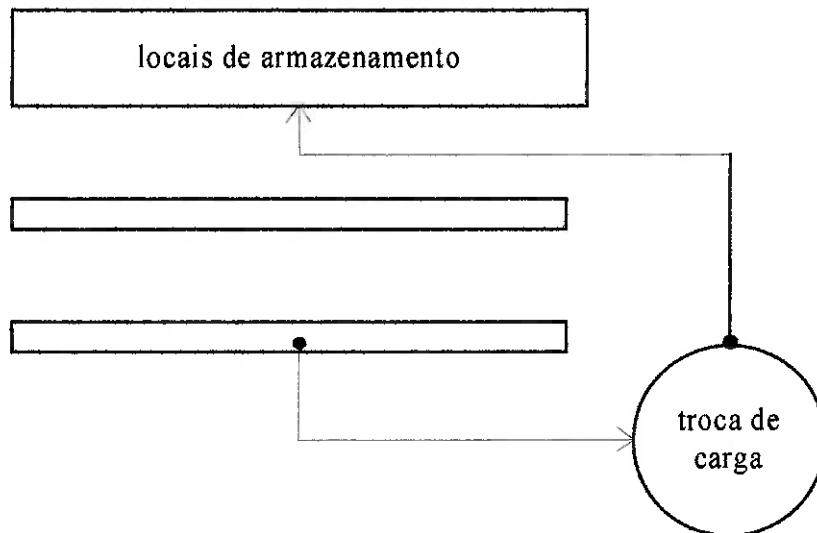
Marco Stipkovic Filho

  
1996

# 1) ESTUDO DE VIABILIDADE

## 1.1) O estabelecimento da necessidade

Analisando-se os sistemas utilizados atualmente na maioria das indústrias e estabelecimentos comerciais para o transporte, armazenamento e remoção de produtos estocados, observa-se a necessidade de um sistema que execute estas tarefas de uma forma mais dinâmica e automática, otimizando o processo em termos de tempo de operação. Tal sistema consiste basicamente de um dispositivo que, através de um comando do operador, execute uma instrução conforme o seguinte exemplo: levar produto tipo A do local de troca de cargas para o local X; trazer produto tipo B do local Y para o local de troca de cargas.



O local onde as cargas serão estocadas pode ser, por exemplo, uma estrutura composta por células cujas dimensões variam de acordo com a função a que se destinam. Dessa forma, o sistema deverá ser projetado a fim de atender à diferentes necessidades de estocagem (dimensões, formato e disposição das células). O sistema receberá uma planta do local de armazenamento e deverá atuar corretamente nele.

Este sistema teria aplicações em áreas industriais (almoxarifados, armazenamento de produtos semi-acabados durante processos de fabricação e armazenamento de produtos acabados para estocagem) e em áreas comerciais (grandes depósitos de mercadorias).

As vantagens oferecidas por esse sistema em relação às empilhadeiras convencionais são: eliminação da intervenção humana

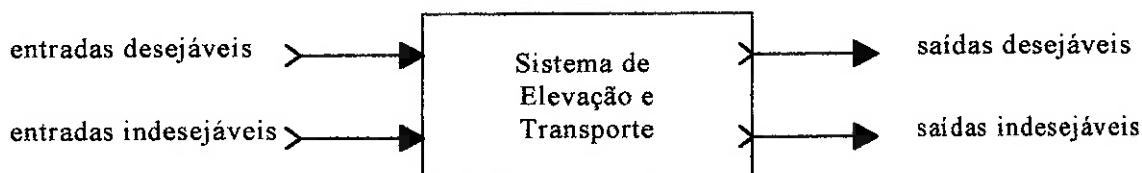
durante o processo (piloto) bem como aumento da rapidez e segurança na execução das tarefas, por ser um sistema automatizado.

O custo proposto deverá ser compatível com as qualidades citadas e com produtos substitutos e concorrentes do mercado, obtendo-se uma relação CUSTO/BENEFÍCIO inferior aos dos modelos já existentes.

Após as considerações iniciais e, verificando-se a existência de um mercado amplo com clientes potenciais, podemos prever uma boa aceitação do produto em questão.

## 1.2) Formulação do Projeto - especificações técnicas

Considerando o equipamento como um sistema que recebe entradas e gera saídas, podemos esquematizá-lo da seguinte forma :



### Entradas desejáveis :

- carga colocada adequadamente no equipamento;
- carga dentro dos limites de peso e dimensões;
- energia;
- comandos corretos pelo operador.

### Saídas desejáveis :

- armazenar ou retirar de acordo com o comando enviado;
- enviar mensagem de erro quando houver impossibilidade de operação.

### Entradas indesejáveis :

- carga colocada de forma inadequada no equipamento;
- carga acima do limite de peso;
- carga com dimensões fora das especificações;
- comandos incorretos;
- choques físicos (colisões).

### Saídas indesejáveis :

- queda da carga;
- ruído excessivo;
- choques devido à desacelerações;
- vibração;
- instabilidade estrutural (tombamento).

## **Especificações técnicas :**

### **a) Funcionais**

Desempenho: otimização do movimento, objetivando um aumento da velocidade de operação em comparação às empilhadeiras convencionais de no mínimo 30%. Diminuição do espaço entre as prateleiras (pois não há a necessidade de manobras), proporcionando um melhor aproveitamento da área.

Conforto: facilidade de operação.

Segurança: estabilidade do equipamento a fim de se evitar danos durante o transporte de produtos frágeis. Facilidade de interrupção do processo em casos de emergência. Operação independente da ação de pessoas.

### **b) Operacionais**

Durabilidade: a durabilidade depende muito da forma como o equipamento é utilizado. No entanto, iremos considerar a vida útil das principais peças não inferior a 6 anos, supondo-se que o equipamento seja utilizado de forma praticamente contínua durante o expediente.

Confiabilidade: baseado nas mesmas considerações acima, os subsistemas (elétrico, mecânico, etc..) não poderão apresentar falhas que resultem em sua inutilização nos primeiros 2 anos.

Como grande número de peças e componentes serão adquiridos de terceiros, deveremos selecioná-los de modo que a suas qualidades garantam as exigências operacionais estabelecidas acima.

### **c) Construtivas**

Levando-se em conta que as empilhadeiras convencionais apresentam-se de forma bastante diversificada com relação ao tamanho, peso, capacidade de carga e altura de elevação em função das atividades as quais se destinam, devemos estabelecer tais especificações para o nosso produto, de forma que ele apresente uma grande versatilidade. Uma pesquisa realizada em duas indústrias revelaram a existência de empilhadeiras cujas capacidades de carga variavam de 2 a 7 toneladas e cujas capacidades de elevação variavam de 3 a 5 metros.

Desta forma, é de fundamental importância que estas especificações sejam feitas de forma consciente a fim de que o nosso produto satisfaça às exigências do mercado. O nosso sistema deverá ter condições de elevar tanto caixas de pacotes de alimentos em depósitos de supermercados,

quanto produtos extremamente pesados como eixos traseiros de caminhões cujo peso pode ultrapassar 1 tonelada.

Da análise feita, em termos de operação, verificamos que a capacidade de carga está relacionada diretamente com a quantidade de produtos transportados. Assim, por exemplo, uma empilhadeira com capacidade de 2 toneladas é capaz de elevar apenas 1 eixo de 1100 Kg, ao passo que uma empilhadeira com capacidade de 4 toneladas consegue elevar até 3 unidades do mesmo eixo no mesmo tempo. Entretanto, ambas têm condições de transportar o mesmo produto.

Tendo em vista o objetivo de versatilidade, o nosso produto terá aplicações tanto em áreas ocupadas por empilhadeiras de pequeno porte, como em áreas até agora ocupadas por empilhadeiras de maior porte; a menor capacidade de carga será compensada pelo menor tempo no transporte. Assim, teremos especificações de carga semelhantes as de menor porte, mas realizando um serviço compatível com as maiores.

Após estas considerações, podemos estabelecer as seguintes especificações:

- **capacidade máxima de carga:** 2 toneladas;
- **altura máxima de elevação:** 5 metros;
- **área máxima ocupada pelo elemento móvel:** 6 m<sup>2</sup>.

### **1.3) Síntese de soluções**

O passo seguinte é a determinação de um conjunto de soluções capazes de realizar a função especificada pelo projeto. Uma das maneiras de se realizar isto é montar uma matriz como a apresentada abaixo, na qual especificamos soluções possíveis para cada um dos itens fundamentais que definem o projeto.

| <b>Função</b>                                       | <b>Solução</b>                                                        |                                                                                    |                                                                        |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Elevação</b>                                     | pistão hidráulico                                                     | motor / cabo de aço                                                                | corrente / catraca                                                     |
| <b>Transporte</b>                                   | trilhos                                                               | transporte suspenso                                                                |                                                                        |
| <b>Deslocamento Lateral (carga e descarga)</b>      | pistão hidráulico                                                     | pinhão / cremalheira                                                               | coroa / parafuso sem fim                                               |
| <b>Alimentação</b>                                  | motor combustão interna                                               | motor elétrico com alimentação por cabos                                           | motor elétrico com fonte no trilho                                     |
| <b>Interface usuário / unidade móvel (comandos)</b> | controle remoto                                                       | cabo                                                                               | armazenamento em memória                                               |
| <b>Sistema de tração da unidade móvel</b>           | motor / redutor transversal acoplado à coroa do eixo de tração        | motor / redutor longitudinal conectado à coroa / pinhão por meio de um eixo cardan | motor / redutor transversal transmitindo potência por meio de corrente |
| <b>Sistema de travamento / posicionamento</b>       | pino travador acionado por solenóide com sistema de controle on / off |                                                                                    |                                                                        |
| <b>Sistema de localização</b>                       | switch                                                                | encoder linear                                                                     |                                                                        |

A partir de combinações coerentes das soluções acima, conseguimos estabelecer diferentes concepções para o projeto. Encontram-se a seguir, um conjunto de soluções possíveis obtidas a partir destas combinações.

### 1.3.1) Solução A

A unidade móvel, que realizará o transporte da carga, será constituída por um carro que se desloca por trilhos ao longo do corredor onde se localizam as prateleiras. O movimento será realizado através de um eixo de tração, recebendo torque por meio de uma caixa de transmissão conectada a um conjunto motor elétrico/redutor. A elevação da carga será feita através de um pistão hidráulico cuja haste movimenta um par de polias. Por estas polias, passam correntes nas quais uma das extremidades está fixada na estrutura e outra fixada na plataforma de elevação. O movimento da haste faz com que esta plataforma se desloque, elevando ou abaixando a carga que se deseja estocar ou retirar. A plataforma é apoiada em duas guias as quais apresentam canais por onde se deslocam roletes localizados nas laterais. Estas guias estão solidárias à estrutura do carro, conferindo estabilidade à plataforma de elevação. Sobre esta plataforma, localiza-se uma base móvel que se desloca lateralmente, por ação de um pistão hidráulico, com a finalidade de estocar ou retirar as cargas do local de armazenamento. Os pistões hidráulicos receberão fluido sob pressão através de uma bomba hidráulica, acionada por outro motor elétrico ou pelo mesmo motor que movimenta o carro, conforme o modo como será projetado a transmissão. Desta forma, deveremos ter também um reservatório de óleo para a alimentação do sistema hidráulico. O sistema de posicionamento e travamento do carro na posição desejada do trilho será feito através de pinos travadores acionados por solenóides. Este sistema será discutido com maiores detalhes, quando for apresentado o seu desenho esquemático, explicando o seu funcionamento. Os comandos enviados pelo operador poderá ser feito por meio de controle remoto, cabos ou armazenamento temporário em memória. Todas as operações necessárias para a execução do comando enviado (ligar motor de acionamento, inverter rotação, desligar, acionar sistema de travamento, acionar o pistão hidráulico etc.), serão realizadas por um microprocessador que encarregar-se-á de enviar sinais para o acionamento dos sistemas do equipamento. A alimentação dos motores e demais componentes eletrônicos poderá ser feita por meio de cabos elétricos ou por fonte no próprio trilho.

### **1.3.2) Solução B**

O transporte da carga também será feito por um carro deslocando-se sobre trilhos, porém o eixo de tração receberá potência por meio de um par de engrenagens (coroa/pinhão) que transmitem movimento a 90° (semelhante ao sistema de veículos com motor dianteiro e eixo de tração traseiro). Entretanto, como as rodas sempre giram a mesma rotação, não há a necessidade de um sistema diferencial, podendo a coroa estar acoplada a um eixo rígido ligando as duas rodas. O pinhão recebe movimento do conjunto motor elétrico/redutor por meio de um eixo cardan. As conexões deste eixo com a saída do redutor e com o pinhão podem ser feitas por meio de juntas universais (cruzetas).

A elevação da carga dispensa o uso do pistão hidráulico. Neste caso o conjunto motor/redutor aciona um cabo de aço que será responsável pela movimentação da plataforma. A plataforma se apoia nas mesmas guias da solução anterior.

Outra modificação é com relação ao acionamento da base móvel para carga e descarga. Neste caso, teremos ao invés de um sistema hidráulico, um sistema mecânico composto por um conjunto motor/redutor/pinhão/cremalheira. A cremalheira será fixada na lateral da base móvel. Ela será movida por pinhões localizados nas extremidades da plataforma e ligados entre si por meio de uma corrente. Um destes pinhões será conectado a um conjunto motor elétrico/redutor. Desta forma, quando o motor é acionado, a base se desloca em um dos lados da plataforma, estando a cremalheira em contato com o pinhão localizado na extremidade deste lado, o qual será responsável pela transmissão de potência. O outro pinhão, que não está em contato com a cremalheira, apenas gira livremente (sem carga), devido ao acoplamento com a corrente. Note que este mecanismo permite o deslocamento da base em ambos os lados do carro, possibilitando a colocação/remoção de cargas das duas prateleiras que limitam o corredor.

O sistema de posicionamento e travamento é o mesmo da solução anterior. As alternativas de alimentação de energia elétrica, interface usuário/carro e sistema de localização também são as mesmas já discutidas anteriormente.

Nota-se ainda que esta concepção dispensa a utilização de uma unidade hidráulica, realizando todos os movimentos através de sistemas mecânicos.



### **1.3.3) Solução C**

Nesta concepção, temos o mesmo carro já discutido, apresentando as seguintes diferenças com relação à solução B :

- O eixo de tração receberá potência através de transmissão por corrente, tendo como força motriz um conjunto motor/redutor ;
- A plataforma de elevação será movimentada por meio de correntes. Estas correntes serão movidas através de engrenagens fixadas a um eixo que recebe potência por meio de uma transmissão de polias. A polia motora recebe potência de um conjunto motor/redutor;
- A base móvel se deslocará por meio da ação de um parafuso sem fim, recebendo potência de um conjunto motor/redutor;

Nota-se também que esta solução dispensa a utilização de sistemas hidráulicos.

### **1.3.4) Solução D**

Esta solução apresenta uma concepção diferente das demais, realizando o transporte da carga de forma suspensa. Neste caso, teremos uma estrutura biapoiada em trilhos laterais localizados nas extremidades do corredor na parte superior do mesmo (semelhante a uma ponte rolante). O deslocamento da estrutura será realizado por um conjunto motor elétrico/redutor transmitindo movimento por meio de um par de engrenagens ao eixo no qual é fixada uma roda que se desloca pelo trilho. Pela estrutura, desloca-se uma plataforma por meio de um fuso, o qual recebe potência por meio de um outro conjunto motor/redutor. Nesta plataforma, localiza-se uma nova transmissão acoplada a uma polia, movimentando verticalmente por meio de cabo de aço, a carga. O sistema de localização seria composto por sensores, a alimentação por meio de cabos elétricos localizados junto ao trilho e a interface com o usuário seria realizada por qualquer um dos sistemas já apresentados.

Este sistema também não necessita da unidade hidráulica, porém requer um grande número de conjuntos motor/redutor operando individualmente e apresenta a limitação de apenas empilhar/desempilhar a carga, o que pode comprometer o seu desempenho.

#### **1.4) Exequibilidade física**

As quatro soluções apresentadas são fisicamente possíveis de serem construídas, visto que utilizam sistemas já existentes e de simples aquisição.

## **2) PROJETO BÁSICO**

### **2.1) A escolha da melhor solução**

O ponto de partida do projeto básico é escolher entre as soluções sintetizadas no estudo de viabilidade, a melhor solução. Analisando-se cada uma das soluções anteriores destacamos:

- A solução D está descartada pelo fato de se conseguir armazenar/retirar as cargas apenas pelo processo de empilhamento/desempilhamento, o que pode prejudicar a eficiência da atividade em determinadas situações;
- As demais soluções apresentam-se semelhantes, diferenciando-se apenas em alguns sistemas que executam as mesmas operações;
- Avaliando-se as soluções A, B, C quanto aos aspectos construtivos e funcionais, constatamos que a solução A apresenta o sistema de transmissão mais simples, eliminando muitas peças que são utilizadas nas outras duas;
- O deslocamento lateral da base também será feita de forma mais eficiente através de potência hidráulica, eliminando-se a montagem na mesma de engrenagens, motores, redutores, os quais seriam elevados juntamente com a carga, aumentando as dimensões da plataforma de elevação. Isto nos leva a optar pela instalação de uma unidade hidráulica para a alimentação de um cilindro que realizará os movimentos da base.
- Com a introdução de um sistema hidráulico para o deslocamento lateral da base, a solução mais conveniente para a elevação da mesma é através de um cilindro de grande curso, conforme apresentado na solução A;
- Com relação à aspectos econômicos, não houve possibilidades de se realizar um estudo detalhado dos custos para cada solução em virtude da escassez de tempo e da complexidade dos sistemas os quais apresentam um número muito grande de componentes. Entretanto, como as soluções apresentam-se semelhantes, com iguais especificações de potência e dimensões, concluímos que as variações de custo não serão muito significativas.

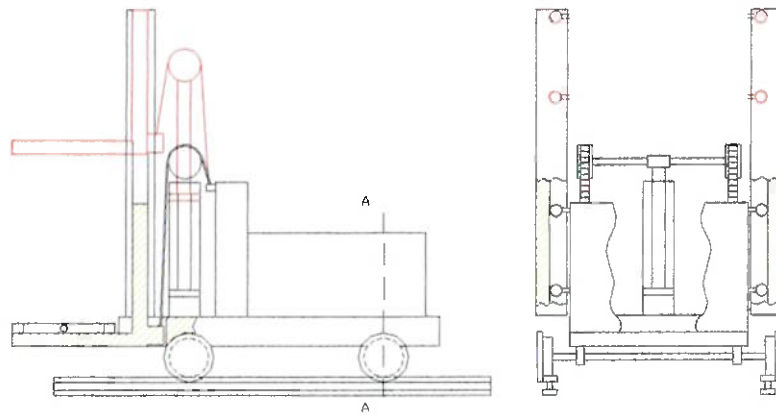
Do exposto, iremos optar pela solução A, considerada a melhor solução apresentada.

O projeto básico será dividido em três partes fundamentais. A primeira parte tratará do projeto mecânico no qual serão apresentados as principais grandezas da unidade móvel, as análises de estabilidade estrutural e escorregamento do eixo de tração, o projeto da transmissão e dos componentes estruturais, bem como as execuções dos desenhos dos sistemas.

A segunda parte apresentará todos os detalhes do projeto hidráulico, desde a implementação do circuito até a especificação de todos os componentes do sistema.

Finalmente, na terceira parte, será apresentado o projeto computacional responsável pela automatização do sistema.

### **Esquema da solução escolhida**

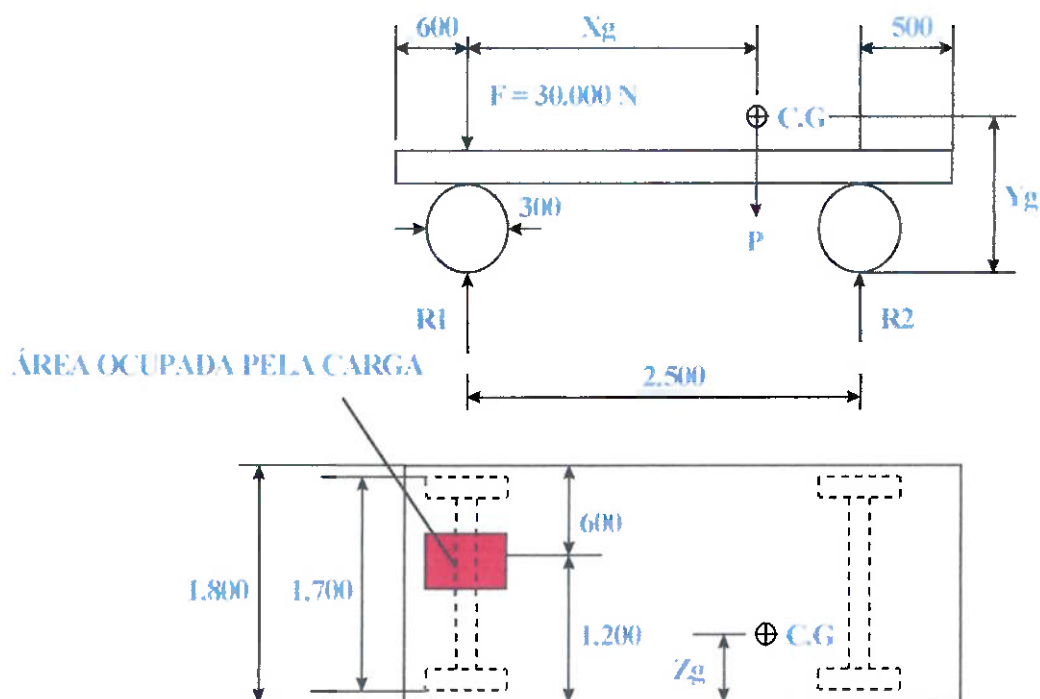


## 2.2) Projeto mecânico

### a) Especificações das grandezas principais da unidade móvel - análise da estabilidade e escorregamento das rodas de tração

- Capacidade de carga nominal: 2.000 Kgf
- Ponto de aplicação da carga: sobre o eixo dianteiro
- Velocidade: 5 m/s
- Diâmetro da roda: 300 mm
- Distância entre eixos: 2.500 mm
- Largura: 1.800 mm
- Bitola: 1700 mm
- Balanço dianteiro: 600 mm
- Balanço traseiro: 500 mm

Admitindo-se uma sobrecarga de 50 %, o que eleva a carga para 3.000 Kgf, tem-se:



$R_1$  e  $R_2$  são as reações nos eixos e  $P$  representa o peso da unidade móvel (sem a carga), determinado através da somatória dos pesos dos componentes do sistema (base, cilindro, guias, motor elétrico, bomba hidráulica, reservatório hidráulico, caixa de transmissão etc.). C.G é o

centro de massa vazio (ponto de aplicação de P) com com coordenadas  $X_g$ ,  $Y_g$  e  $Z_g$ .

Para a determinação de P,  $X_g$ ,  $Y_g$  e  $Z_g$ , as condições de estabilidade (rotação em torno dos eixos x e z) e tracionamento (escorregamento do eixo de tração) devem ser satisfeitas.

O valor de  $Y_g$  não influencia significativamente e é definido em função das dimensões dos componentes. A sua influência está relacionada à transferência de carga no eixo traseiro durante a arrancada, o que eleva o valor da reação, estando a favor da segurança ao escorregamento.

Como a carga F está aplicada sobre o eixo dianteiro, a reação do eixo traseiro independe de seu valor.

Vamos definir  $X_g = 1.500 \text{ mm}$  e calcular P para que não ocorra escorregamento do eixo traseiro. Para isso, precisamos determinar o torque T que é aplicado à roda, o que é obtido em função do motor da unidade.

Vamos admitir a princípio, um motor com potência igual à calculada para o sistema hidráulico, visto que utilizaremos o mesmo motor para desempenhar as funções de acionamento da bomba e movimentação do carro, e verificar o seu desempenho.

O motor calculado para a unidade hidráulica, apresenta as seguintes especificações:

$$n = 1.170 \text{ RPM}$$

$$T = 15 \text{ Kgf.m}$$

$$P = 25 \text{ CV}$$

Para a velocidade de 5 m/s a rotação da roda será:  $n_r = 318,3 \text{ RPM}$

Dessa forma, a redução total será dada por:  $i_t = 3,68$

O torque máximo que se pode aplicar no eixo de tração na arrancada será:

$$T_{\text{eixo}} = T \cdot i_t = 55,2 \text{ Kgf.m} = 552 \text{ N.m}$$

O torque aplicado em cada roda será:  $T_{\text{roda}} = 276 \text{ N.m}$ , se admitirmos um rendimento mecânico de 100% (estando a favor da segurança).

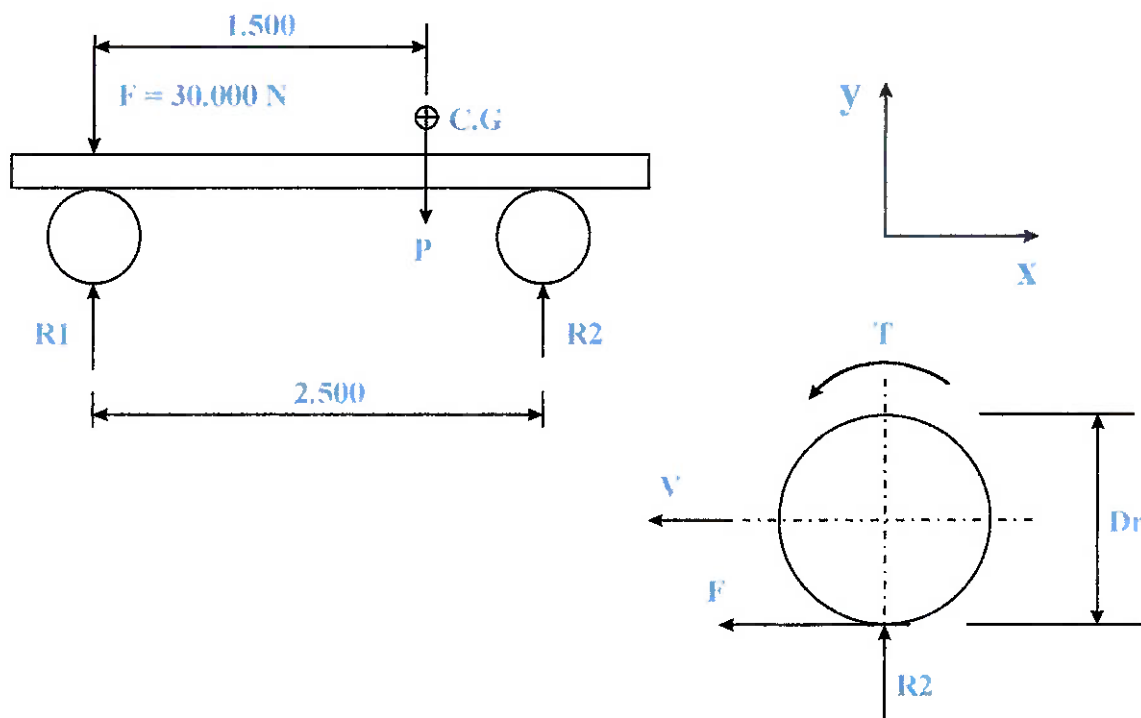
No entanto, pelo fato da carga estar deslocada em relação ao centro do carro, existem duas situações de aplicação de  $R_2$  no eixo traseiro. Vamos admitir que quando o carro está vazio, a carga  $R_2$  está aplicada no centro do eixo, o que nos leva ao seguinte valor de  $Z_g$ :

$$Z_g = 900 \text{ mm}$$

Como a carga está aplicada a uma distância  $Z_c = 1.200$  mm, quando a unidade estiver carregada, o centro de massa do conjunto carro + carga estará localizado dentro da faixa  $900 < Z_g < 1.200$  em função do valor de  $P$ , o que faz com que as reações nas rodas não fiquem iguais. O pior caso de escorregamento será quando o veículo estiver carregado, ocorrendo na roda que estiver com menor carga radial.

Calcularemos portanto um valor de  $R_2$  limite e embutiremos um fator multiplicativo que elevará este valor a fim de compensar a transferência de carga entre as rodas na condição carregado.

Durante a arrancada do carro, o torque aplicado ao eixo, conforme já visto é de 552 N.m.



A força máxima trocada entre a roda e o trilho ( $F$ ) será dada por:

$$F_{\max} = 2 \cdot T / D_r \quad \Rightarrow \quad F_{\max} = 3.680 \text{ N} = F_{\max RD} + F_{\max RE}$$

onde  $F_{\max RD}$  e  $F_{\max RE}$  são as forças tangenciais nas rodas direita e esquerda respectivamente.

O coeficiente de atrito aço/aço é  $\mu = 0,30$ . Logo, para se evitar o escorregamento devemos impôr a seguinte condição:

$$F_{\max} < \mu \cdot R_2$$

Calculando:  **$R_2 > 12.267 \text{ N}$**

No entanto, essa é a condição quando as reações nas rodas são iguais, ou seja,  $R_{2RD} = R_{2RE} = 6.133,5 \text{ N}$ . Com o veículo carregado, teremos  $R_{2RD} > R_{2RE}$ . Vamos portanto, impôr  $R_2 = 18.000 \text{ N}$  e verificar as condições de escorregamento e tombamento para os casos mais críticos. Se houver necessidade, alteraremos o seu valor até atingir uma condição satisfatória.

Dessa forma, pelo equilíbrio, tem-se na condição carregado:

$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow R_2 \times 2,5 = P \times 1,5 \Rightarrow \mathbf{P = 30.000 \text{ N}}$  que representa o peso do carro vazio.

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow \mathbf{R_1 = 42.000 \text{ N}}$$

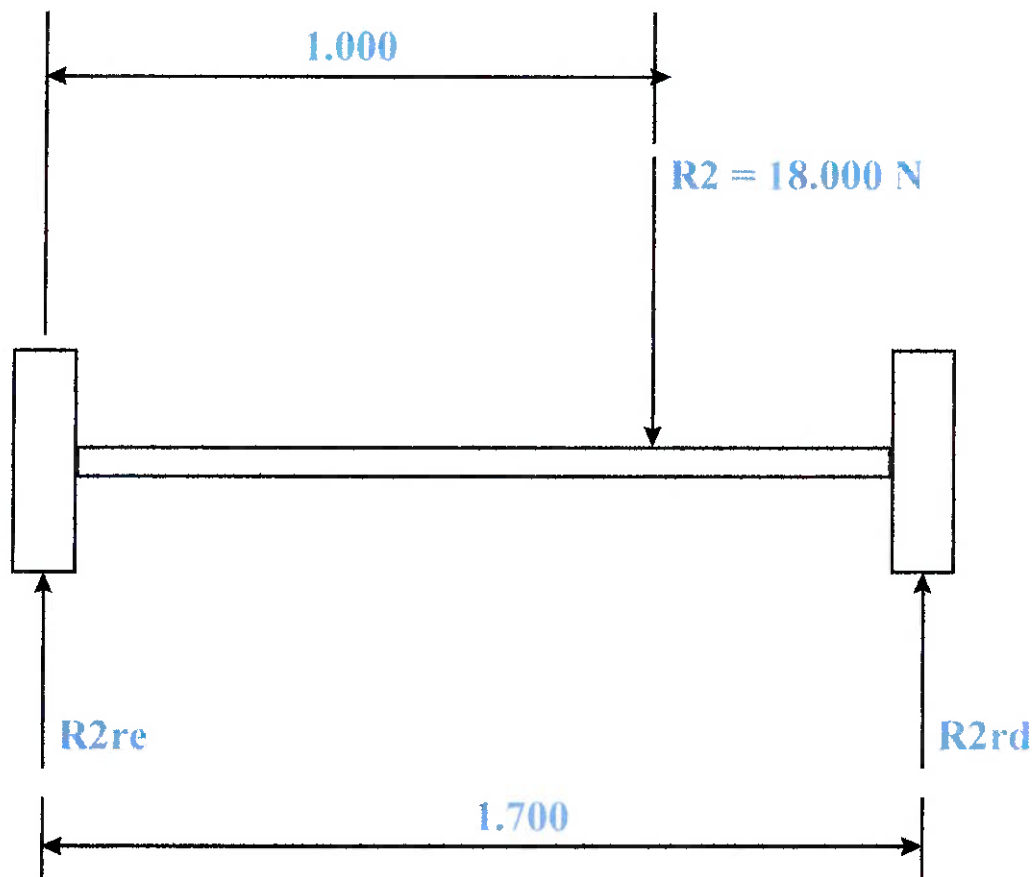
Com este peso, o centro de massa do veículo carregado se altera para :

$$\mathbf{X_{gc}: 60.000 \times X_{gc} = 30.000 \times 0 + 30.000 \times 1.500 \Rightarrow X_{gc} = 750 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{Z_{gc}: 60.000 \times Z_{gc} = 30.000 \times 900 + 30.000 \times 1.200 \Rightarrow Z_{gc} = 1.050 \text{ mm}}$$

Vamos agora calcular a reação na roda traseira esquerda (menor reação).





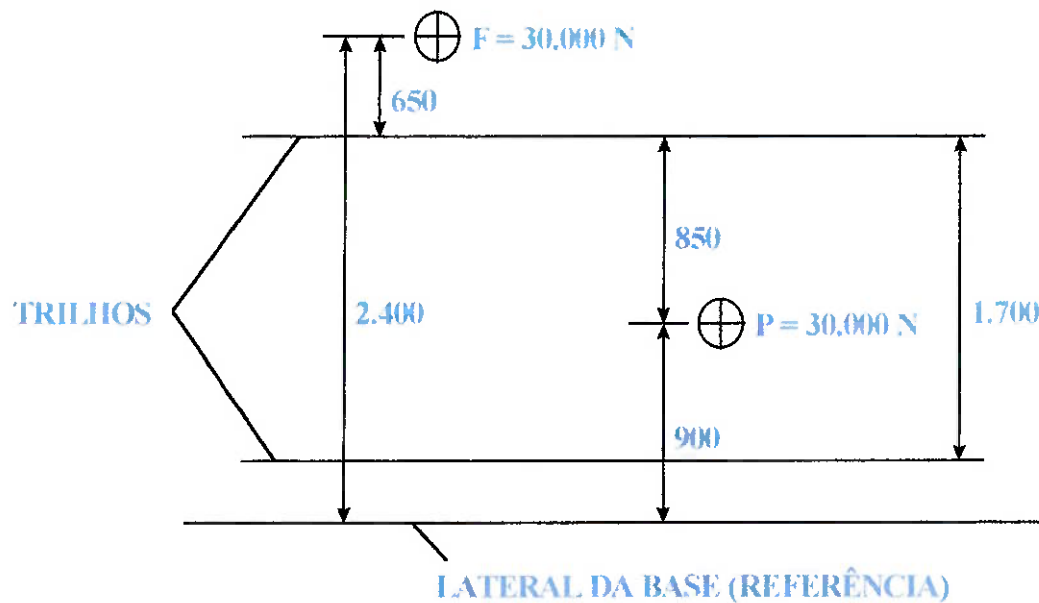
$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow R_{2RD} + R_{2RE} = 18.000$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow R_{2RE} = 7.411,7 \text{ N e } R_{2RD} = 10.588,3 \text{ N}$$

Como para evitar o escorregamento o valor mínimo de  $R_{2RE}$  é 6.133,5 N, conclui-se que para estes valores de  $X_g$ ,  $Z_g$  e  $P$ , a roda tratora não escorregará.

Vamos agora verificar a condição de estabilidade em torno do eixo x. Com a base lateral totalmente deslocada, a carga F estará localizada a 650 mm do trilho. Neste caso, o valor de  $Z_{gc}$  será dado por:

$$Z_{gc}: 60.000 \times Z_{gc} = 30.000 \times 900 + 30.000 \times 2.400 \Rightarrow Z_{gc} = 1.650 \text{ mm}$$

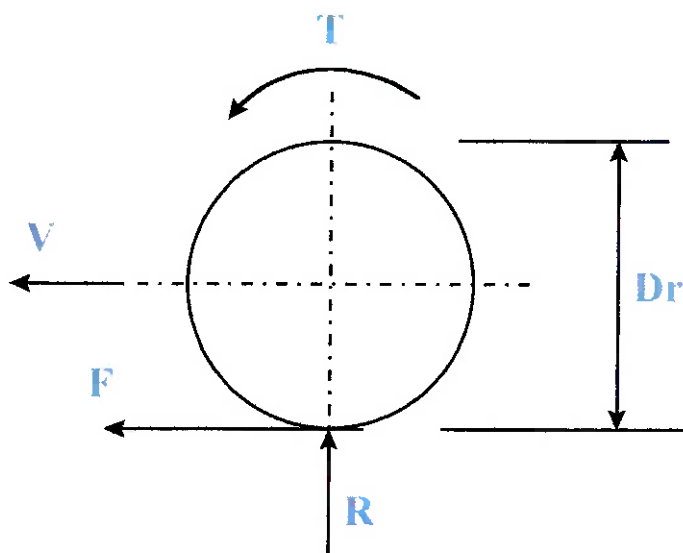


Como  $Z_{gc} < 1700 \text{ mm}$  não haverá rotação em torno do eixo x.

Portanto, conclui-se que a unidade móvel com essas características construtivas satisfaz as condições de estabilidade e escorregamento.

Vamos agora calcular as forças atuantes nas rodas para cada condição possível.

Usaremos a seguinte notação: R (força normal), F (força tangencial) e T (torque). Para as rodas, usaremos 1E (dianteira esquerda), 1D (dianteira direita), 2E (traseira esquerda) e 2D (traseira direita). Para o eixo dianteiro, o torque e a força tangencial são devidos ao atrito de rolamento. O momento de rolamento é dado por:



$M_R = R.f$  onde  $f$  é o coeficiente de atrito de rolamento ( $f=0,5$  mm para aço/aço).

A força tangencial  $F$  é calculada por:

$$F = 2.M_R / D_R$$

Para o eixo traseiro a força máxima  $F$  é calculada a partir do máximo torque que se pode transmitir à roda

$$F = 2.T / D_R$$

onde  $T$  é o torque em cada roda de tração (276 N.m).

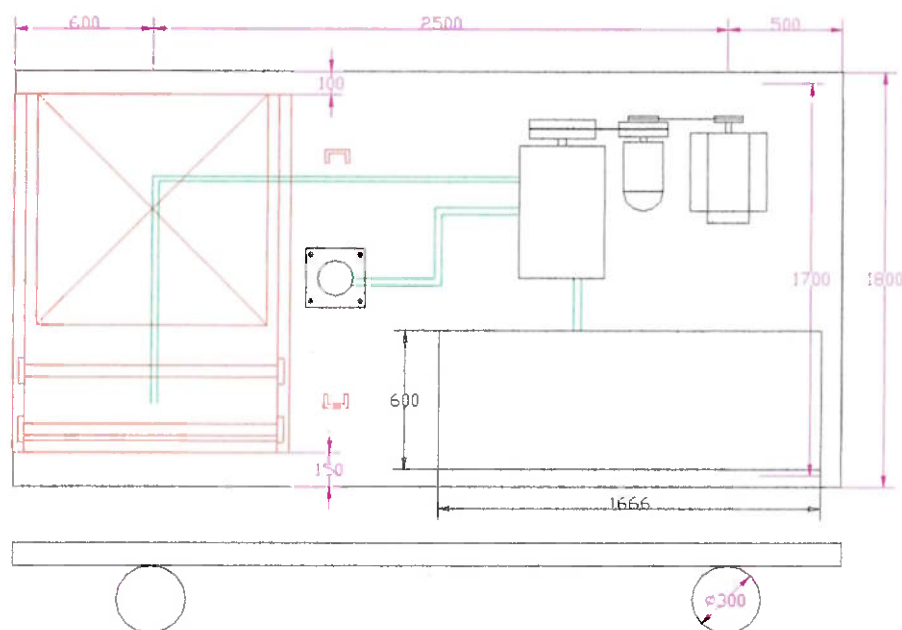
Calculando-se  $R$  pelo equilíbrio de forças e momentos e  $M$  e  $F$  pelas relações acima obtemos:

| CONDIÇÃO                                      | EIXO DIANTEIRO |     |        |        |      |      | EIXO TRASEIRO |        |        |      |      |
|-----------------------------------------------|----------------|-----|--------|--------|------|------|---------------|--------|--------|------|------|
|                                               | Mrd            | Mre | R1d    | R1e    | F1d  | F1e  | T             | R2d    | R2e    | F1d  | F1e  |
| Parado vazio                                  | 0              | 0   | 6.000  | 6.000  | 0    | 0    | 0             | 9.000  | 9.000  | 0    | 0    |
| Parado com carga (3.000Kgf) e base recuada    | 0              | 0   | 24.706 | 17.294 | 0    | 0    | 0             | 10.588 | 7.412  | 0    | 0    |
| Parado com carga (3.000 Kgf) e base deslocada | 0              | 0   | 2.471  | 39.529 | 0    | 0    | 0             | 1.059  | 16.941 | 0    | 0    |
| Em movimento vazio                            | 3              | 3   | 6.000  | 6.000  | 20   | 20   | 276           | 9.000  | 9.000  | 1840 | 1840 |
| Em movimento com carga (3.000Kgf)             | 12,4           | 8,7 | 24.706 | 17.294 | 82,4 | 57,6 | 276           | 10.588 | 7.412  | 1840 | 1840 |

Todo o projeto estrutural das guias, plataforma de elevação, base de deslocamento lateral juntamente com os seus desenhos encontram-se nos anexos 2, 3 e 4 ao final do relatório.

### **b) Projeto da transmissão**

A figura abaixo ilustra o sistema de transmissão da unidade móvel. Detalhes podem ser verificados nos desenhos anexos das polias, engrenagens, eixos e caixa de transmissão.



A seguir será apresentado os cálculos dos componentes principais incluindo:

- definição das relações de transmissão das polias e coroa/pinhão;
- projeto das polias e seleção das correias;
- dimensionamento das engrenagens;
- dimensionamento dos eixos da caixa e seleção dos rolamentos;
- dimensionamento das chavetas;
- dimensionamento dos semi-eixos;

### **1) Definição das relações de transmissão**

- Rotação do motor: 1170 RPM
- Rotação da bomba hidráulica: 1922 RPM
- Rotação da roda: 318,3 RPM

Definindo:

$i_b$ : relação de transmissão das polias motor/bomba;

$i_c$ : relação de transmissão das polias motor/caixa de transmissão;

$i_{cp}$ : relação de transmissão coroa/pinhão.

Logo:  $i_b = 1170/1922 = 0,6087$

A relação de transmissão total entre motor e roda é dada por:

$$i_t = i_c \times i_{cp} = 1170/318,3 = 3,6758$$

Admitindo uma relação coroa/pinhão de  $i_{cp} = 3$ , teremos  $i_c = 1,2252$

Resumindo:

$$i_b = 0,6087$$

$$i_c = 1,2252$$

$$i_{cp} = 3$$

## II) Projeto das polias e seleção das correias

Será utilizado o procedimento de cálculo recomendado pela GOODYEAR. Todas as tabelas utilizadas foram consultadas do catálogo do fabricante e as dimensões das polias (vide desenhos anexos ao fim do relatório) foram retiradas de uma tabela dimensional da **apostila de dimensionamento de polias** do prof. Boris Zampese.

### Polias motor/bomba hidráulica

#### a) Potência projetada

$$H_{p_p} = H_{p_m} \times f_s \quad \text{onde } H_{p_p} \text{ é a potência projetada}$$
$$H_{p_m} \text{ é a potência do motor}$$
$$f_s \text{ é o fator de serviço}$$

Da tabela 3A temos: Bomba de engrenagens:  $f_s = 1,2$

Da tabela 2 (adicional) temos: + 0,2 devido à polia motriz ter o diâmetro maior que a polia movida.

$$\text{Logo: } f_s = 1,4 \Rightarrow H_{p_p} = 25 \times 1,4 = 35 \text{ HP}$$

**b) Seleção do perfil da correia**

De acordo com a tabela 5:

Perfil B - dimensões nominais: largura superior:  $21/32'' = 17 \text{ mm}$   
espessura:  $13/32'' = 11 \text{ mm}$   
ângulo:  $42^\circ$

**c) Diâmetro nominal da polia menor**

Da tabela 5: de 5" a 8"

Adotaremos  $d = 6'' = 152,4 \text{ mm}$

**d) Diâmetro nominal da polia maior:**

$$D = 9,857'' = 250,4 \text{ mm}$$

**e) Verificação da velocidade da correia**

$$V = 0,262 \times D \times n = 0,262 \times 9,857 \times 1170 = 3.021,6 \text{ ft/min} < 6.000 \text{ ft/min (OK)}$$

**f) Cálculo da distância entre centros e comprimento da correia:**

Estimativa:

$$A_1 = D = 9,857''$$

$$A_2 = (D + 3d)/2 = 13,929''$$

$$A_2 > A_1 \Rightarrow A_0 = A_2$$

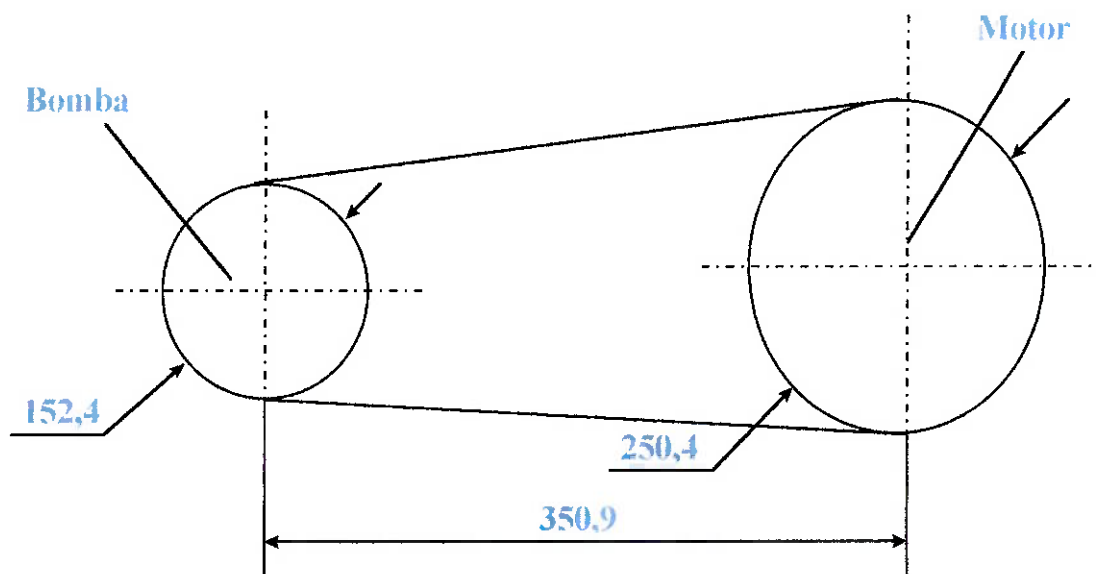
O comprimento da correia será:

$$L_0 = 2A + \pi(D + d)/2 + (D - d)^2/4A \Rightarrow L_0 = 53,03''$$

Da tabela 13: nr. de série GOODYEAR: B-51  $L = 52,8'' = 1.340 \text{ mm}$

Corrigindo-se o valor da distância entre centros tem-se:

$$A = A_0 + (L - L_0)/2 \Rightarrow A = 13,814'' = 350,9 \text{ mm}$$



**g) Cálculo do número de correias**

Da tabela 10 (perfil B) tem-se a capacidade em HP/correia com arco de contato de  $180^\circ$ .

Rotação da polia menor: 1922 RPM  $\Rightarrow$  HP/correia =  $6,36 + 0,67 = 7,03$

Mas  $\alpha < 180^\circ$

$$\alpha = 180 - (D - d) \times 60 / A = 163,25^\circ$$

Tabela 7: fator de correção do arco de contato:  $F_{ca} = 0,96$

Tabela 8: fator de correção de comprimento:  $F_{lp} = 0,88$

Logo:  $H_{p_{ef}} = 7,03 \times 0,96 \times 0,88 = 5,94$

O número de correias é calculado por:

$$j = H_{p_p} / H_{p_{ef}} = 35 / 5,89 = 5,89$$

Logo precisaremos de **6 correias**

## **Polias motor /caixa de transmissão**

### **a) Potência projetada**

$$H_{p_p} = H_{p_m} \times f_s \quad \text{onde } H_{p_p} \text{ é a potência projetada}$$
$$H_{p_m} \text{ é a potência do motor}$$
$$f_s \text{ é o fator de serviço}$$

Da tabela 3A temos: eixos de transmissão:  $f_s = 1,4$

$$H_{p_p} = 25 \times 1,4 = 35 \text{ HP}$$

### **b) Seleção do perfil da correia**

De acordo com a tabela 5:

Perfil C - dimensões nominais: **largura superior:  $7/8'' = 22 \text{ mm}$**   
**espessura:  $17/32'' = 14 \text{ mm}$**   
**ângulo:  $42^\circ$**

### **c) Diâmetro nominal da polia menor**

Da tabela 5: de  $7''$  a  $13''$

Adotaremos  $d = 7'' = 177,8 \text{ mm}$

### **d) Diâmetro nominal da polia maior:**

$$D = 8,576'' = 217,8 \text{ mm}$$

### **e) Verificação da velocidade da correia**

$$V = 0,262 \times D \times n = 0,262 \times 7 \times 1170 = 2.145,8 \text{ ft/min} < 6.000 \text{ ft/min (OK)}$$

### **f) Cálculo da distância entre centros e comprimento da correia:**

Estimativa:

$$A_1 = D = 8,576''$$
$$A_2 = (D+3d)/2 = 14,788''$$



$$A_2 > A_1 \Rightarrow A_0 = A_2$$

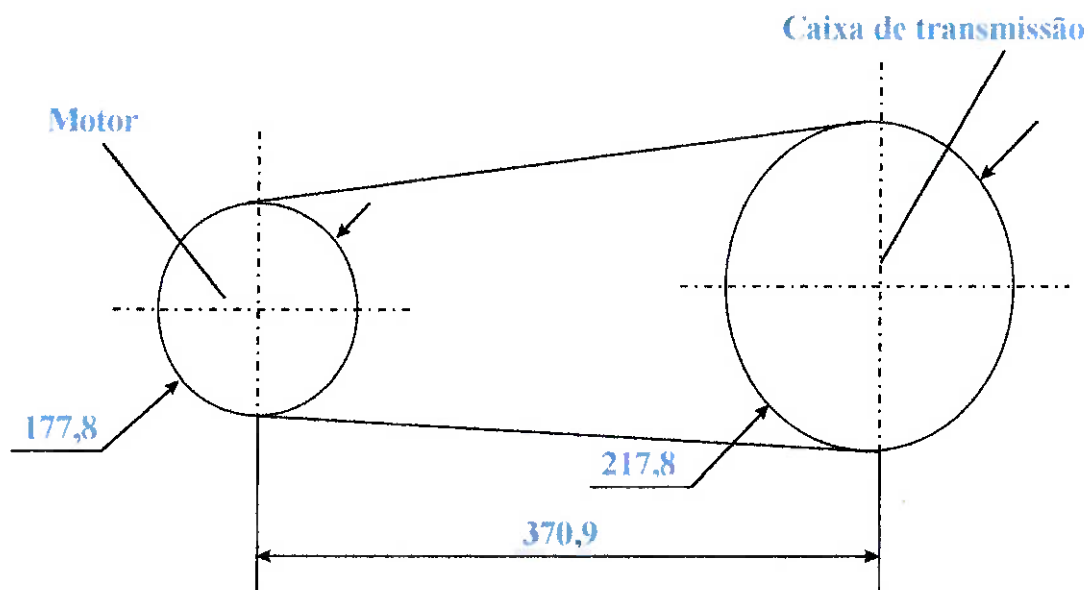
O comprimento da correia será:

$$L_0 = 2A + \pi(D + d)/2 + (D - d)^2/4A \Rightarrow L_0 = 54,08''$$

Da tabela 13: nr. de série GOODYEAR: C-51  $L = 53,9'' = 1.369 \text{ mm}$

Corrigindo-se o valor da distância entre centros tem-se:

$$A = A_0 + (L - L_0)/2 \Rightarrow A = 14,603'' = 370,9 \text{ mm}$$



#### g) Cálculo do número de correias

Da tabela 11 (perfil C) tem-se a capacidade em HP/correia com arco de contato de  $180^\circ$ .

Rotação da polia menor: 1.170 RPM  $\Rightarrow$  HP/correia =  $7,02 + 0,75 = 7,77$

Mas  $\alpha < 180^\circ$

$$\alpha = 180 - (D - d) \times 60 / A = 173,52^\circ$$

Tabela 7: fator de correção do arco de contato:  $F_{ca} = 0,99$

Tabela 8: fator de correção de comprimento:  $F_{lp} = 0,82$

Logo:  $H_{p_{ef}} = 7,77 \times 0,99 \times 0,82 = 6,31$

O número de correias é calculado por:

$$j = H_{p_p}/H_{p_{ef}} = 35/6,31 = \mathbf{5,55}$$

Logo precisaremos de **6 correias**

### **III) Dimensionamento das engrenagens da caixa de transmissão**

Será utilizado o método de Ernst que procura minimizar o volume do pinhão.

Tipo de engrenagens: cilíndricas de dentes retos

Ângulo de pressão:  $20^\circ$

Relação de transmissão:  $i_{cp} = 3$

Material da coroa: SAE 4340

Material do pinhão: SAE 4340

Rotação do pinhão: 954,94 RPM

Rotação da coroa: 318,31 RPM

Torque no eixo do pinhão:  $18,38 \text{ Kgf.m} = 1.838 \text{ Kgf.cm}$

#### **a) Verificação ao “PITTING”(fadiga superficial no dente)**

Para o pinhão, a pressão admissível a 954,94 RPM é:

$$P_{adm} = 7.350 \text{ Kgf/cm}^2$$

Para a coroa, a pressão admissível a 318,31 RPM é:

$$P_{adm} = 8.400 \text{ Kgf/cm}^2$$

Logo, o pinhão é o limitante.

Calculando, temos:

$$bd^2 = 5.720.000 \frac{M_t}{P_{adm}^2} f(i) f_s$$

onde:

b: largura do dente  
 d: diâmetro primitivo  
 $M_t$ : torque no eixo  
 $P_{adm}$ : pressão admissível  
 fs: fator de serviço (fs = 1,25)  
 f(i): função da relação de transmissão  $f(i) = \frac{i + 1}{i + 0,14}$

Para engrenagem entre mancais recomenda-se:

$$b/d = 1,2$$

Calculando, temos:

$$1,2 \cdot d^3 = 309,86 \text{ cm}^3 \Rightarrow d_p = 6,37 \text{ cm} = 63,7 \text{ mm}$$

$$b_p = 1,2 \times d_p = 7,64 \text{ cm} = 76,4 \text{ mm}$$

Normalizando, temos:

$$d = Z \times m \quad \text{onde: } Z = \text{nr de dentes}$$

$$m = \text{módulo}$$

Como tivemos problemas de interferência do tubo de apoio com a polia, fomos obrigados a superdimensionar as engrenagens a fim de aumentar a distância entre os eixos

$$\text{Para } Z_p = 23 \text{ dentes e } m = 4 \text{ temos } d_p = 92 \text{ mm}$$

Como  $i_{cp} = 3$  resulta:

$$Z_c = 69 \text{ dentes e } d_c = 276 \text{ mm } (m = 4)$$

## b) Verificação à flexão no dente

Para o material SAE 4340, a tensão admissível é  $\sigma_{adm} = 1.700 \text{ Kgf/cm}^2$

### • Pinhão:

$$\sigma_p = (F_t \cdot q \cdot fs) / (b \cdot m) \quad \text{onde:}$$

$F_t$  é a força tangencial (Kgf)

$q$  é o fator de forma (função do número de dentes)

$f_s$  é o fator de serviço

$b$  é a largura do dente

$m$  é o módulo

Calculando temos:  $F_t = (2 M_t)/d_p = 400 \text{ Kgf}$

$$q = 32 \quad f_s = 1,25 \quad b = 7,64 \text{ cm} \quad m = 4$$

$$\sigma_p = (400 \times 32 \times 1,25)/(7,64 \times 4) = 523,6 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- **Coroa**

$$q = 27 \quad f_s = 1,25 \quad b = 7,14 \text{ cm} \quad m = 4$$

$$\sigma_p = (400 \times 27 \times 1,25)/(7,14 \times 4) = 472,7 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ (OK)}$$

Portanto, o dimensionamento está completado

- **Pinhão**       $d_p = 92 \text{ mm}$      $b_p = 76,4 \text{ mm}$      $Z_p = 23 \text{ dentes}$

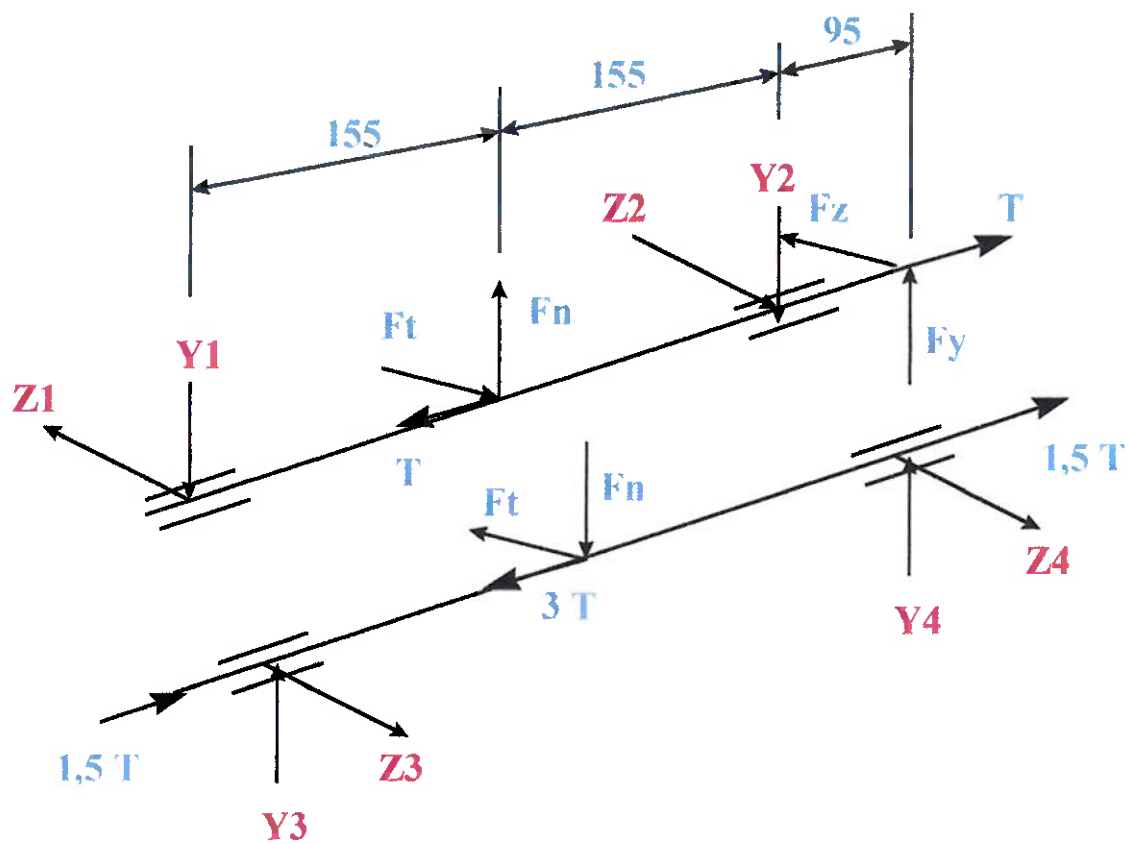
- **Coroa**       $d_c = 276 \text{ mm}$      $b_c = 71,4 \text{ mm}$      $Z_c = 69 \text{ dentes}$

Os desenhos das engrenagens encontram-se no anexo 4 ao fim do relatório.

#### **IV) Dimensionamento dos eixos da caixa de transmissão**

Analisando-se o desenho da caixa de transmissão (anexo 4), pode-se tirar as dimensões lineares dos eixos e o ponto de aplicação das forças

## Carregamento

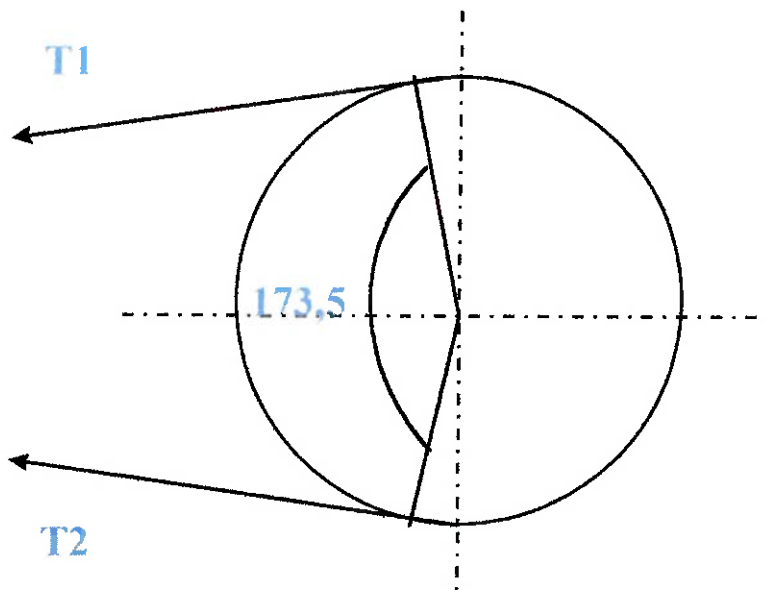


$$T = 183,8 \text{ N.m}$$

$$F_t = 3.995,6 \text{ N}$$

$$F_n = F_t \operatorname{tg} \alpha = 3.995,6 \operatorname{tg} 20^\circ = 1.454,3 \text{ N}$$

Y e Z são as reações nos mancais e  $F_y$  e  $F_z$  são as forças devido à polia.



$$T_2 > T_1$$

$$\alpha = 173,5^\circ$$

$$\mu = 0,31$$

$$\delta = 3,24^\circ$$

$$T_2/T_1 = e^{\mu \alpha} \Rightarrow T_2 = 2,56 T_1 \quad (1)$$

$$(T_2 - T_1) \times 0,1089 = 183,8 \quad (2)$$

Combinando 1 e 2 temos:

$$T_1 = 1.081,9 \text{ N}$$

$$T_2 = 2.769,7 \text{ N}$$

As forças  $F_y$  e  $F_z$  são dadas por:

$$F_y = (T_2 - T_1) \sin \delta = 95,4 \text{ N}$$

$$F_z = (T_2 + T_1) \cos \delta = 3.845,4 \text{ N}$$

## Eixo de entrada

Através do equilíbrio de forças e momentos, conseguimos calcular as reações nos mancais

$$Y_1 = 697,9 \text{ N}$$

$$Y_2 = 851,8 \text{ N}$$

$$Z_1 = 3.176,5 \text{ N}$$

$$Z_2 = 3.026,5 \text{ N}$$

A secção crítica é a secção onde é montada a engrenagem. Os esforços internos solicitantes são:

$$T = 183,8 \text{ N.m}$$

$$M_y = 492,36 \text{ N.m}$$

$$M_z = 108,17 \text{ N.m}$$

$$\text{Logo: } T = 183,8 \text{ N.m} \quad \text{e} \quad M = [M_y^2 + M_z^2]^{1/2} = 504,1 \text{ N.m}$$

Para o dimensionamento, utilizaremos a expressão fornecida pela ASME, que no caso de eixos submetidos a flexo-torção é:

$$d^3 = \frac{16}{\pi \sigma_p} [(K_m M)^2 + (K_t T)^2]^{1/2}$$

Onde:  $K_m$  é o coeficiente de carregamento à flexão  
 $K_t$  é o coeficiente de carregamento à torção  
 $\sigma_p$  é a tensão de serviço

$\sigma_p = \min [0,18\sigma_r ; 0,30\sigma_e]$  onde  $\sigma_r$  e  $\sigma_e$  são respectivamente as tensões de ruptura e escoamento do material.

A norma recomenda ainda a redução de 10% do valor de  $\sigma_p$  no caso da existência de chaveta na secção crítica devido à introdução de concentração de tensão (que corresponde ao nosso caso)

Vamos utilizar como material do eixo SAE 1050 que apresenta as seguintes propriedades:

$$\sigma_r = 630 \text{ Mpa} \Rightarrow 0,18\sigma_r = 113,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = 350 \text{ Mpa} \Rightarrow 0,30\sigma_r = 105 \text{ Mpa}$$

$$\text{Portanto: } \sigma_p = 105 - 0,1 \times 105 = 94,5 \text{ Mpa}$$

Para um carregamento dinâmico (eixos girantes) os valores dos coeficientes são:

$$K_m = 1,5 \text{ e } K_t = 1,2$$

Calculando, temos:

$$d_e = 35 \text{ mm}$$

Para o projeto completo do eixo, resta dimensionar as chavetas e seleccionar os rolamentos

### Rolamentos

Vida estimada: 20.000 h

Carga nos rolamentos:  $P = 3.252,3 \text{ N}$  para o rolamento  $R_1$  e  $P = 3.105,8 \text{ N}$  para o rolamento  $R_2$ . Como as cargas são praticamente iguais, os rolamentos serão os mesmos.

Calculando-se a capacidade de carga dinâmica, temos:

$$L_{10} = \frac{10^6 (C/P)^3}{60n} \Rightarrow C = 34.033,7 \text{ N}$$

onde:  $L_{10}$  é a vida em horas  
 $C$  é a capacidade dinâmica em N  
 $P$  é a carga radial no rolamento em N  
 $n$  é a rotação do eixo em RPM

O expoente 3 da expressão  $(C/P)$  é devido à utilização de rolamento de esferas.

Consultando-se o catálogo do fabricante SKF utilizaremos um rolamento autocompensador de esfera com diâmetro externo de 90mm, diâmetro interno de 30mm, largura de 28 mm e capacidade dinâmica nominal de 59.200 N.

Portanto, na região do assento dos rolamentos, nosso eixo terá um rebaixo, com diâmetro de 30mm.

### Chavetas

Temos duas chavetas a serem calculadas: a chaveta da polia e a chaveta do pinhão. Utilizaremos chavetas paralelas.



Para a chaveta da polia temos:

$$d = 30\text{mm}$$

$$h = 7\text{mm}$$

$$b = 8\text{ mm}$$

$$\text{profundidade no cubo: } 3\text{ mm}$$

$$\text{profundidade no eixo: } 4,1\text{ mm}$$

$$\sigma_c = 500\text{ Mpa}$$

$$\tau = 540\text{ Mpa}$$

onde :

d: diâmetro do eixo

h: altura da chaveta

b: largura da chaveta

$\sigma_c$ : tensão de compressão admissível

$\tau$ : tensão de cisalhamento admissível

O valor do comprimento da chaveta é dado por:

$L \geq \max[L_1; L_2]$ , onde:

$$L_1 > (4M_t)/(d.h.\sigma_c) \quad \text{dimensionamento ao esmagamento}$$

$$L_2 > (2M_t)/(b.d.\tau) \quad \text{dimensionamento ao cisalhamento}$$

onde  $M_t$  é o torque no eixo (183,8 N.m)

Calculando:

$$L_1 > 7\text{ mm}$$

$$L_2 > 2,84\text{ mm}$$

Tomaremos  **$L = 10\text{ mm}$**

Para a chaveta do pinhão, temos:

$$d = 35\text{mm}$$

$$h = 8\text{mm}$$

$$b = 10\text{ mm}$$

$$\text{profundidade no cubo: } 3,4\text{ mm}$$

$$\text{profundidade no eixo: } 4,7\text{ mm}$$

$$\sigma_c = 500\text{ Mpa}$$

$$\tau = 540\text{ Mpa}$$

**$L = 250 \text{ mm}$**  (não há necessidade de fazer a verificação)

### **Eixo de saída**

Utilizando-se o mesmo procedimento de cálculo, temos:

#### **Reações nos mancais**

$$Y_3 = 275,7 \text{ N}$$

$$Y_4 = 275,7 \text{ N}$$

$$Z_3 = 1.997,8 \text{ N}$$

$$Z_4 = 1.997,8 \text{ N}$$

#### **Secção crítica e esforços solicitantes**

A secção crítica é a secção central onde é montada a engrenagem. Os esforços internos solicitantes são:

$$M = 329,5 \text{ N.m}$$

$$T = 551,4 \text{ N.m}$$

Utilizando-se o mesmo material do eixo de entrada (SAE 1050), chegamos ao seguinte valor do diâmetro do eixo:

$$\mathbf{d_s = 35,5 \text{ mm}}$$

#### **Rolamentos**

Os rolamentos  $R_3$  e  $R_4$  também são submetidos à mesma carga radial dada por:

$$P = 2.016,7 \text{ N}$$

Para rolamento de esfera com vida de 20.000 horas temos:

$$C = 14.632,5$$

Consultando-se o catálogo do fabricante SKF utilizaremos um rolamentos rígidos de esferas, uma carreira.

Para o rolamento  $R_3$ , a região do assento apresenta diâmetro de 30mm. O rolamento selecionado apresenta as seguintes características:

Diâmetro externo: 62 mm  
Diâmetro interno: 30 mm  
Largura: 16 mm  
Capacidade dinâmica nominal: 19.500 N

Para o rolamento  $R_4$ , a região do assento apresenta um diâmetro de 35mm. O rolamento selecionado apresenta as seguintes características:

Diâmetro externo: 62 mm  
Diâmetro interno: 35 mm  
Largura: 14 mm  
Capacidade dinâmica nominal: 15.900 N

### Chaveta e entalhados

Para a fixação da coroa, utilizaremos uma chaveta paralela com as seguintes dimensões:

$d = 37\text{mm}$   
 $h = 8\text{mm}$   
 $b = 10\text{ mm}$   
profundidade no cubo: 3,4 mm  
profundidade no eixo: 4,7 mm  
 $\sigma_c = 500\text{ Mpa}$   
 $\tau = 540\text{ Mpa}$

O comprimento  $L$  é calculado através das expressões já mencionadas anteriormente.

$L_1 > 14,9\text{ mm}$   
 $L_2 > 5,5\text{ mm}$

Utilizaremos  $L = 20\text{ mm}$

Os entalhados internos nas pontas dos eixos apresentam as seguintes dimensões:

Diâmetro externo: 36 mm  
Diâmetro interno: 32 mm  
Largura: 10 mm  
Número de dentes do entalhado: 11  
Comprimento: 30 mm

(Cálculo conforme metodologia apresentada no livro **DIMENSIONAMENTO** do prof. **BORIS ZAMPESE**).

### **Semi-eixos**

Os semi-eixos são submetidos apenas à torção.

$$T = 275,7 \text{ N.m}$$

Material: SAE 1050 ( $\sigma_p = 94,5 \text{ Mpa}$ )

$$K_t = 1,2$$

Calculando:

$$d_{se}^3 = (16 K_t T) / \pi \sigma_p \Rightarrow \mathbf{d_{se} = 26,1 \text{ mm}}$$

Como iremos utilizar rolamentos de esfera nas extremidades do semi-eixo e o rolamento que apresenta diâmetro do furo imediatamente superior a 26,1 mm é 30mm, utilizaremos na região do assento um diâmetro de 30 mm. A outra extremidade será montada no entalhado do eixo de saída da caixa de transmissão e portanto, apresentará um diâmetro de 34 mm no corpo e 36 mm no entalhado.

O anexo 4 ao fim do relatório apresenta os desenhos detalhados dos eixos dimensionados.

## **2.3) Projeto hidráulico**

### **a) Introdução**

O sistema hidráulico em questão será responsável por elevar ou abaixar a carga bem como pelo deslocamento lateral da mesma para o seu armazenamento ou remoção. De posse do conhecimento destas funções, o primeiro passo a ser realizado é a idealização de um circuito com os seus principais elementos que as atendam de forma simples e eficiente. Em seguida, conhecendo-se e definindo-se as variáveis do projeto (níveis de esforços, cursos dos cilindros, velocidades de acionamento etc.), temos condições de dimensionar os componentes do sistema e, desta forma, selecioná-los de acordo com as especificações que devam atender. Finalmente, pode-se montar o sistema na unidade móvel, unindo-se as diferentes partes que compõe o projeto.

O sistema eletrônico será responsável pelo controle dos cursos dos cilindros hidráulicos para que todos os movimentos realizados sejam feitos de forma automática a partir de um comando do operador.

Nesta seção, será apresentada apenas os detalhes do projeto hidráulico em si, com a sua implementação e formulação matemática para a seleção de componentes disponíveis no mercado. Detalhes relativos ao projeto mecânico estrutural e ao projeto eletrônico estão localizados nas suas respectivas seções ao longo deste trabalho. Entretanto, toda vez que houver a necessidade de referenciar algo relativo a estes assuntos em virtude do aparecimento de interfaces com a parte hidráulica, uma breve descrição será feita com o objetivo de levar o leitor a um fácil entendimento.

### **b) Etapas do projeto**

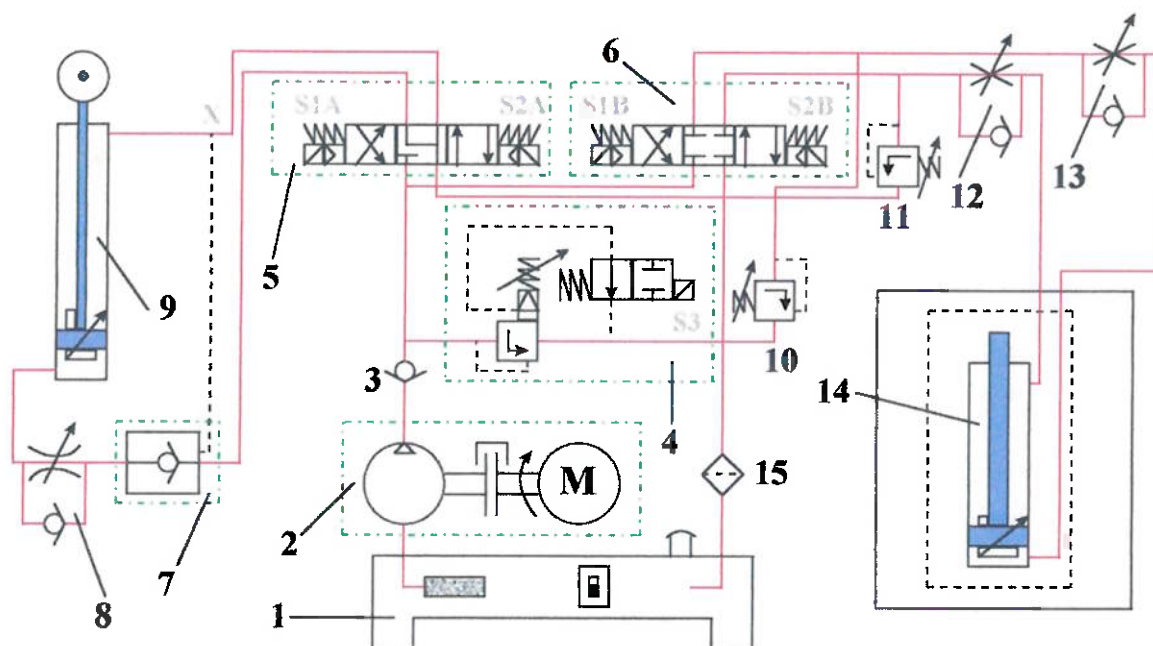
Conforme já mencionado, o projeto hidráulico baseia-se nas seguintes etapas fundamentais:

- implementação do circuito hidráulico;
- dimensionamento e seleção dos componentes;
- montagem do sistema na unidade móvel.

### **c) Implementação do circuito hidráulico**

O esquema a seguir mostra o circuito hidráulico do sistema. Os elementos que o compõem e que estão representados no mesmo foram definidos em virtude da análise de variáveis hidráulicas a qual será apresentada com detalhes na parte relativa ao dimensionamento e seleção dos componentes.

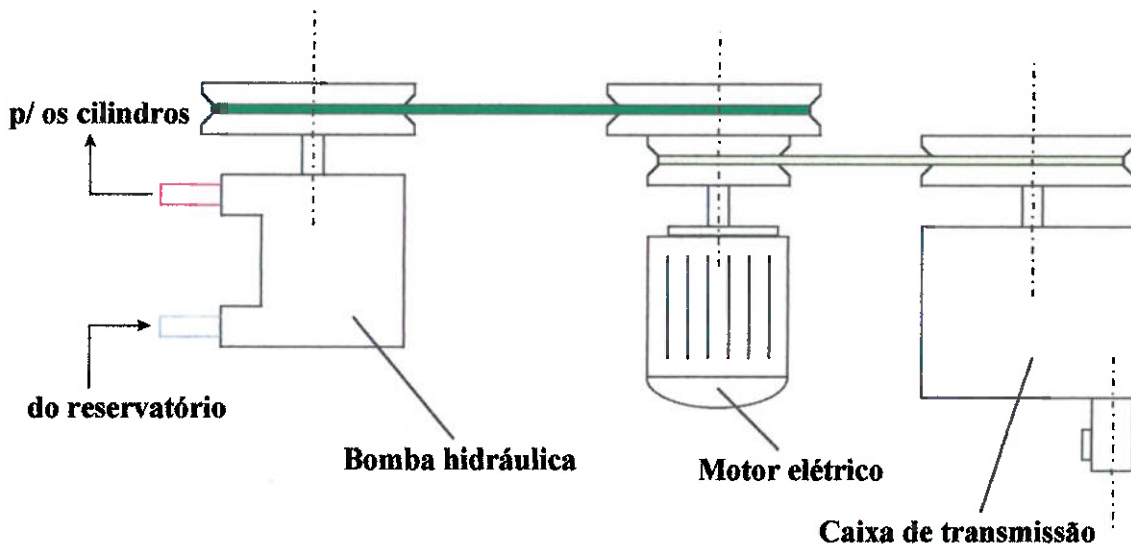
## ESQUEMA DO CIRCUITO HIDRÁULICO



1. Reservatório hidráulico
2. Bomba hidráulica
3. Válvula de retenção simples
4. Válvula limitadora de pressão pré-operada com descarga por solenóide e regulagem manual
5. Válvula direcional 4/3 pré-operada por solenóide e controlada hidraulicamente (centragem por mola)
6. Válvula direcional 4/3 pré-operada por solenóide e controlada hidraulicamente (centragem por mola)
7. Válvula de retenção com desbloqueio hidráulico (piloto externo e dreno interno)
8. Válvula reguladora de vazão não compensada e retenção (controle da velocidade de abaixamento da carga)
9. Cilindro de dupla ação com amortecimento de fim de curso (cilindro de elevação / abaixamento da carga)
10. Válvula limitadora de pressão com comando de operação próprio e regulagem manual
11. Válvula limitadora de pressão com comando de operação próprio e regulagem manual
12. Válvula reguladora de vazão com pressão compensada e retenção (controle da velocidade de retorno da base)
13. Válvula reguladora de vazão com pressão compensada e retenção (controle da velocidade de avanço da base)

14. Cilindro de dupla ação com amortecimento de fim de curso (cilindro de deslocamento lateral da carga)  
15. Filtro

#### d) Acionamento da bomba hidráulica



#### e) Descrição do funcionamento do sistema

Conforme já mencionado, a unidade hidráulica tem por finalidade efetuar os movimentos de elevação / abaixamento da carga, bem como o movimento de deslocamento lateral da mesma. Com o objetivo de se utilizar apenas um motor elétrico para as funções de acionamento da bomba e movimentação da unidade móvel, será acoplado neste, uma polia dupla cujas correias transmitem potência para a bomba e para a caixa de transmissão. É importante observar porém que, não havendo necessidade de movimentar os cilindros com o carro em movimento, o motor praticamente sempre transmitirá toda a sua potência para cada uma das funções. Com o carro em movimento, a bomba será acionada apenas para circular o fluido livremente sem resistência e consumindo mínima potência. Com o movimento dos cilindros, a caixa de transmissão encontrar-se-á em uma posição neutra, consumindo energia apenas devido à movimentação das massas inerciais rotativas (rolamentos, eixos e engrenagens) e dessa forma, o motor transmitirá praticamente toda a potência para a unidade hidráulica. Assim, o motor deverá ser selecionado a fim de atender ambas as funções com eficiência. A atuação das duas funções simultaneamente é inviável e o sistema eletrônico de controle atuará no sentido de impedir este fato.

O sistema eletrônico projetado controla a energização dos solenóides S1A, S2A, S1B, S2B e S3 das válvulas 4,5 e 6 no sentido de efetuar automaticamente a colocação ou retirada da carga requisitada. Os detalhes do funcionamento e sequência dos

movimentos para estas tarefas serão apresentados com detalhes no projeto eletrônico deste sistema.

Com relação ao sistema hidráulico apresentado, 3 situações podem ocorrer:

- nenhum dos cilindros é acionado e o fluxo é desviado ao reservatório hidráulico;

- apenas o cilindro de elevação / abaixamento é acionado (cilindro 9);
- apenas o cilindro de deslocamento lateral é acionado (cilindro 14).

Nota-se que o acionamento dos 2 cilindros simultaneamente é desnecessário e inviável e portanto, o sistema eletrônico projetado também deverá evitar esta situação.

A seguir será explicado o funcionamento em cada uma das situações possíveis.

- Com todos os solenóides desligados, todo o fluxo gerado pela bomba circula sem resistência, passando livremente pela válvula 4 e retornando ao reservatório.
- **Elevação da carga:** acionando-se os solenóides S3 da válvula 4 e S2A da válvula 5, o fluxo atinge a câmara do fundo do cilindro 9, avançando-o. A pressão máxima de trabalho será regulada na válvula limitadora de pressão (válvula 4). Ao parar a carga a uma determinada altura, esta não retornará pela ação da gravidade devido ao bloqueio hidráulico proporcionado pela válvula 7.
- **Abaixamento da carga:** acionando-se os solenóides S3 da válvula 4 e S1A da válvula 5, o fluxo atinge a câmara da parte superior do cilindro 9, retornando-o. O retorno é possível devido ao desbloqueio hidráulico proporcionado pela válvula 7 pilotada, através da pressurização em X. A válvula reguladora de vazão não compensada (válvula 8), age no sentido de estrangular a passagem do fluido, regulando a velocidade de retorno do cilindro e impedindo uma descida acelerada da carga.
- **Deslocamento lateral de avanço:** acionando-se os solenóides S3 da válvula 4 e S2B da válvula 6, o fluxo atinge o fundo do cilindro 14, avançando-o. A pressão máxima de trabalho será regulada na válvula limitadora de pressão (válvula 10), a qual será ajustada para um nível de pressão inferior à pressão regulada pela válvula 4. A velocidade de avanço será ajustada através da válvula reguladora de vazão com compensação de pressão (válvula 13).
- **Deslocamento lateral de recuo:** acionando-se os solenóides S3 da válvula 4 e S1B da válvula 6, o fluxo atinge a outra câmara do cilindro 14, retornando-o. Da mesma forma, a pressão máxima de trabalho será regulada na válvula limitadora de pressão (válvula 11) e a velocidade de retorno através da válvula 12.



## **f) Dimensionamento e seleção dos componentes**

As etapas a serem seguidas para o cálculo e seleção dos componentes estão descritas a seguir:

- a) dimensionar e especificar convenientemente os cilindros bem como as suas velocidades de acionamento.
- b) definido os cilindros e as velocidades, especificar a vazão do sistema.
- c) conhecida a vazão, especificar as válvulas do circuito.
- d) através da análise de esforços solicitantes e especificações de valores de perda de carga das válvulas, definir a pressão do sistema.
- e) com os valores de pressão e vazão do sistema, definir a bomba hidráulica.
- f) definir o motor elétrico (em conjunto com o projeto mecânico).
- g) projetar as polias e selecionar a correia da transmissão (em conjunto com o projeto mecânico).
- h) dimensionar o reservatório hidráulico.

## **I) Especificação dos cilindros e definição das velocidades de acionamento**

A definição das velocidades de acionamento é de fundamental importância para que o sistema apresente um bom desempenho, realizando os movimentos de elevação / abaixamento e de deslocamento lateral com relativa rapidez. Por outro lado, estas variáveis também influenciam a vazão do sistema e, por consequência, todos os componentes envolvidos. Para uma mesma pressão de trabalho, um aumento na velocidade de acionamento proporciona um aumento da vazão e, deste modo, uma maior potência requerida pela bomba hidráulica. Além disso, o reservatório hidráulico apresentará maiores dimensões, pois o volume de fluido de trabalho também aumentará. Os próprios cilindros sofrem influências em função do aumento da velocidade, pois acima de determinados limites, é necessário a utilização de amortecedores de fim de curso. As válvulas também são afetadas, pois a seleção das mesmas está ligada aos níveis de vazão de operação.

Outros fatores que também devem ser levados em consideração são os problemas decorrentes da instabilidade das cargas em altas velocidades, quando estas são submetidas a altas desacelerações (elevadas forças inerciais). Este fato, além de provocar choques na estrutura, pode resultar em movimentos relativos das cargas, ocasionando problemas de acomodação das mesmas na base de deslocamento lateral ou mesmo a quebra de produtos frágeis que estão sendo transportados.

Do exposto, conclui-se que a definição destas velocidades requer uma avaliação da relação CUSTO/DESEMPENHO. Baixas velocidades resultam em um barateamento do projeto (cilindros sem amortecimentos de fim de curso, válvulas mais simples, motor de menor potência, reservatório de dimensões reduzidas), porém comprometem o desempenho do sistema. Altas velocidades tornam o sistema mais dinâmico, reduzindo os tempos dos movimentos da carga, entretanto também resultam em um encarecimento do projeto.

Dessa forma, será feito uma análise comparativa para diferentes velocidades de acionamento para os cilindros especificados. Tal comparação envolverá variáveis de grande importância como vazão requerida (a qual determina a potência de alimentação para uma dada pressão e ordem de grandeza da dimensão do reservatório) e o tempo obtido para se elevar a carga até a altura máxima (5m), objetivando a determinação de um ponto de operação que resulte em um bom desempenho a um custo satisfatório.

O método utilizado consistirá das seguintes etapas:

- determinação da carga total aplicada à haste na condição de regime permanente;
- cálculo do diâmetro crítico da haste (diâmetro limite de flambagem);
- análise de possíveis configurações a partir de catálogo de fabricante, analisando-se o coeficiente de segurança para a compensação de eventuais sobrecargas (acelerações de arrancada e excesso de peso);
- análise de vazões e tempos requeridos para diferentes valores de velocidade de elevação da carga;
- definição da velocidade  $\Rightarrow$  determinação da vazão do sistema;
- definição das velocidades de acionamento da base de deslocamento lateral a partir dos cilindros especificados e da vazão calculada no item anterior.

Como o nível de esforços para se deslocar lateralmente a carga é bem inferior ao nível para se elevar a mesma, o cilindro de deslocamento lateral apresentar-se-á com dimensões bastante reduzidas em comparação com o cilindro de elevação e portanto, com áreas de êmbolo e coroa também pequenas. Dessa forma, conclui-se que a vazão determinada a partir da elevação da carga é suficiente o bastante para se obter elevadas velocidades, as quais serão ajustadas com a introdução de válvulas reguladoras de vazão.

A velocidade de abaixamento da carga (retorno do cilindro de elevação) será ajustada através de uma válvula reguladora de vazão, a qual evitará uma descida acelerada da mesma.

### **Cilindro de elevação**

O cilindro de elevação apresentará as seguintes características:

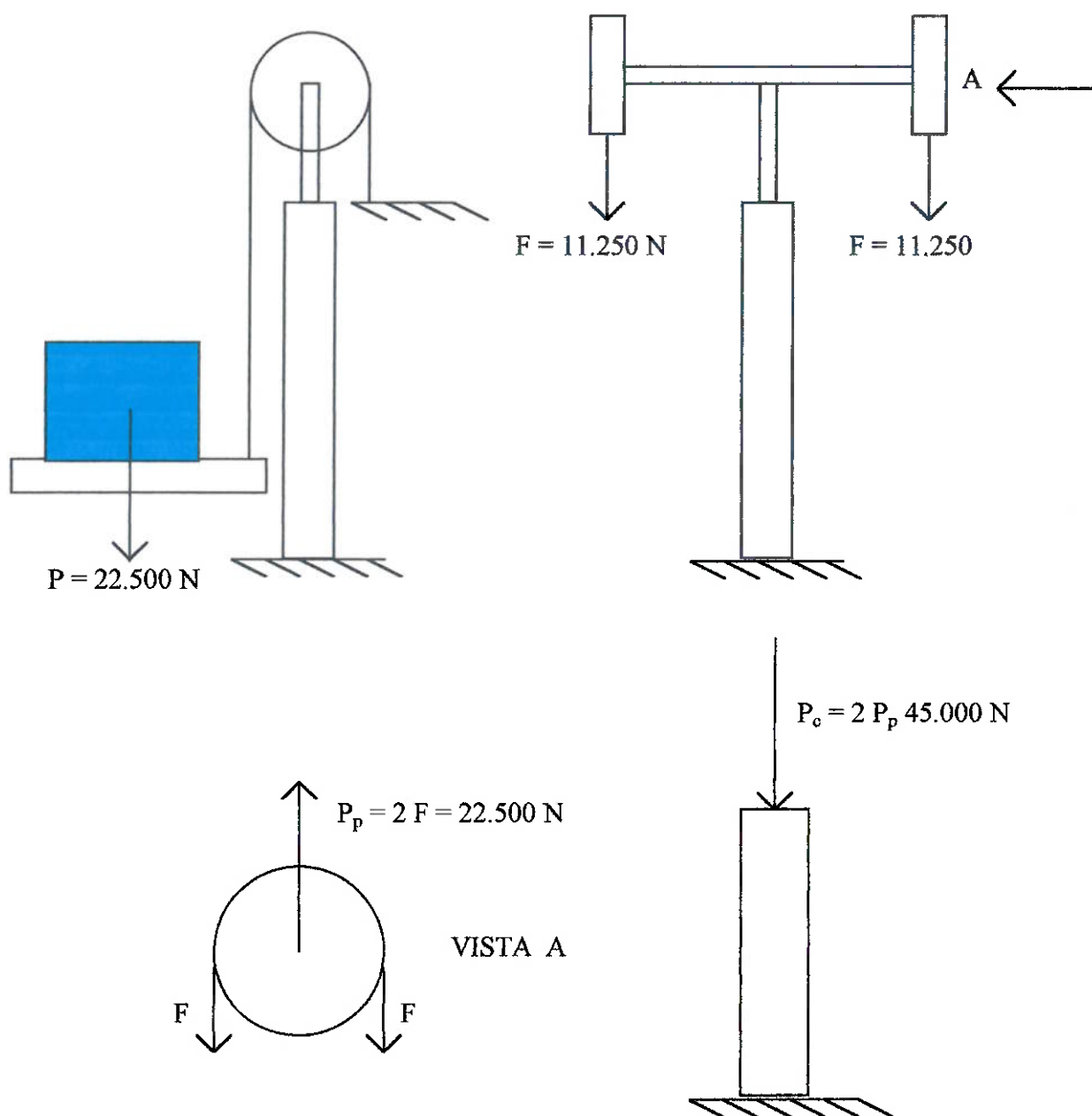
- dupla ação;
- com tirantes;
- fixação por flange quadrado traseiro;

- curso de 2.500 mm.

A necessidade de utilização de amortecimento de fim de curso dependerá da velocidade de acionamento do mesmo. Não há a necessidade de tubo de parada, visto que não há a aplicação de cargas perpendiculares à haste.

A figura abaixo ilustra os esforços de compressão na haste com a máxima carga nominal aplicada (2.000 Kg) em regime permanente.

A base possui uma massa aproximada de 250 Kg.



Para o equilíbrio dos esforços, observa-se que a força de compressão na haste do cilindro ( $F_c$ ) é o dobro da força peso  $P$  (peso da carga máxima nominal + peso da base).

### **Cálculo do diâmetro crítico (limite de flambagem)**

Sendo  $F_c = K$  (carga limite de flambagem), vamos calcular o diâmetro da haste do cilindro na condição limite de flambagem. O esforço estimado não leva em consideração as acelerações de arrancada e eventuais sobrecargas que possam ocorrer o que obviamente elevaria este valor. Estes efeitos serão compensados com a introdução de um coeficiente de segurança adequado.

Analisando-se o quadro extraído da referência [1] relativo a casos de flambagem, observa-se que o caso de carga de Euler correspondente é o caso 1 (um lado livre e o outro engastado).

Para este caso, o curso livre de flambagem é dado por:

$$S_k = 2 l \Rightarrow S_k = 2 \times 5.000 \Rightarrow S_k = 10.000 \text{ mm}$$

De acordo com a referência [1], a carga limite de flambagem é dada por:

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{S_k^2} \quad \text{em N} \quad (1)$$

onde:

$E$  : módulo de elasticidade em  $\text{N/mm}^2$

$J$  : momento de inércia em  $\text{mm}^4$

Para uma secção circular:  $J = (\pi \cdot d^4)/64$

Para o aço:  $E = 210 \text{ KN/mm}^2$

Sendo  $K = 45.000 \text{ N}$ , vamos calcular o diâmetro crítico  $d^*$

Utilizando - se a expressão (1), obtém-se:

$$J^* = 2,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \Rightarrow d^* = 81,6 \text{ mm} = 3,21''$$

Consultando-se a tabela do catálogo do fabricante ALBARUS (referência [2]), observamos que, em termos de resistência, as configurações de cilindros que atendem às exigências são as seguintes:

| $\phi$ cilindro (pol) | $\phi$ haste (pol) |
|-----------------------|--------------------|
| 5                     | 3,5                |
| 6                     | 4                  |
| 8                     | 4,5                |
| 8                     | 5,5                |

Para cada uma dessas concepções, vamos verificar o coeficiente de segurança com relação à flambagem.

| Config. | Diâm. haste (in) | Diâm. cilindro (in) | Carga de flambagem (N) | Coef. segurança |
|---------|------------------|---------------------|------------------------|-----------------|
| 1       | 3,5              | 5                   | 63547,1                | 1,41            |
| 2       | 4                | 6                   | 108408,6               | 2,41            |
| 3       | 4,5              | 8                   | 173649,6               | 3,86            |
| 4       | 5,5              | 8                   | 387502,6               | 8,61            |

Analisando-se o quadro acima, observa-se que a configuração 1 apresenta um coeficiente de segurança muito baixo para a aplicação do cilindro, o que pode comprometer a sua resistência. As configurações 3 e 4 apresentam um diâmetro do cilindro muito elevado o que pode resultar em vazões altas. Além disso, a haste está superdimensionada. Será escolhido portanto, o cilindro 2 que apresenta um coeficiente de segurança relativamente alto para resistir à sobrecargas. Além disso, a válvula limitadora de pressão será ajustada para um nível de pressão que evitará que sobrecargas resultem em esforços de compressão próximos à carga de flambagem.

Temos condições agora de realizar um pré-cálculo da pressão do sistema. Para tal, vamos admitir uma sobrecarga de 50% (1.000 Kg).

Calculando-se o esforço máximo temos:

$$F_{\max} = 40.000 + 5.000 + 20.000 \Rightarrow F_{\max} = 65.000 \text{ N}$$

$\downarrow$   
carga nominal

$\downarrow$   
base

$\downarrow$   
sobrecarga

A pressão será dada por:

$$p = \frac{F_{\max}}{A_e} \quad \text{onde } A_e \text{ é a área do êmbolo do cilindro}$$

Calculando-se, temos:

$$A_e = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \Rightarrow A_e = 0,0182 \text{ m}^2$$

Logo  $p = 3,56 \text{ Mpa} \Rightarrow p = 35,6 \text{ bar}$

A pressão máxima de trabalho (pressão gerada pela bomba) dependerá de outros fatores que são as perdas de carga nas válvulas 3,5,7 e 8. No entanto, como em geral estes valores são pequenos se comparados com o valor calculado acima, concluímos que este praticamente define a pressão do sistema. Posteriormente, iremos refinar este valor, adicionando-se os valores de perdas de cargas introduzidas pelas válvulas.

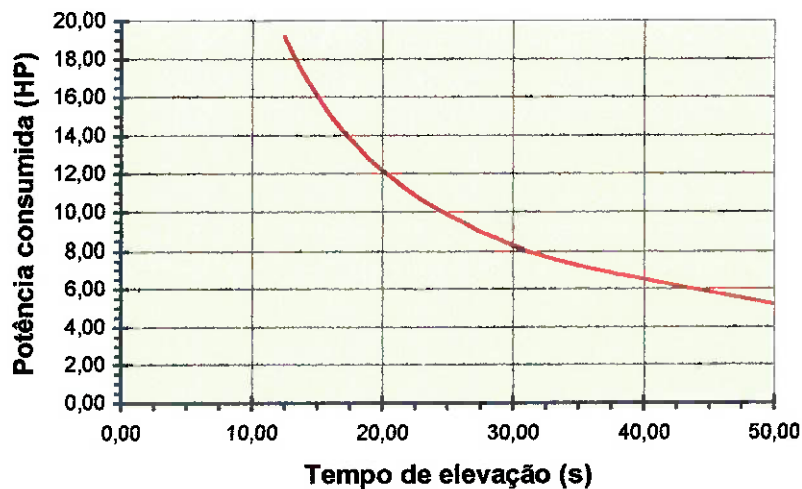
Vamos definir agora a velocidade de elevação da carga. Para fins de comparação de consumo de potência para diferentes valores de velocidade, vamos admitir que a pressão na bomba corresponde à acima calculada. Será considerado o consumo para uma bomba de engrenagens de vazão constante. Os valores de potência consumida foram retiradas da tabela de características de performance do catálogo do fabricante (referência [2]).

O quadro abaixo mostra o comportamento de algumas grandezas importantes em função da velocidade de elevação da carga. É importante observar que a velocidade da carga é o dobro da velocidade do pistão. O volume estimado para o reservatório foi calculado a partir da regra prática apresentada na referência [3] que recomenda que o volume seja igual ou maior a três vezes a vazão da bomba em l/min. Maiores detalhes serão apresentados na parte de dimensionamento do reservatório hidráulico.

| Versão<br>Nr | Vel. carga<br>(cm/s) | Vel. pistão<br>(cm/s) | Tempo elev.<br>(s) | Vazão requerida<br>(l/min) | Potência<br>(HP) | Vol. Reserv.<br>(l) |
|--------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|------------------|---------------------|
| 1            | 40                   | 20                    | 12,50              | 218,90                     | 19,21            | 656,69              |
| 2            | 35                   | 17,5                  | 14,29              | 191,54                     | 16,88            | 574,61              |
| 3            | 30                   | 15                    | 16,67              | 164,17                     | 14,54            | 492,52              |
| 4            | 25                   | 12,5                  | 20,00              | 136,81                     | 12,21            | 410,43              |
| 5            | 20                   | 10                    | 25,00              | 109,45                     | 9,88             | 328,35              |
| 6            | 15                   | 7,5                   | 33,33              | 82,09                      | 7,54             | 246,26              |
| 7            | 10                   | 5                     | 50,00              | 54,72                      | 5,21             | 164,17              |

Plotando-se um gráfico da potência consumida em função do tempo de elevação temos:

**CURVA POTÊNCIA CONSUMIDA x TEMPO DE ELEVAÇÃO  
TOTAL**



Do gráfico acima, verificamos que quanto menor a potência do motor, o tempo de elevação cai de forma hiperbólica. Logo, se estamos interessados em movimentos relativamente rápidos, não deveremos selecionar um motor com potência muito baixa, pois isto comprometeria o desempenho do sistema. Por outro lado, para uma dada pressão, o aumento da potência implica em aumento da vazão. Como os níveis de vazão são relativamente elevados em virtude da grande área do cilindro, poderemos ter problemas com as dimensões do reservatório hidráulico que poderá atingir valores exagerados.

Levando-se em consideração as limitações físicas impostas pela unidade móvel, limitaremos o volume do reservatório para aproximadamente 700 l, o que nos faz optar pela versão 1 ( velocidade da carga de 40 cm/s, resultando em um tempo de elevação a uma altura de 5m de 12,5 s).

O retorno do cilindro (abaixamento da carga) será ajustado por uma válvula reguladora de vazão com compensação de pressão para uma velocidade próxima a de elevação em função das limitações da válvula. Consultando-se o catálogo do fabricante ALBARUS, a válvula reguladora de vazão 3/8" com compensação de pressão e estabilização quanto à variação de temperatura apresenta um ajuste máximo de 114 l/min. Para este ajuste a velocidade de descida do pistão será:

$$V_p = \frac{Q}{A_e} \Rightarrow V_p = 10,4 \text{ cm/s}$$

Para esta velocidade do pistão, a velocidade de abaixamento da carga será:

$$V_{\text{abaix}} = 20,8 \text{ cm/s}$$

A diferença de tempo obtida para elevação total e abaixamento total neste caso é de 11,5 s. O desvio percentual do tempo de abaixamento em relação ao tempo de elevação é de 92 %, o que é muito alto.

Entretanto, esta é a válvula que apresenta a máxima capacidade de vazão. Portanto, se estamos interessados em uma descida com velocidade constante independente da carga, deveremos selecionar esta válvula e operar com a velocidade acima calculada.

Uma outra alternativa seria a de se utilizar ao invés de uma válvula reguladora de vazão compensada, uma válvula reguladora de vazão não compensada (válvula redutora de vazão) a qual proporciona ajustes mais elevados da vazão para um dado diferencial de pressão (vazões de até 738 l/min segundo especificações do catálogo do fabricante). No entanto, a vazão depende do diferencial de pressão de trabalho, o que pode resultar em oscilações muito elevadas da velocidade de abaixamento da carga, visto que na aplicação de nosso sistema ora operamos sem carga (abaixamento do pistão após a colocação de uma carga), ora operamos com máxima carga (abaixamento do pistão após a retirada de uma carga), além de possíveis valores intermediários de carga (0 a 2.000 Kg) e eventuais sobrecargas.

Vamos fazer uma análise da flutuação da velocidade do pistão com a introdução dessa válvula. A vazão ajustada para um dado diferencial de pressão  $\Delta p$  obedece à seguinte relação matemática:

$$Q = k.(\Delta p)^{1/2} \quad (2)$$

onde K é uma constante que depende das características geométricas do orifício e da densidade do fluido.

Considerando os casos extremos de aplicação, tem-se:

**Descida em vazio:** tem-se apenas o peso da base (5.000 N)  $\Rightarrow \Delta p = 2,74 \text{ bar}$

**Descida com máxima carga:**  $P = 45.000 \text{ N} \Rightarrow \Delta p = 24,67 \text{ bar}$

A velocidade máxima de abaixamento do pistão é dada em função da área da coroa  $A_c$  e da vazão calculada para a elevação.

$$A_c = 0,01013 \text{ m}^2$$
$$Q_{\max} = 218,9 \text{ l/min}$$

Logo:

$$V_{p\max} = 36 \text{ cm/s}$$



Para esta velocidade, a velocidade máxima de abaixamento da carga é de **72 cm/s**. Portanto, vamos admitir um ajuste da velocidade de abaixamento com máxima carga de **60 cm/s** e avaliar a redução quando operamos em vazio.

Utilizando-se a expressão (2), temos:

- descida em vazio:  $Q_v = 1,66.K$
- descida com carga máxima:  $Q_c = 4,97.K$

De acordo com as relações acima, para uma velocidade com carga máxima de 60 cm/s, a velocidade em vazio será de **20,0 cm/s**. Portanto a decisão adotada será a utilização de uma válvula sem compensação. Supondo-se que o número de colocações de carga seja igual ao número de retiradas durante a utilização do equipamento, a velocidade média obtida será de **40 cm/s**, valor idêntico ao obtido para a elevação.

Consultando-se o catálogo do fabricante ALBARUS, será selecionada uma **válvula reguladora de vazão não compensada 1 - 1/2"** (capacidade máxima de vazão de 586,7 l ), ajustada para um controle de vazão de 328,3 l/min a um diferencial de pressão de 24,67 bar (correspondente a uma velocidade do pistão de 30 cm/s ). Maiores detalhes sobre esta válvula serão dados na parte referente a seleção das válvulas do sistema.

Como as velocidades de acionamento do pistão são superiores a 10 cm/s, o fabricante recomenda a utilização de amortecimento de fim de curso. Consultando-se a tabela do catálogo, temos que o curso de amortecimento será de 31mm no avanço e no retorno.

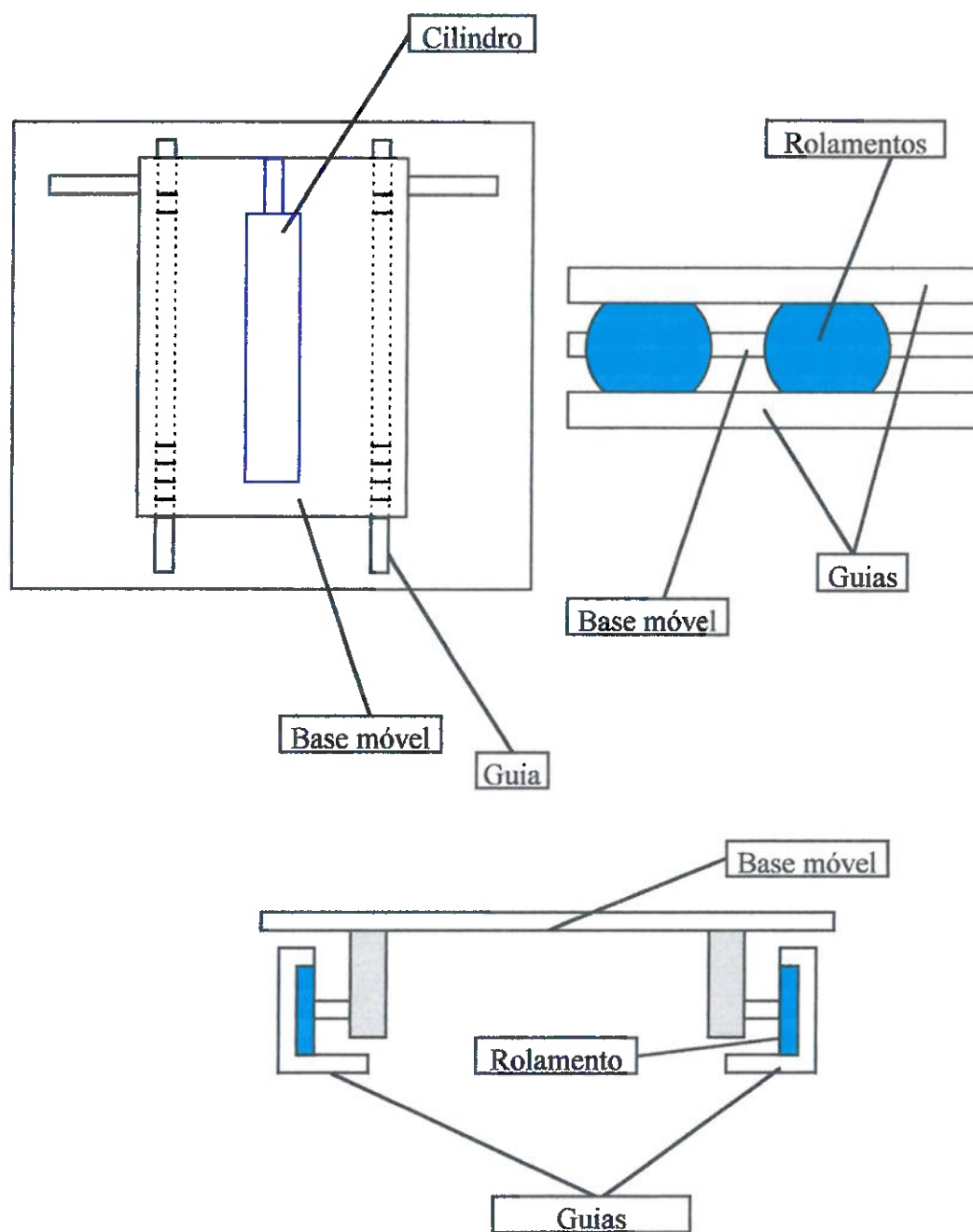
### **Cilindro de deslocamento lateral**

O cilindro de deslocamento lateral apresentará as seguintes características:

- dupla ação;
- com tirantes;
- fixação aletas articuladas;
- curso de 1200 mm.

Da mesma forma que no caso do cilindro de elevação, não haverá a necessidade de tubo de parada, pelo fato de não existir cargas perpendiculares à haste.

A figura abaixo ilustra a montagem dos cilindros da base da unidade móvel. Maiores detalhes encontram-se na parte referente ao projeto estrutural.



De acordo com os dados especificados no projeto mecânico, temos condições de calcular a força de atrito de rolamento a ser vencida em regime permanente.

A velocidade de acionamento do cilindro será de 25 cm/s no avanço. Vamos calcular a potência requerida para o deslocamento da base em regime permanente.

$$N_{\text{tot}} = N_{\text{atrol}} \text{ onde:}$$

$N_{\text{tot}}$  é a potência total

$N_{\text{atrol}}$  é a potência de atrito de rolamento

A rotação do eixo é:  $\omega = 2.V/D \Rightarrow \omega = 3,85 \text{ rad/s}$

Portanto:  $N_{\text{atrol}} = \sum_{i=1}^6 N_i \cdot f \cdot \omega$   $N_i$  é a força normal que age no rolamento  $i$   
 $f$  é o coeficiente de atrito de rolamento

Para o atrito aço/aço, tem-se  $f = 0,5 \text{ mm}$

$$N_{\text{atrol}} = (52.000 + 72.000) \times 0,0005 \times 3,85 \Rightarrow N_{\text{atrol}} = 238,7 \text{ W}$$

Logo:  $N_{\text{tot}} = 238,7 \text{ W} = 0,32 \text{ HP}$

Como  $N = F.V$ , temos:  $F = 954,8 \text{ N}$

Utilizando-se o mesmo procedimento do cilindro de elevação, o momento de inércia crítico (considerando a carga acima como carga limite de flambagem) é:

$$J^* = (K.S_k^2) / \pi^2.E \text{ onde } S_k = 2400 \text{ mm (caso 2 de Euler os dois lados guiados e articulados)}$$

$$K = 954,8 \text{ N}$$

Calculando, temos:

$$J^* = 2.667,9 \text{ mm}^4 \Rightarrow d^* = 15,27 \text{ mm} = 0,60''$$

Consultando-se o catálogo do fabricante, temos:

| Config. | Diâm. haste (in) | Diâm. cilindro (in) | Carga de flambagem (N) | Coef. segurança |
|---------|------------------|---------------------|------------------------|-----------------|
| 1       | 0,625            | 1,5                 | 1121,8                 | 1,17            |
| 2       | 1                | 2                   | 7351,9                 | 7,70            |
| 3       | 1,25             | 2                   | 17949,0                | 18,80           |

Observamos que as configurações 3 está superdimensionada e a versão 1 apresenta um coeficiente de segurança muito baixo. Adotaremos portanto, a configuração 2 que apresenta um coeficiente de segurança elevado suportando com bastante folga à sobrecargas.

Passaremos agora a selecionar as válvulas reguladoras de vazão que controlam as velocidades de avanço e retorno do cilindro. Para um avanço de 25 cm/s, a vazão será:

$$Q = V.A_e = 0,25 \times 0,0020268 = 0,0005067 \text{ m}^3/\text{s} = 30,4 \text{ l/min}$$

Consultando-se o catálogo do fabricante, selecionaremos uma **válvula reguladora de vazão 1/4" com compensação de pressão e estabilização quanto à variação de temperatura OF2-DHSJ-02** a qual apresenta capacidade máxima de 30,4 l/min, ajustada para a vazão acima calculada.

Para uma velocidade de retorno também de 25 cm/s, a vazão requerida será:

$$Q = V.A_e = 0,25 \times 0,0009421 = 0,00038 \text{ m}^3/\text{s} = 22,8 \text{ l/min}$$

Consultando-se o catálogo, será selecionada a mesma válvula anterior, porém ajustada para 22,8 l/min.

Maiores detalhes sobre estas válvulas serão apresentados na parte de seleção das válvulas do sistema.

O cilindro também precisará de amortecedores de fim de curso. Consultando-se a tabela do fabricante, temos que o curso de amortecimento será de 12 mm no avanço e retorno.

Os quadros abaixo, apresentam um resumo dos resultados obtidos:

| CILINDRO DE ELEVAÇÃO / ABAIXAMENTO        |                       |
|-------------------------------------------|-----------------------|
| Diâmetro do Cilindro (pol)                | 6                     |
| Diâmetro da haste (pol)                   | 4                     |
| Curso (mm)                                | 2.500                 |
| Velocidade de elevação da carga (cm/s)    | 40                    |
| Velocidade de abaixamento da carga (cm/s) | 20 - 60 (média de 40) |

| CILINDRO DE DESLOCAMENTO LATERAL      |       |
|---------------------------------------|-------|
| Diâmetro do Cilindro (pol)            | 2     |
| Diâmetro da haste (pol)               | 1     |
| Curso (mm)                            | 1.200 |
| Velocidade de avanço da carga (cm/s)  | 25    |
| Velocidade de retorno da carga (cm/s) | 25    |

## II) Especificação da vazão do sistema

Conforme obtido no item anterior, temos:

$$Q_{\text{sist}} = 218,9 \text{ l/min}$$

## III) Especificação das válvula do circuito

Todas as válvulas do circuito serão adquiridas do fabricante ALBARUS através do catálogo, selecionadas a partir de especificações de condições de operação.

### a) Válvula de retenção simples (válvula 3)

**Especificação:** Válvula de retenção simples 3/4" com mola de 0,21 bar

**Pressão máxima:** 210 bar

**Temperatura de operação:** 23° C a 60° C

**Peso:** 1,5 Kg

**Perda de carga para vazão de 218,9 l/min:** 1,6 bar

**b) Válvula direcional 4/3 pré operada por solenóide e controlada hidraulicamente - centragem por mola (válvulas 5 e 6)**

**Especificação:** Válvula de 4 vias - 1.1/4" operada por piloto, controlada por solenóide, centrada por mola, montagem em placa

**Pressão máxima:** 210 bar

**Vazão máxima:** 660 l/min

**Temperatura máxima de operação:** 71° C

**Peso:** 44,9 Kg (válvula com 2 solenóides)

**Perda de carga para vazão de 218,9 l/min (conexão pressão - cilindro de elevação):** 0,7 bar

**c) Válvula de retenção com desbloqueio hidráulico (válvula 7)**

**Especificação:** Válvula de retenção operada por pressão piloto 1-1/4"

**Pressão máxima:** 210 bar

**Temperatura máxima de operação:** 71° C

**Peso:** 11,8 Kg

**Mínima pressão piloto necessária:** 3,6 bar

**Perda de carga para vazão de 218,9 l/min (fluxo livre reverso com pressão piloto aplicada):** 1,6 bar

**d) Válvula reguladora de vazão não compensada e retenção (válvula 8)**

**Especificação:** Válvula reguladora de vazão 1-1/2" não compensada ajustável

**Pressão máxima:** 210 bar

**Vazão máxima:** 600 l/min

**Temperatura máxima de operação:** 71° C

**Peso:** 11,3 Kg

**Perda de carga para vazão de 218,9 l/min (fluxo livre reverso):** 0,4 bar

**Vazão ajustada para controle:** 328,3 l/min

Com a seleção dessas válvulas já temos os valores de perdas de carga a serem adicionados na pressão calculada anteriormente. A somatória das perdas de carga que as válvulas 3, 5, 7 e 8 introduzem antes do fluido atingir a câmara inferior do cilindro de elevação é de 4,3 bar. Logo a pressão de operação do sistema será:

$$P = 35,6 + 4,3 = 39,9 \text{ bar}$$

Dessa forma, definiremos a pressão do sistema como  $P_{\text{sist}} = 40 \text{ bar}$  e ajustaremos a válvula limitadora de pressão (válvula 4) para este valor.

**e) Válvula limitadora de pressão pré-operada com descarga por solenóide e regulagem manual (válvula 4)**

**Especificação:** Válvula de alívio 1-1/4’’

**Faixa de ajuste de pressão:** 7 a 70 bar

**Vazão máxima:** 379 l/min

**Temperatura máxima de operação:** 71° C

**Peso:** 10,0 Kg

**Pressão ajustada:** 40 bar

**f) Válvula limitadora de pressão com comando de operação próprio e regulagem manual (válvulas 10 e 11)**

**Especificação:** Válvula de alívio 1-1/4’’

**Faixa de ajuste de pressão:** 7 a 70 bar

**Vazão máxima:** 379 l/min

**Temperatura máxima de operação: 71° C**

**Peso: 10,0 Kg**

**Pressão ajustada para a válvula 10 (controle da pressão do avanço do cilindro): 20 bar (sobrecarga de 300 %)**

**Pressão ajustada para a válvula 11 (controle da pressão de retorno do cilindro): 25 bar (sobrecarga de 300 %)**

Obs: Para as pressões limitadas acima, a carga na haste podem atingir até o triplo da carga calculada em regime permanente, estando dentro dos limites de segurança proporcionado pelo cilindro.

**g) Válvula reguladora de vazão com pressão compensada e retenção (válvulas 12 e 13)**

**Especificação:** válvula reguladora de vazão 1/4" com compensação de pressão e estabilização quanto à variação de temperatura OF2-DHSJ-02

**Vazão máxima: 30,4 l/min**

**Temperatura máxima de operação: 71° C**

**Peso: 4,3 Kg**

**Vazão ajustada para a válvula 12 (controle do retorno do cilindro): 22,8 l/min**

**Vazão ajustada para a válvula 13 (controle do avanço do cilindro): 30,4 l/min**

**IV) Especificação da pressão do sistema**

Conforme já calculado, a pressão do sistema será  $P_{\text{sist}} = 40 \text{ bar}$

**V) Especificação da bomba hidráulica**

Será utilizada uma bomba hidráulica de engrenagens com engrenamento interno de vazão constante do fabricante ALBARUS. O motivo da escolha é justificado por uma série de vantagens apresentadas por este tipo de bomba como por exemplo:



- baixo peso;
- baixo custo;
- grande faixa de rotação;
- grande faixa de temperatura/viscosidade.

As especificações técnicas da bomba estão listadas abaixo:

**Modelo:** PFR - 20.350

**Pressão máxima:** 210 bar

**Rotação máxima:** 2500 RPM

**Rotação mínima:** 700 RPM

**Temperatura máxima do óleo:** 71° C

**Litros/rotação (em 'vazio'):** 0,1158

Como temos uma vazão do sistema de 218,9 l/min, consultando-se a tabela de características de performance do catálogo, chegamos a uma rotação à pressão de 40 bar de 1922 RPM. Para esta rotação, a vazão obtida na condição sem carga (fluxo livre) é de 222,6 l/min. Logo, o desvio percentual da vazão, e portanto da velocidade dos cilindros, dentro da faixa de 0 a 40 bar é de 1,69 % o que é bastante pequeno em virtude dos pequenos níveis de pressão de operação.

Consultando-se o mesmo catálogo, a potência motora especificada para esta pressão e vazão é de 22,5 HP.

Portanto, a bomba deverá operar nas seguintes condições:

**Rotação:** 1922 RPM

**Potência:** 22,5 HP

## **VI) Especificação do motor elétrico**

Consultando-se o catálogo do fabricante WEG, iremos selecionar um motor trifásico, assíncrono com frequência de 60 Hz. A especificação de potência imediatamente superior à calculada acima é de 25 CV. Em virtude da função de tracionamento da unidade móvel (vide projeto mecânico), será especificado um motor com rotação nominal de 1200 RPM.

## **VII) Projeto das polias e seleção das correias**

Esta etapa está contida integralmente no item referente ao projeto da transmissão da unidade móvel na seção do Projeto Mecânico. Apenas para citar, como o motor tem uma rotação de saída de 1170 RPM (levando-se em consideração o escorregamento) e o

eixo da bomba deve girar a 1922 RPM, a relação dos diâmetros entre as polias movida e motora será de 0,6087.

### VIII) Dimensionamento do reservatório hidráulico

Seguindo o procedimento apresentado pela referência [3], vamos determinar o volume do reservatório, a altura do filtro de sucção e condições de refrigeração do fluido.

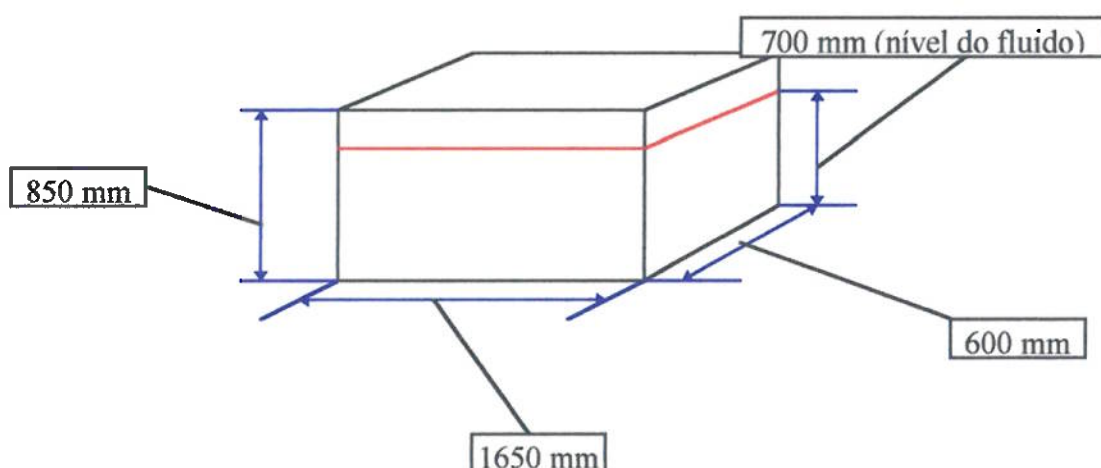
#### a) Volume do reservatório

O volume do reservatório devera ser no mínimo igual a três vezes a vazão do sistema em l/min. Dessa forma:

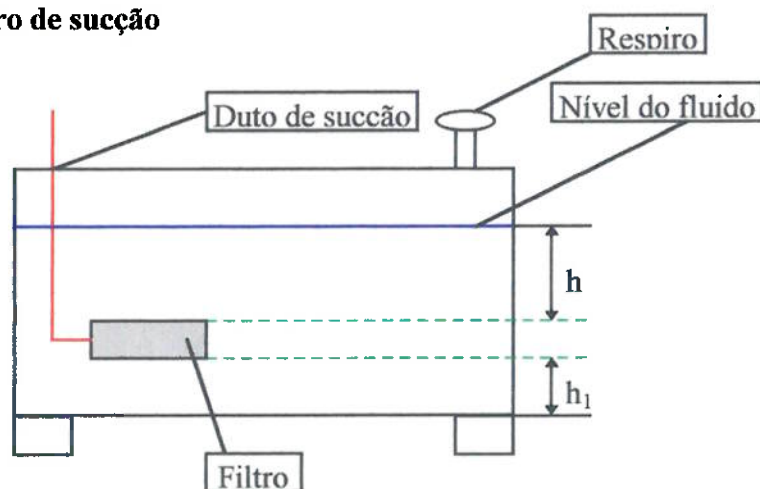
$$V_{\min} = 3 \times 218,9 = 656,7 \text{ l}$$

Adotaremos portanto  $V = 700 \text{ l}$

O reservatório terá uma base de  $1 \text{ m}^2$  e uma altura de 850 mm, conforme mostrado na figura abaixo:



#### b) Altura do filtro de sucção



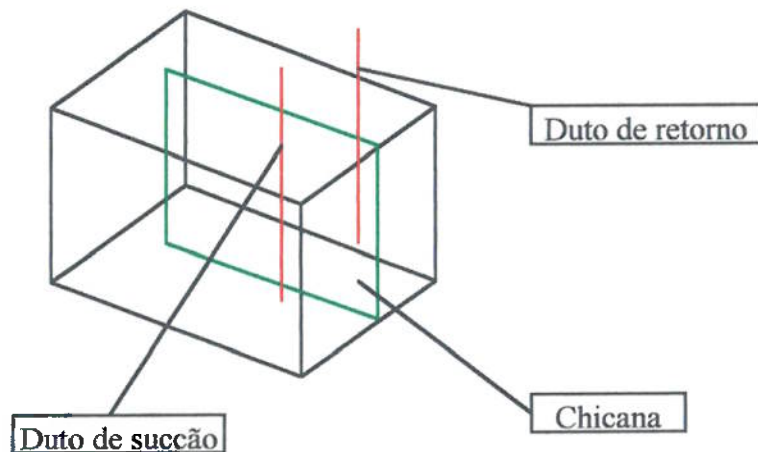
$$h_{\min} = 3'' (76,3 \text{ mm}) \Rightarrow h = 100 \text{ mm} \quad (\text{evita a formação de vórtices})$$

$$h_{\min} = 50 \text{ mm} \Rightarrow h_1 = 70 \text{ mm} \quad (\text{evita que impurezas precipitadas no fundo do reservatório venham a entupir a parte inferior do filtro de sucção})$$

### c) Resfriamento do fluido

Um fator importante a ser levado em consideração é de nunca se colocar o duto de retorno próximo do duto de sucção, pois o fluido que retorna ao reservatório volta imediatamente para o circuito hidráulico, sem efetuar a troca de calor.

Para isso, será introduzido uma chicana vertical, obrigando a circulação do fluido. Desta forma, ele percorre duas vezes o comprimento do reservatório para chegar ao duto de sucção. Ao percorrer todo este caminho, o calor contido no fluido vai se dissipando.



## **2.4) Projeto computacional - sistema de manipulação e gerenciamento de carga**

O sistema que controla a manipulação de carga e faz o gerenciamento do almoxarifado é composto por dois subsistemas principais:

1. Software : o programa em si
2. Hardware : a interface entre o programa e o sistema mecânico

### **1. SOFTWARE**

O programa é responsável pelas seguintes funções:

1. Interface com usuário via teclado e monitor de vídeo
2. Controlar a ação do sistema mecânico via sinais digitais de controle
3. Gerenciar a entrada e saída de carga do almoxarifado

Ao se iniciar o programa é exibida a seguinte tela com as opções relacionadas:

**Arquivo em uso: NENHUM**

**Qual a OPERAÇÃO a realizar ?**

- 1 - Levar carga**
- 2 - Trazer carga**
- 3 - Criar novo arquivo de almoxarifado**
- 4 - Abrir arquivo de almoxarifado já existente**
- 5 - Configurar sistema**
- 6 - Retornar ao DOS / Windows**

O programa trabalha com um almoxarifado guardando as informações sobre o mesmo na forma de um arquivo que fica armazenado no disco rígido do computador. Podem existir vários arquivos de almoxarifado e desta forma é possível ter um arquivo para cada mês e comparar os estoques mês a mês, ou simplesmente o usuário pode preferir utilizar um unico arquivo que contenha sempre a posição atual do seu almoxarifado. De qualquer forma para que o programa possa trabalhar é necessário estar utilizando um arquivo.

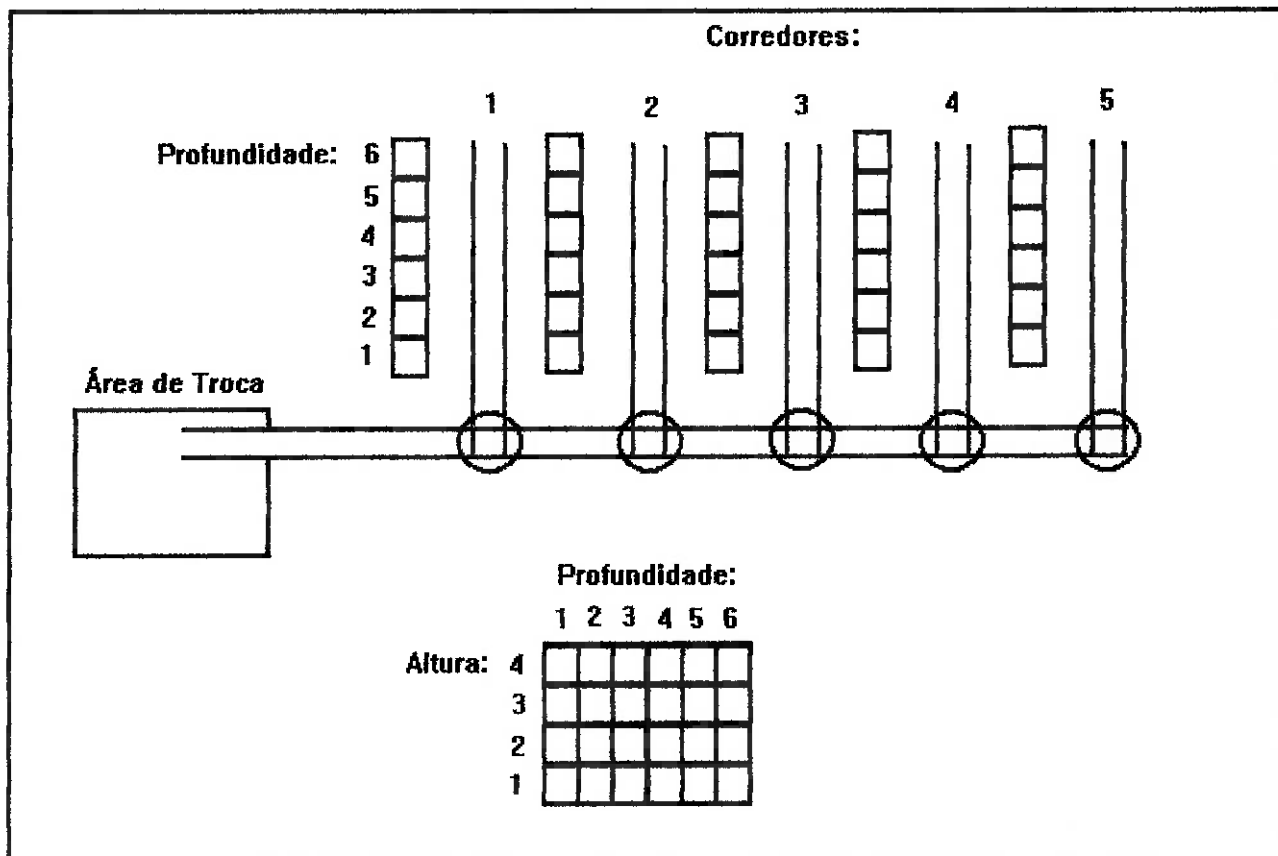
Para criar um arquivo novo escolhe-se a opção 3 que apresenta a seguinte tela:

Entre com o nome.ext do novo arquivo : *EXEMPLO.ALM*

**ENTRE COM AS DIMENSÕES DO ALMOXARIFADO :**

Corredores (max 10): 5  
Profundidade (max 15): 6  
Altura (max 4): 4

A figura abaixo ilustra o que o programa entende por corredor, profundidade e altura:



Outra forma de começar a trabalhar seria através da opção 4 (abrir um arquivo) e neste caso a tela apresentada seria:

Entre com o nome.ext do arquivo a ser aberto : **EXEMPLO.ALM**  
Arquivo carregado com sucesso

**DIMENSÕES DO ALMOXARIFADO INSTALADO :**

Corredores : 5  
Profundidade : 6  
Altura : 4

Uma vez associado o programa a um arquivo de almoxarifado volta-se ao menu principal que agora apresenta-se desta forma:

**Arquivo em uso: EXEMPLO.ALM**

**Qual a OPERAÇÃO a realizar ?**

- 1 - Levar carga
- 2 - Trazer carga
- 3 - Criar novo arquivo de almoxarifado
- 4 - Abrir arquivo de almoxarifado já existente
- 5 - Configurar sistema
- 6 - Retornar ao DOS / Windows

Antes de realizar operações de manipulação de carga é interessante examinar a opção 5 pois se o sistema não estiver corretamente configurado podem ocorrer problemas. A tela apresentada neste caso será:

**Deseja utilizar conexão com hardware ? (S/N) : S**

**ATENÇÃO: o sistema deve ser conectado em LPT1**  
**Qual o endereço do port de I/O LPT1 ? 0378h**

É possível utilizar o programa sem gerar sinais de controle para o sistema mecânico, apenas visualizando na tela quais seriam as possíveis ações que o sistema mecânico executaria se o hardware estivesse conectado. Ao responder Sim a primeira pergunta é necessário saber qual o endereço do port LPT1. Se este for desconhecido retorne ao DOS / Windows e execute o programa **MSD.EXE** para obter a informação. Na maioria dos sistemas este endereço é 0378h. A letra “h” após o número indica que o endereço está em hexadecimal e é fundamental para que o programa funcione corretamente.

Uma vez configurado o sistema é possível utilizar as opções de manipulação de carga. Ao escolher a opção 1 deverá ser apresentada a seguinte tela:

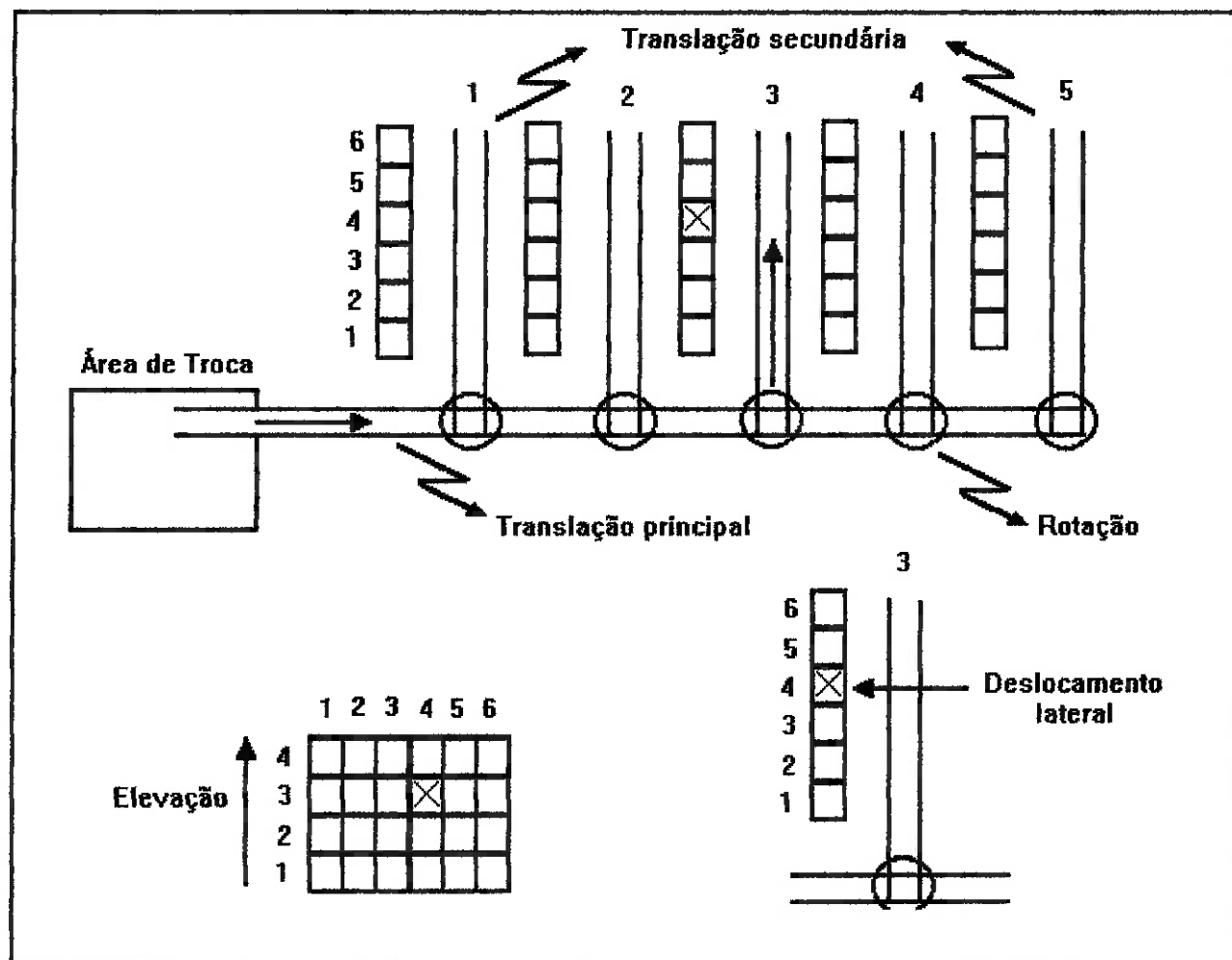
|                          |            |
|--------------------------|------------|
| <b>LEVAR CARGA</b>       |            |
| <b>Endereço destino:</b> |            |
| <b>Corredor</b>          | <b>: 4</b> |
| <b>Profundidade</b>      | <b>: 3</b> |
| <b>Altura</b>            | <b>: 2</b> |

Após informado o endereço destino da carga o programa verifica se o este endereço está vago. Caso já exista carga armazenada no endereço o programa fornece os dados referentes a esta carga e solicita novo endereço. Caso o endereço esteja vago é exibida a tela de status do sistema:

|                                               |                               |
|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>LEVAR CARGA</b>                            |                               |
| <b>Endereço destino:</b>                      |                               |
| <b>Corredor</b>                               | <b>: 4</b>                    |
| <b>Profundidade</b>                           | <b>: 3</b>                    |
| <b>Altura</b>                                 | <b>: 2</b>                    |
| <b>LEDs em modo</b>                           | <b>: 1</b>                    |
| <b>Movimento atual</b>                        | <b>: TRANSLAÇÃO PRINCIPAL</b> |
| <b>Corredor atual</b>                         | <b>: 0</b>                    |
| <b>Profundidade atual</b>                     | <b>: 0</b>                    |
| <b>Altura atual</b>                           | <b>: 0</b>                    |
| <b>LED 0 = Redutor para o eixo</b>            | <b>: DESATIVADO</b>           |
| <b>LED 1 = Bomba hidráulica</b>               | <b>: DESATIVADO</b>           |
| <b>LED 2 = Solenoide da trava</b>             | <b>: ENERGIZADO</b>           |
| <b>LED 3 = Sistema de entrada em corredor</b> | <b>: DESATIVADO</b>           |
| <b>AGUARDANDO CONFIRMAÇÃO PARA INICIAR</b>    |                               |

Nesta tela verifica-se o destino da carga, a posição atual da carga, qual etapa do movimento está sendo executada no momento e também o status do sistema mecânico. Nesta etapa o programa entende que o carro de transporte se encontra carregado na área de troca pronto para partir para o endereço indicado. O motor se encontra em funcionamento mas não acoplado nem com o redutor nem com a bomba hidráulica. O sistema de trava energizado (vide anexo ao final desta parte) indica que ação contra a mola que trava o carro e portanto neste momento o carro está liberado. O sistema que proporciona rotação para entrada em corredor específico se encontra desativado pois o carro ainda está na área de troca. Neste instante qualquer tecla pressionada inicia a tarefa.

A figura abaixo indica quais são as etapas do movimento que o carro executaria para levar uma carga hipotética ao endereço: 3,4,3 (corredor,profundidade,altura).





Iniciando o processo o sistema estará executando a **Translação principal** e procurando pelo sinal do sensor de posição quando o sistema estiver conectado ao hardware ou simplesmente, quando não conectado, varrendo o teclado que neste caso simula o sinal do sensor de posição. Assim, qualquer que seja o modo de operação o indicador "Corredor atual:" exibido na tela será incrementado sucessivamente até que o carro se encontre próximo ao seu corredor destino, quando então o motor se desacopla do redutor e o sistema de trava é desenergizado, ou seja, as molas liberam o apalpador que procurará a fenda de travamento, neste instante o movimento do carro se dá apenas pela inércia até que o carro pare ou seja encontrada a fenda de travamento. Se o carro para mas ainda não atingiu a fenda o motor se acopla ao redutor por mais 1 segundo e logo torna a desacoplar, caso desta vez a fenda seja encontrada o carro estará travado e pronto para iniciar a **Rotação** para entrada em corredor. Caso o carro ainda não tenha atingido a fenda os passos descritos acima se repetem até que finalmente o carro esteja travado.

Com o carro travado e posicionado para a **Rotação** o programa envia um sinal de comando que aciona o motor da plataforma de rotação. Com a rotação concluída o programa envia comando para a energização do sistema de trava, ou seja, o solenoide atua contra a mola liberando o carro.

O carro está agora pronto para iniciar a **Translação secundária** que procederá de forma análoga a **Translação principal** até que seja encontrada a profundidade destino quando então o carro é novamente travado para que possa iniciar a **Elevação**.

A partir deste momento o motor passa a acionar a bomba hidráulica e o programa passa a comandar válvulas solenóides que atuam no circuito hidráulico. Neste instante a tela apresentada é:

### LEVAR CARGA

**Endereço destino:**

**Corredor** : 4

**Profundidade** : 3

**Altura** : 2

**LEDs em modo** : II

**Movimento atual** : TRAVADO

**Corredor atual** : 4

**Profundidade atual** : 3

**Altura atual** : 0

**LED 0 = Redutor para o eixo** : DESATIVADO

**LED 1 = Bomba hidráulica** : ATIVADO

**LED 2 = Solenoide da trava** : DESENERGIZADO

**LED 3 = S3 - Circuito hidráulico** : ATIVADO

**LED 4 = S2A - Elevação plataforma de carga** : DESATIVADO

**LED 5 = S2B - Avanço da lateral** : DESATIVADO

**LED 6 = S1B - Retorno da lateral** : DESATIVADO

**LED 7 = S1A - Retorno plataforma de carga** : DESATIVADO

**AGUARDANDO CONFIRMAÇÃO PARA PROSSEGUIR**

A **Elevação** começa após sua confirmação ativando-se o solenóide S2A (vide circuito hidráulico). A elevação é feita por tempo uma vez que a velocidade de extensão do cilindro hidráulico é conhecida e aproximadamente constante, e a altura destino também é conhecida e constante. Concluída a **Elevação** é possível dar início ao **Deslocamento lateral** da carga. O solenóide S2A é desativado e o solenóide S2B é ativado. O deslocamento se dará até o fim de curso do cilindro hidráulico. Como a carga entra no suporte um pouco acima de sua posição definitiva é necessário que a plataforma de carga baixe ligeiramente ainda com a plataforma lateral estendida, isto é feito acionando-se S1A por uma fração de segundos (aproximadamente 0,5 seg.).

Neste momento a carga já está colocada e é possível recolher a plataforma lateral através do acionamento de S1B e em seguida retornar a plataforma de carga até o fim de curso através do acionamento de S1A. O carro está agora pronto para retornar à área de troca efetuando novamente a **Translação secundária**, até a área onde é feita a rotação, a **Rotação** propriamente dita e finalmente a **Translação principal** até a área de troca.

Chegando na área de troca o carro é travado e conectado ao terminal de comunicação com o usuário e se a operação foi concluída com sucesso o usuário deve completar uma ficha com as informações sobre a carga que após preenchida deve ser semelhante a esta:

**Armazenamento de carga concluído com sucesso.**

**Endereço onde a carga foi armazenada:**

**Corredor** : 4  
**Profundidade** : 3  
**Altura** : 2

**Descrição da carga** : Barras de aço 1020, 1"x 500 mm  
**Quantidade** : 30  
**Unidade** : peças  
**Data da estocagem** : 05/12/96  
**Responsável** : José da Silva  
**Observações** : Estoque mínimo 10 peças

O sistema todo é bastante flexível e modular, de acordo com o tipo de atividade desenvolvido pela empresa é possível adicionar e/ou remover o tipo de informação mostrado no modelo de ficha acima, é possível incluir em versões personalizadas do programa recursos de MRP para gerenciamento do estoque, é possível também associar valores aos estoques e comparar mês a mês a evolução da atividade econômica da empresa.

Graças ao sistema de múltiplos arquivos de almoxarifado é possível também utilizar um grande almoxarifado subdividido em outros menores. Assim, por exemplo, um usuário do almoxarifado 2 não poderá guardar suas cargas no almoxarifado 3, sendo para isto necessário utilização de senhas para grupos de usuários.

É possível também ampliar o tamanho do almoxarifado simplesmente adicionando mais módulos como corredores e/ou aumentando a profundidade dos corredores.

O anexo 1, localizado ao final do relatório apresenta a listagem do programa.

## 2. HARDWARE

O sistema deve ser conectado na porta paralela LPT1 também usada por impressoras. Esta porta se conecta com o sistema físico externo ao computador através de um conector DB-25 de 25 pinos. Neste conector estão os sinais que controlam a impressora utilizando dois níveis de tensão 0 V e 5 V. A pinagem deste conector é mostrada abaixo:

| SINAL      | PINO    | SENTIDO | FUNÇÃO                                            |
|------------|---------|---------|---------------------------------------------------|
| STROBE     | 1       | SAÍDA   | Pulso que efetua a entrada de dados na impressora |
| D0         | 2       | SAÍDA   | Bit de dados 0                                    |
| D1         | 3       | SAÍDA   | Bit de dados 1                                    |
| D2         | 4       | SAÍDA   | Bit de dados 2                                    |
| D3         | 5       | SAÍDA   | Bit de dados 3                                    |
| D4         | 6       | SAÍDA   | Bit de dados 4                                    |
| D5         | 7       | SAÍDA   | Bit de dados 5                                    |
| D6         | 8       | SAÍDA   | Bit de dados 6                                    |
| D7         | 9       | SAÍDA   | Bit de dados 7                                    |
| ACK        | 10      | ENTRADA | Indica que o dado anterior foi recebido           |
| BUSY       | 11      | ENTRADA | Indica que a impressora não pode receber dados    |
| PAPER END  | 12      | ENTRADA | Indica termino de papel da impressora             |
| SELECT     | 13      | ENTRADA | Indica que a impressora esta selecionada          |
| AUTO FEED  | 14      | SAÍDA   | Avança automaticamente 1 linha após impressão     |
| ERROR      | 15      | ENTRADA | Indica alguma condição imprópria da impressora    |
| INIT       | 16      | SAÍDA   | Reinicializa a impressora                         |
| SELECT-INV | 17      | SAÍDA   | Habilita entrada de dados na impressora           |
| GND        | 18 A 25 | -       | Terra 0 V                                         |

Obs: SAÍDA = saída do microcomputador e entrada da impressora

ENTRADA = entrada do microcomputador e saída da impressora

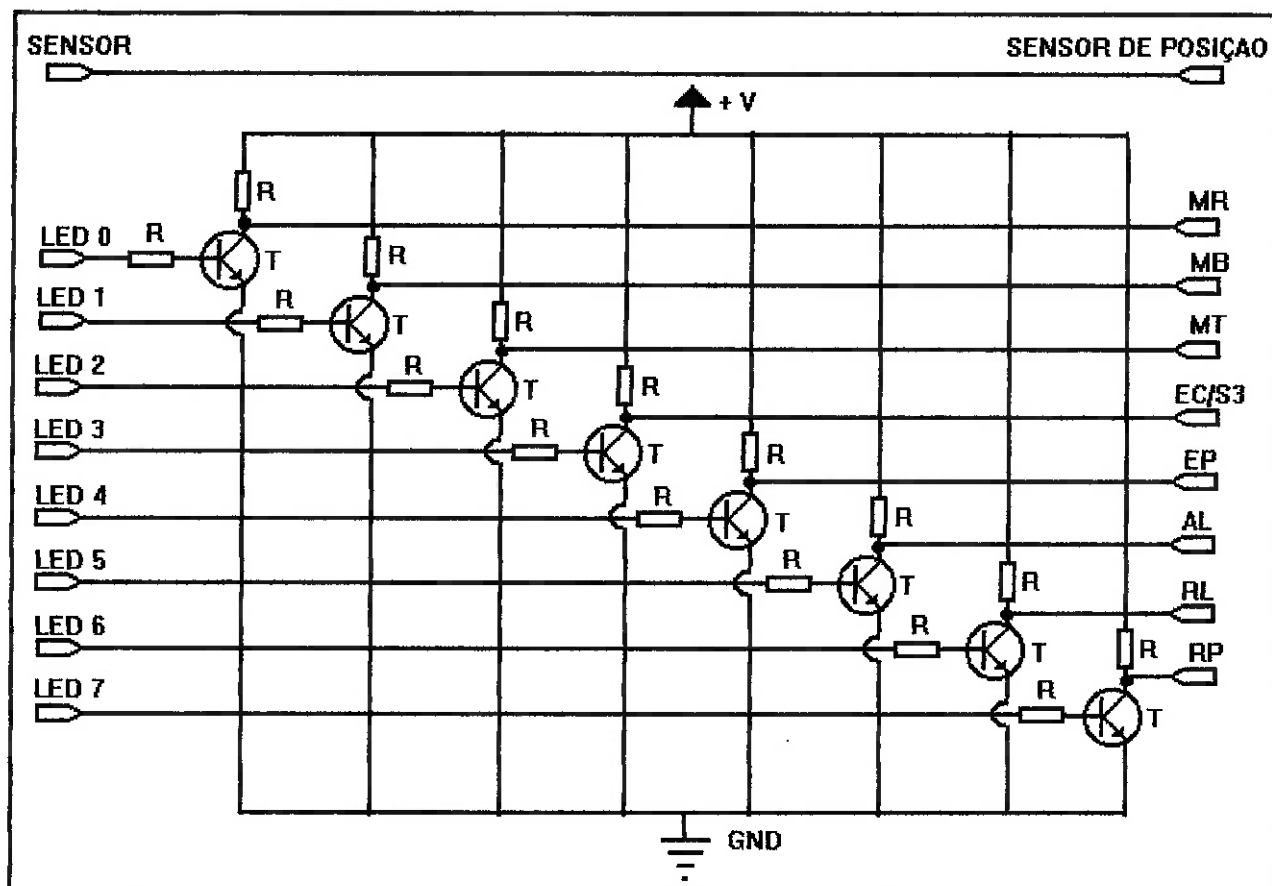
Conhecendo os sinais disponíveis foi possível definir quais seriam efetivamente usados em nossa adaptação para o sistema de controle do carro de transporte de carga. Assim a tabela acima adequada ao nosso sistema fica:

| SINAL          | Nova<br>designação | PINO       | SENTIDO | FUNÇÃO                                              |
|----------------|--------------------|------------|---------|-----------------------------------------------------|
| STROBE         | VCC                | 1          | SAÍDA   | Nível alto de tensão (5V)                           |
| D0             | LED 0              | 2          | SAÍDA   | Aciona o acoplamento do motor com o redutor-MR      |
| D1             | LED 1              | 3          | SAÍDA   | Aciona o acoplamento do motor com a bomba-MB        |
| D2             | LED 2              | 4          | SAÍDA   | Aciona o solenóide do mecanismo de trava-MT         |
| D3             | LED 3              | 5          | SAÍDA   | Aciona sist. entrada em corredor ou S3 (circ.hidr.) |
| D4             | LED 4              | 6          | SAÍDA   | Aciona elevação da plataforma de carga-EP           |
| D5             | LED 5              | 7          | SAÍDA   | Aciona avanço da lateral-AL                         |
| D6             | LED 6              | 8          | SAÍDA   | Aciona o retorno da lateral-RL                      |
| D7             | LED 7              | 9          | SAÍDA   | Aciona o retorno da plataforma de carga-RP          |
| ACK            | -                  | 10         | ENTRADA | Não conectado                                       |
| BUSY           | -                  | 11         | ENTRADA | Não conectado                                       |
| PAPER END      | -                  | 12         | ENTRADA | Não conectado                                       |
| SELECT         | -                  | 13         | ENTRADA | Não conectado                                       |
| AUTO FEED      | -                  | 14         | SAÍDA   | Não conectado                                       |
| ERROR          | SENSOR             | 15         | ENTRADA | Indica que o sensor de posição foi acionado         |
| INIT           | -                  | 16         | SAÍDA   | Não conectado                                       |
| SELECT-<br>INV | -                  | 17         | SAÍDA   | Não conectado                                       |
| GND            | GND                | 18 A<br>25 | -       | Terra (0V)                                          |

Obs: SAÍDA = saída do microcomputador e entrada do sistema mecânico

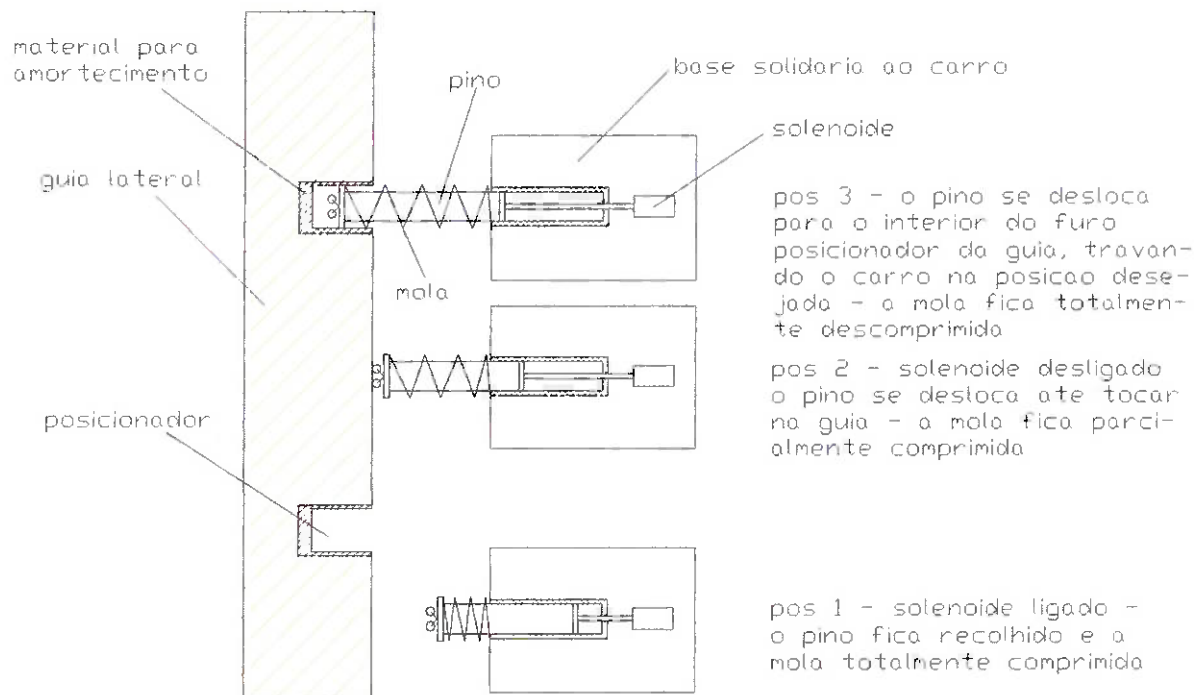
ENTRADA = entrada do microcomputador e saída do sistema mecânico

Conhecendo os sinais que serão manipulados pode-se então apresentar o circuito elétrico que serve de interface entre o computador e o sistema mecânico:



Com os sinais de saída do microcomputador em nível baixo(0V) os transistores estão cortados e a tensão de saída é +V. Com os sinais de saída do computador em nível alto (+5V) os transistores saturam e a tensão de saída agora é 0V (GND). O sinal do sensor de posição pode ser ligado diretamente ao pino SENSOR do computador.

### 3. ANEXO - SISTEMA DE POSICIONAMENTO E TRAVAMENTO DO CARRO



# **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**LISTAGEM DO PROGRAMA**



```
program SISTEMA_AUTOMATICO_PARA_ELEVACAO_E_TRANSPORTE_DE_CARGA;
```

```
uses wincrt,windows;
```

```
type
```

```
    registro = record  
        cheio    : boolean;  
        corredor : integer;  
        profund  : integer;  
        altura   : integer;  
        desc     : string[26];  
        quant    : integer;  
        unid     : string[4];  
        data     : string[8];  
        resp     : string[8];  
        obs      : string[13];  
    end;
```

```
    matriz = array[1..10,1..15,1..4] of registro;
```

```
const
```

```
    des  ='DESATIVADO';  
    ati  ='ATIVADO';  
    agua ='AGUARDANDO CONFIRMACAO PARA PROSEGUIR';
```

```
var
```

```
    i,j,k          : integer;  
    sair,hard,arquivo : boolean;  
    a              : char;  
    s,h,m,second,s100 : word;  
    num,int17,erro    : byte;  
    porta           : word;  
    b,cor,prof,alt,acor,aprof,aalt : integer;  
    modo,sacor       : string[5];  
    movi,recado       : string[45];  
    red,mot,trav,corr, :  
    circ,elev,avlat,retlat,ret : string[20];  
    nome             : string[30];  
    bl               : string[80];  
    ficha            : matriz;  
    arq              : file of matriz;
```

```
procedure inicio;
```

```
begin
```

```
    modo := 'I';  
    movi := 'AREA DE TROCA';  
    acor := 0;  
    aprof := 0;
```

```

aalt :=0;
red :=des;
mot :=des;
trav :='ENERGIZADO';
corn :=des;
num :=4;
circ :=des;
elev :=des;
avlat :=des;
retlat:=des;
ret :=des;
recado:='AGUARDANDO CONFIRMACAO PARA INICIAR';
end;

```

```

procedure delay;

```

```

begin
  gettime(h,m,second,s100);
  s:=second+s;
  if s>59 then s:=s-59;
  repeat
    gettime(h,m,second,s100);
  until second=s;
end;

```

```

procedure delay100;

```

```

begin
  gettime(h,m,second,s100);
  s:=s100+s;
  if s>99 then s:=s-99;
  repeat
    gettime(h,m,second,s100);
  until s100=s;
end;

```

```

procedure endereco;

```

```

begin
  gotoxy(20,6); write('Corredor   : ');readln(cor);
  gotoxy(20,7); write('Profundidade : ');readln(prof);
  gotoxy(20,8); write('Altura     : ');readln(alt);
end;

```

```

procedure mostra_ficha;

```

```

begin
  gotoxy(12,10);write('Descricao da carga  :');
  gotoxy(12,11);write('Quantidade       :');
  gotoxy(12,12);write('Unidade          :');
  gotoxy(12,13);write('Data da estocagem  :');
  gotoxy(12,14);write('Responsavel       :');
  gotoxy(12,15);write('Observacoes      :');
end;

```

```
procedure st_mod1;
```

```
begin
```

```
gotoxy(2,15);write('LED 0 = Solenoide motor/redutor      :',red,' ');
gotoxy(2,16);write('LED 1 = Motor eletrico          :',mot,' ');
gotoxy(2,17);write('LED 2 = Solenoide da trava          :',trav,' ');
gotoxy(2,18);write('LED 3 = Sistema de entrada em corredor :',corn,' ');
gotoxy(2,19);write('');
gotoxy(2,20);write('');
gotoxy(2,21);write('');
gotoxy(2,22);write('');
gotoxy(2,24);write(recado,'');
gotoxy(1,23);write(' ');
end;
```

```
procedure st_mod2;
```

```
begin
```

```
gotoxy(2,15);write('LED 0 = Solenoide motor/redutor      :',red,' ');
gotoxy(2,16);write('LED 1 = Motor eletrico          :',mot,' ');
gotoxy(2,17);write('LED 2 = Solenoide da trava          :',trav,' ');
gotoxy(2,18);write('LED 3 = S3 - Circuito hidráulico    :',circ,' ');
gotoxy(2,19);write('LED 4 = S2A - Elevação plataforma de carga :',elev,' ');
gotoxy(2,20);write('LED 5 = S2B - Avanço da lateral      :',avlat,' ');
gotoxy(2,21);write('LED 6 = S1B - Retorno da lateral     :',retlat,' ');
gotoxy(2,22);write('LED 7 = S1A - Retorno plataforma de carga :',ret,' ');
gotoxy(2,24);write(recado,'');
gotoxy(1,23);write(' ');
end;
```

```
procedure leds;
```

```
begin
```

```
if hard then
```

```
asm
```

```
mov dx,porta
```

```
mov al,num
```

```
out dx,al
```

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure status;
```

```
begin
```

```
gotoxy(2,10);write('LEDs em modo      :',modo,' ');
```

```
gotoxy(2,11);write('Movimento atual   :',movi);
```

```
b:=70-length(movi)-22;bl:='';
```

```
repeat bl:=bl+' '; b:=b-1; until b=2;
```

```
write(bl);
```

```
gotoxy(2,12);write('Corredor atual    :',acor,' ');
```

```
gotoxy(2,13);write('Profundidade atual :',aprof,' ');
```

```

gotoxy(2,14);write('Altura atual      : ',aalt,' ');
if modo='T' then st_mod1 else st_mod2;
leds;
end;

```

```

procedure local_cor;

```

```

begin
repeat
if hard
then
asm
mov dx,0000h
mov ah,02h
int 17h
mov int17,ah
end
else if keypressed then
begin
int17:=48;
a:=readkey;
end
else int17:=56;

if int17=48 then begin
acor:=acor+1;
status;
if hard
then
repeat
asm
mov dx,0000h
mov ah,02h
int 17h
mov int17,ah
end;
until int17=56
else int17:=56;
s:=30;delay100;
end;
until acor=(cor-1);
end;

```

```

procedure travar_cor;

```

```

begin
movi:='TRAVANDO';
trav:='DESENERGIZADO';
num:=num-4;
mot:=des;
num:=num-2;
status;
repeat

```

```

s:=2;delay;
if hard
then
asm
mov dx,0000h
mov ah,02h
int 17h
mov int17,ah
end
else if keypressed then
begin
int17:=48;
a:=readkey;
end
else int17:=56;

if int17=48 then begin
acor:=acor+1;
status;
end;
if acor=(cor-1) then begin
mot:=ati;
num:=num+2;
status;
s:=1;delay;
mot:=des;
num:=num-2;
status;
end;
until acor=cor;
movi:='TRAVADO';
recado:=agua;
status;
repeat until keypressed;
a:=readkey;
recado:='!';
status;
end;

```

```

procedure ret_cor;

```

```

begin
repeat
if hard
then
asm
mov dx,0000h
mov ah,02h
int 17h
mov int17,ah
end
else if keypressed then
begin

```

```

        int17:=48;
        a:=readkey;
    end
    else int17:=56;

if int17=48 then begin
    acor:=acor-1;
    status;
    if hard
    then
        repeat
            asm
                mov dx,0000h
                mov ah,02h
                int 17h
                mov int17,ah
            end;
        until int17=56
    else int17:=56;
    s:=30;delay100;
end;
until acor=1;
end;

```

```

procedure ret_travar_cor;

```

```

begin
    movi:='TRAVANDO';
    trav:='DESENERGIZADO';
    num:=num-4;
    mot:=des;
    num:=num-2;
    status;
    repeat
        s:=2;delay;
        if hard
        then
            asm
                mov dx,0000h
                mov ah,02h
                int 17h
                mov int17,ah
            end
        else if keypressed then
            begin
                int17:=48;
                a:=readkey;
            end
            else int17:=56;

if int17=48 then begin
    acor:=acor-1;
    status;
end;

```

```

    if acor=1      then begin
        mot:=ati;
        num:=num+2;
        status;
        s:=1;delay;
        mot:=des;
        num:=num-2;
        status;
    end;
until acor=0;
movi:='TRAVADO NA ÁREA DE TROCA';
recado:=agua;
status;
repeat until keypressed;
a:=readkey;
recado:=' ';
status;
end;

```

```

procedure local_prof;

```

```

begin
repeat
if hard
then
asm
    mov dx,0000h
    mov ah,02h
    int 17h
    mov int17,ah
end
else if keypressed then
begin
    int17:=48;
    a:=readkey;
end
else int17:=56;

if int17=48 then begin
    aprof:=aprof+1;
    status;
    if hard
    then
    repeat
    asm
        mov dx,0000h
        mov ah,02h
        int 17h
        mov int17,ah
    end;
    until int17=56
    else int17:=56;

```

```

        s:=30;delay100;
    end;
until aprof=(prof-1);
end;

procedure travar_prof;

begin
    movi:='TRAVANDO';
    trav:='DESENERGIZADO';
    num:=num-4;
    mot:=des;
    num:=num-2;
    status;
    repeat
        s:=2;delay;
        if hard
            then
                asm
                    mov dx,0000h
                    mov ah,02h
                    int 17h
                    mov int17,ah
                end
            else if keypressed then
                begin
                    int17:=48;
                    a:=readkey;
                    end
                else int17:=56;

        if int17=48 then begin
            aprof:=aprof+1;
            status;
            end;
        if aprof=(prof-1) then begin
            mot:=ati;
            num:=num+2;
            status;
            s:=1;delay;
            mot:=des;
            num:=num-2;
            status;
            end;
    until aprof=prof;
    movi:='TRAVADO';
    recado:=agua;
    status;
    repeat until keypressed;
    a:=readkey;
    recado:=' ';
    status;
end;

```



```

procedure ret_prof;

begin
  repeat
    if hard
    then
      asm
        mov dx,0000h
        mov ah,02h
        int 17h
        mov int17,ah
      end
    else if keypressed then
      begin
        int17:=48;
        a:=readkey;
      end
      else int17:=56;

    if int17=48 then begin
      aprof:=aprof-1;
      status;
      if hard
      then
        repeat
          asm
            mov dx,0000h
            mov ah,02h
            int 17h
            mov int17,ah
          end;
          until int17=56
        else int17:=56;
        s:=30;delay100;
      end;
    until aprof=1;
  end;

```

```

procedure ret_travar_prof;

```

```

begin
  movi:='TRAVANDO';
  trav:='DESENERGIZADO';
  num:=num-4;
  mot:=des;
  num:=num-2;
  status;
  repeat
    s:=2;delay;
    if hard
    then
      asm
        mov dx,0000h

```

```

        mov ah,02h
        int 17h
        mov int17,ah
    end
    else if keypressed then
        begin
            int17:=48;
            a:=readkey;
            end
        else int17:=56;

    if int17=48 then begin
        aprof:=aprof-1;
        status;
        end;
    if aprof=1 then begin
        mot:=ati;
        num:=num+2;
        status;
        s:=1;delay;
        mot:=des;
        num:=num-2;
        status;
        end;
    until aprof=0;
    movi:='TRAVADO';
    recado:=agua;
    status;
    repeat until keypressed;
    a:=readkey;
    recado:=' ';
    status;
end;

```

procedure rotacao;

```

begin
    str(acor,sacor);
    movi:='ROTAÇÃO PARA ENTRADA NO CORREDOR '+sacor;
    corrn:=ati;
    num:=num+8;
    status;
    s:=6;delay;
    movi:='ROTAÇÃO CONCLUIDA';
    corrn:=des;
    num:=num-8;
    recado:=agua;
    status;
    repeat until keypressed;
    a:=readkey;
    recado:=' ';status;

```

```

end;

procedure ret_rotacao;

begin
  str(acor,sacor);
  movi:='ROTAÇÃO PARA SAÍDA DO CORREDOR '+sacor;
  corn:=ati;
  num:=num+8;
  status;
  s:=6;delay;
  movi:='ROTAÇÃO CONCLUIDA';
  corn:=des;
  num:=num-8;
  recado:=agua;
  status;
  repeat until keypressed;
  a:=readkey;
  recado:=' ';status;
end;

```

```

procedure coloca;

begin
  movi:='DESLOCANDO CARGA PARA LATERAL';
  avlat:=ati;
  num:=num+32;
  status;
  s:=6;delay;
  movi:='BAIXANDO CARGA ATE APOIO';
  avlat:=des;
  num:=num-32;
  ret:=ati;
  num:=num+128;
  status;
  s:=6;delay;
  movi:='CARGA COLOCADA';
  ret:=des;
  num:=num-128;
  recado:=agua;
  status;
  repeat until keypressed;
  a:=readkey;
  recado:=' ';status;
end;

```

```

procedure ret_hid;

begin
  movi:='RETORNANDO PLATAFORMA LATERAL';
  retlat:=ati;
  num:=num+64;
  status;

```

```

s:=6;delay;
retlat:=des;
num:=num-64;
movi:='BAIXANDO PLATAFORMA DE CARGA';
ret:=ati;
num:=num+128;
status;
repeat
  s:=3;delay;
  s:=12;delay100;    { Velocidade da carga = 40 cm/s}
  aalt:=aalt-1;
  status;
until aalt=0;
ret:=des;
num:=num-128;
circ:=des;
num:=num-8;
mot:=des;
num:=num-2;
movi:='PRONTO PARA TRANSLAÇÃO';
modo:='I';
recado:=agua;
status;
repeat until keypressed;
a:=readkey;
recado:=' ';status;
end;

```

procedure retira;

```

begin
movi:='DESLOCANDO PLATAFORMA LATERAL';
avlat:=ati;
num:=num+32;
status;
s:=6;delay;
movi:='ELEVANDO PLATAFORMA ATE A CARGA';
avlat:=des;
num:=num-32;
elev:=ati;
num:=num+16;
status;
s:=6;delay;
movi:='CARGA SOBRE A PLATAFORMA';
elev:=des;
num:=num-16;
recado:=agua;
status;
repeat until keypressed;
a:=readkey;
recado:=' ';status;
end;

```

```

procedure ret_hid_retira;

begin
  movi:='RETORNANDO PLATAFORMA LATERAL';
  retlat:=ati;
  num:=num+64;
  status;
  s:=6;delay;
  retlat:=des;
  num:=num-64;
  movi:='BAIXANDO PLATAFORMA DE CARGA';
  ret:=ati;
  num:=num+128;
  status;
  repeat
    s:=3;delay;
    s:=12;delay100;    { Velocidade da carga = 40 cm/s}
    aalt:=aalt-1;
    status;
  until aalt=0;
  ret:=des;
  num:=num-128;
  circ:=des;
  num:=num-8;
  mot:=des;
  num:=num-2;
  movi:='PRONTO PARA TRANSLAÇÃO';
  modo:='I';
  recado:=agua;
  status;
  repeat until keypressed;
  a:=readkey;
  recado:=' ';status;
end;

```

```

procedure levar;

```

```

begin

  inicio;
  status;
  repeat until keypressed;
  a:=readkey;
  movi:='TRANSLAÇÃO PRINCIPAL';
  recado:=' ';status;
  s:=1;delay;
  red:=ati;
  num:=num+1;
  mot:=ati;
  num:=num+2;
  status;
  s:=5;delay;

```

```

local_cor;
travar_cor;
rotacao;
movi:='DESTRAVANDO';
trav:='ENERGIZADO';
num:=num+4;
status;
s:=6;delay;
movi:='TRANSLAÇÃO SECUNDARIA';
mot:=ati;
num:=num+2;
status;
s:=3;delay;
local_prof;
travar_prof;
movi:='DESACOPLANDO REDUTOR';
red:=des;
num:=num-1;
status;
s:=3;delay;
modo:='II';
movi:='ELEVANDO CARGA';
num:=num+2;
mot:=ati;
num:=num+8;
circ:=ati;
num:=num+16;
elev:=ati;
status;
repeat
  s:=3;delay;
  s:=12;delay100; { Velocidade da carga = 40 cm/s}
  aalt:=aalt+1;
  status
until aalt=alt;
num:=num-16;
elev:=des;
status;
coloca;
ret_hid;
movi:='DESTRAVANDO';
trav:='ENERGIZADO';
num:=num+4;
status;
s:=6;delay;
movi:='ACOPLANDO REDUTOR';
red:=ati;
num:=num+1;
status;
s:=3;delay;
movi:='TRANSLAÇÃO SECUNDARIA';
mot:=ati;
num:=num+2;
status;

```

```

s:=3;delay;
ret_prof;
ret_travar_prof;
ret_rotacao;
movi:='DESTRAVANDO';
trav:='ENERGIZADO';
num:=num+4;
status;
s:=6;delay;
movi:='TRANSLAÇÃO PRINCIPAL';
mot:=ati;
num:=num+2;
status;
s:=3;delay;
ret_cor;
ret_travar_cor;
clrscr;
gotoxy(15,2);write('Armazenamento de carga concluido com sucesso. ');
gotoxy(18,4);write('Endereco onde a carga foi armazenada: ');
gotoxy(21,5); write('Corredor   : ',cor);
gotoxy(21,6); write('Profundidade : ',prof);
gotoxy(21,7); write('Altura      : ',alt);
mostra_ficha;
gotoxy(35,10);readln(ficha[cor,prof,alt].desc);
gotoxy(35,11);readln(ficha[cor,prof,alt].quant);
gotoxy(35,12);readln(ficha[cor,prof,alt].unid);
gotoxy(35,13);readln(ficha[cor,prof,alt].data);
gotoxy(35,14);readln(ficha[cor,prof,alt].resp);
gotoxy(35,15);readln(ficha[cor,prof,alt].obs);
ficha[cor,prof,alt].cheio:=true;
reset(arq);
write(arq,ficha);
close(arq);

{ status;
repeat until keypressed;
a:=readkey; }
end;

```

procedure trazer;

```

begin
inicio;
status;
repeat until keypressed;
a:=readkey;
movi:='TRANSLAÇÃO PRINCIPAL';
recado:=' ';status;
s:=1;delay;
red:=ati;
num:=num+1;
mot:=ati;
num:=num+2;
status;

```

```

s:=5;delay;
local_cor;
travar_cor;
rotacao;
movi:='DESTRAVANDO';
trav:='ENERGIZADO';
num:=num+4;
status;
s:=6;delay;
movi:='TRANSLAÇÃO SECUNDARIA';
mot:=ati;
num:=num+2;
status;
s:=3;delay;
local_prof;
travar_prof;
movi:='DESACOPLANDO REDUTOR';
red:=des;
num:=num-1;
status;
s:=3;delay;
modo:='II';
movi:='ELEVANDO PLATAFORMA DE CARGA';
num:=num+2;
mot:=ati;
num:=num+8;
circ:=ati;
num:=num+16;
elev:=ati;
status;
repeat
  s:=3;delay;
  s:=12;delay100; { Velocidade da carga = 40 cm/s}
  aalt:=aalt+1;
  status
until aalt=alt;
num:=num-16;
elev:=des;
status;
retira;
ret_hid_retira;
movi:='DESTRAVANDO';
trav:='ENERGIZADO';
num:=num+4;
status;
s:=6;delay;
movi:='ACOPLANDO REDUTOR';
red:=ati;
num:=num+1;
status;
s:=3;delay;
movi:='TRANSLAÇÃO SECUNDARIA';
mot:=ati;
num:=num+2;

```



```

status;
s:=3;delay;
ret_prof;
ret_travar_prof;
ret_rotacao;
movi:='DESTRAVANDO';
trav:='ENERGIZADO';
num:=num+4;
status;
s:=6;delay;
movi:='TRANSLAÇÃO PRINCIPAL';
mot:=ati;
num:=num+2;
status;
s:=3;delay;
ret_cor;
ret_travar_cor;
clrscr;
reset(arq);
read(arq,ficha);
close(arq);
gotoxy(15,2);write('A carga foi retirada com sucesso. ');
gotoxy(18,4);write('Endereco de origem da carga: ');
gotoxy(21,5); write('Corredor   : ',cor);
gotoxy(21,6); write('Profundidade : ',prof);
gotoxy(21,7); write('Altura      : ',alt);
mostra_ficha;
gotoxy(35,10);write(ficha[cor,prof,alt].desc);
gotoxy(35,11);write(ficha[cor,prof,alt].quant);
gotoxy(35,12);write(ficha[cor,prof,alt].unid);
gotoxy(35,13);write(ficha[cor,prof,alt].data);
gotoxy(35,14);write(ficha[cor,prof,alt].resp);
gotoxy(35,15);write(ficha[cor,prof,alt].obs);
ficha[cor,prof,alt].cheio:=false;
repeat until keypressed;
a:=readkey;
end;

```

procedure novo;

```

begin
  clrscr;
  write ('Entre com o nome.ext do novo arquivo : ');readln(nome);
  assign (arq,nome);
  rewrite (arq);
  gotoxy(20,4); write('DIMENSÕES DO ALMOXARIFADO INSTALADO :');
  gotoxy(20,6); write('Corredores (max 10): ');readln(ficha[1,1,1].corredor);
  gotoxy(20,7); write('Profundidade (max 15): ');readln(ficha[1,1,1].profund);
  gotoxy(20,8); write('Altura      (max 4): ');readln(ficha[1,1,1].altura);
  for i:=1 to 10 do
    for j:=1 to 15 do
      for k:=1 to 4 do ficha[i,j,k].cheio:=false;

```

```

write (arq,ficha);
arquivo:=true;
close(arq);
end;

```

```

procedure abrir;

```

```

begin
  clrscr;
  repeat
    write ('Entre com o nome.ext do arquivo a ser aberto : ');readln(nome);
    assign (arq,nome);
    {$I-}
    reset(arq);
    {$I+}
    erro:=ioresult;
    if erro<>0 then writeln ('ARQUIVO INEXISTENTE');
  until (erro=0);
  read(arq,ficha);
  arquivo:=true;
  writeln ('Arquivo carregado com sucesso');
  gotoxy(20,4); write('DIMENSÕES DO ALMOXARIFADO INSTALADO :');
  gotoxy(20,6); write('Corredores : ',ficha[1,1,1].corredor);
  gotoxy(20,7); write('Profundidade : ',ficha[1,1,1].profund);
  gotoxy(20,8); write('Altura : ',ficha[1,1,1].altura);
  close(arq);
  repeat until keypressed;
  a:=readkey;
end;

```

```

procedure config;

```

```

begin
  clrscr;
  write('Deseja utilizar conexão com hardware ? (S/N) : ');
  repeat until keypressed;
  a:=readkey;
  writeln;
  if (a='S') or (a='s')
  then
    begin
      hard:=true;
      writeln('ATENÇÃO: o sistema deve ser conectado em LPT1');
      write ('Qual o endereço do port de I/O LPT1 ? ');
      readln(porta);
    end
  else hard:=false;
end;

```

```

procedure examinar;

```

```

begin

```

```

clrscr;
for i:=1 to ficha[1,1,1].corredor do
  for j:=1 to ficha[1,1,1].profund do
    for k:=1 to ficha[1,1,1].altura do
      if ficha[i,j,k].cheio then write(i, ' ', j, ' ', k, ' ', ficha[i,j,k].desc);

repeat until keypressed;
a:=readkey;
end;

```

{ PROGRAMA PRINCIPAL }

```

begin
hard:=false;
arquivo:=false;
repeat
  clrscr;
  sair:=false;
  gotoxy(30,1); write('Arquivo em uso: ');
  if arquivo then write(nome) else write('NENHUM');
  gotoxy(20,10);writeln('Qual a OPERAÇÃO a realizar ?');
  gotoxy(23,12);writeln('1 - Armazenar carga');
  gotoxy(23,13);writeln('2 - Retirar carga');
  gotoxy(23,14);writeln('3 - Criar novo arquivo de almoxarifado');
  gotoxy(23,15);writeln('4 - Abrir arquivo de almoxarifado já existente');
  gotoxy(23,16);writeln('5 - Examinar arquivo de almoxarifado');
  gotoxy(23,17);writeln('6 - Configurar sistema');
  gotoxy(23,18);writeln('7 - Retornar ao DOS / Windows');
  repeat until keypressed;
  a:=readkey;
  case a of
    '1':if arquivo then begin
        clrscr;
        gotoxy(20,4);writeln(' ARMAZENAR CARGA');
        gotoxy(20,5);writeln('Endereço destino:');
        endereco;
        if ficha[cor,prof,alt].cheio=false
        then levar
        else begin
            writeln;
            writeln('Ja existe carga neste endereco');
            repeat until keypressed;
            a:=readkey;
            end;
        end
    else begin
        gotoxy(23,23);writeln('Nenhum arquivo aberto');
        repeat until keypressed;
        a:=readkey;
        end;
    '2':if arquivo then begin
        clrscr;
        gotoxy(20,4);writeln(' RETIRAR CARGA');

```

```

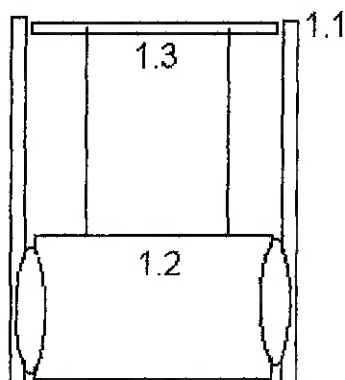
gotoxy(20,5);writeln('Endereço de origem:');
endereco;
if ficha[cor,prof,alt].cheio
then trazer
else begin
    writeln;
    writeln('Nao existe carga neste endereco');
    repeat until keypressed;
    a:=readkey;
end;
end
else begin
    gotoxy(23,23);writeln('Nenhum arquivo aberto');
    repeat until keypressed;
    a:=readkey;
end;
'3':novo;
'4':abrir;
'5':examinar;
'6':config;
'7':sair:=true;
end;
until sair;
clrscr;
end.

```

**ANEXO 2**  
**CÁLCULO ESTRUTURAL**  
**DESCRIÇÃO**

## 1. Sistema Elevação ( Sistema 1 )

### a) Esquema



### b) Subsistemas :

- 1.1. Guia de levantamento
- 1.2. Carro de levantamento
- 1.3. Topo do cilindro

### c) Entradas e saídas :

Como entrada recebe a ação do cilindro de elevação e a transmite ao Sistema de carga/descarga .

### d) Parâmetros :

Capacidade de carga : 3 toneladas.  
Altura máxima : 5 metros.  
Tempo de elevação : 20 segundos.

### e) Função :

Elevar o Sistema de deslocamento lateral até a posição correta em Z.

### 1.1. Guia de levantamento

#### a) Aspecto : Desenho 1.1

#### b) Subsistemas : Não há.

#### c) entradas e saídas :

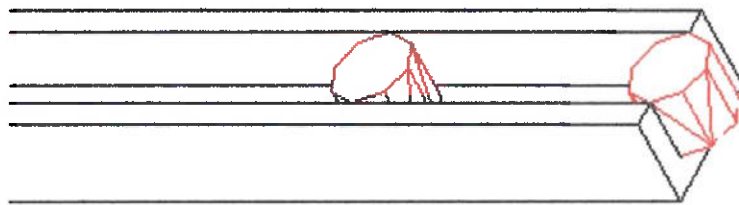
Posicionamento ao sistema de deslocamento lateral.

#### d) Função :

Suporta e guia o carro de levantamento e a carga.

#### e) Projeto Funcional :

Sua forma deverá permitir o encaixe do carro, permitindo apenas o deslocamento ao longo do seu comprimento. Assim deverá envolver o encaixe lateral. Foi escolhida a forma em "U" como mostrado abaixo :

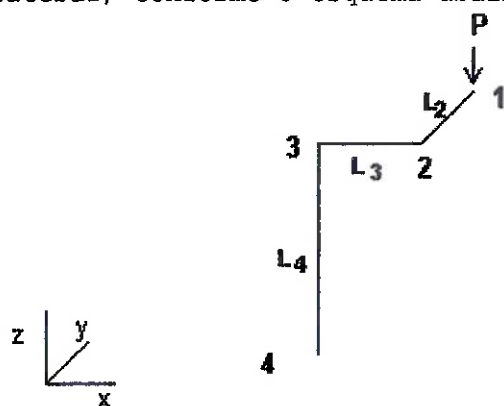


#### f) Projeto Estrutural :

Após definida a forma da guia devemos determinar sua resistência, ou seja, sua espessura. Para dimensionar precisamos conhecer os esforços a que está sujeita.

- Flexão frontal
- Flexão lateral

Estes dois tipos de esforços entram em ação durante o carregamento lateral, conforme o esquema abaixo :



No esquema a cima cada uma das barra representa um subsistema a saber :

- L2 : Sistema de deslocamento lateral ( subsistema 1.2.2 )
- L3 : Carro principal de levantamento ( subsistema 1.2.1 )
- L4 : Guia de levantamento ( subsistema 1.1 )

Durante as operações de carga e descarga lateral o cilindro de elevação suporta o peso da carga, mas as forças de flexão são suportadas pela guia. O projeto estrutural consiste na determinação da resistência necessária, como pode ser visto no memorial 1.1.

Lembrando, nosso carregamento teórico apenas para cálculo e já embutindo um coeficiente de segurança é de 3 toneladas.

As dimensões finais dependem do dimensionamento de outras partes do projeto, dessa forma os cálculos forma feitos até que se chega-se a um módulo de resistência ( W ) mínimo.

### 1.2. Carro de levantamento

a) Aspecto : veja desenho 1.2

b) Subsistemas :

1.2.1 Encaixe lateral ( dois )

1.2.1.1 Rolamentos

1.2.1.2 Peças fabricadas  
1.2.1 Trave de ligação

d) Funções

Carrega efetivamente a carga.  
Suporta o sistema de carga / descarga lateral.

e) Projeto Funcional ou Função :

O carro deverá se encaixar na guia de tal forma que transmita os esforços de flexão. Para permitir que deslize ainda sob ação destes esforços todos os pontos de contato deverão ser rolamentos. Dessa forma deverá ter quatro pontos de apoio , um mesmo plano, suficientemente espaçados para fornecer o apoio necessário.

f) Projeto Estrutural :

**1.2.1. Encaixe lateral**

a) Aspecto : veja desenho 1.2.1

b) Subsistemas

- 1.2.1.1 Rolamento Frontal
- 1.2.1.2 Rolamento Lateral
- 1.2.1.3 peças fundidas
- 1.2.1.4 Eixo do Rolamento Frontal
- 1.2.1.5 Eixo do Rolamento Lateral

d) Funções

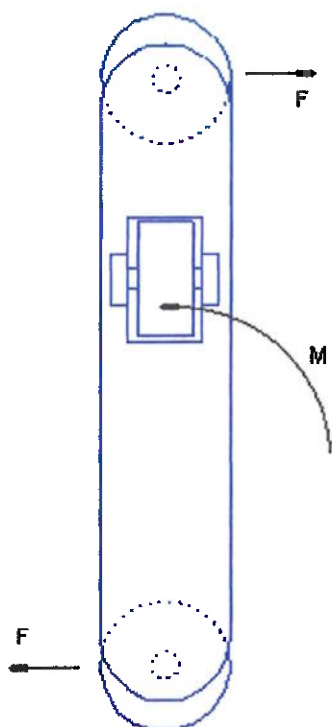
Realiza o encaixe entre o carro e a guia de levantamento.

e) Projeto funcional

O encaixe transfere os momentos aplicados pelo carregamento à guia da seguinte forma :

Durante as operações de subida e descida todo o momento gerado pela carga é transmitido ao carro de elevação e deste para as guias verticais. Assim nos pontos de contato ( rolamentos ) existem grandes forças de contato agindo. Para minimizar o atrito o contato será feito através de rolamentos.





#### 1.2.1.1. Rolamento Frontal

a) Desenhos 1.2.1,

d) Parâmetros :

Carga :

$P = 3.6 \text{ Ton.}$

$V = 400 \text{ mm / s}$

e) Projeto Funcional ou Função :

f) Projeto Estrutural : Ver Memorial 1.2.1.1

Foi selecionado o rolamento SKF 6319 com os seguintes parâmetros :

$D = 200 \text{ mm}$

$d = 95 \text{ mm}$

$B = 45 \text{ mm}$

$C = 153\,000 \text{ N}$

#### 1.2.1.2. Rolamento Lateral

a) Esquema ou desenho:

b) Subsistemas :

c) Entradas e saídas :

d) Parâmetros :

e) Projeto Funcional ou Função :

f) Projeto Estrutural :

### 1.2.1.3.Eixo do Rolamento Frontal

- a)Esquema ou desenho:
- b)Subsistemas :
- c)Entradas e saídas :
- d)Parâmetros :
- e)Projeto Funcional ou Função :
- f)Projeto Estrutural :

### 1.2.1.4.Eixo do Rolamento Lateral

- a)Esquema ou desenho:
- b)Subsistemas :
- c)Entradas e saídas :
- d)Parâmetros :
- e)Projeto Funcional ou Função :
- f)Projeto Estrutural :

### 1.2.1.5.Peça Fundida

- a)Esquema ou desenho:
- b)Subsistemas :
- c)Entradas e saídas :
- d)Parâmetros :
- e)Projeto Funcional ou Função :
- f)Projeto Estrutural :

### 1.2.2. Trave de ligação

- a) Aspecto : veja desenho 1.2.2
- b) Subsistemas : Peça única
- d) Funções :  
Faz a ligação entre os dois apoios e suporta o sistema de carga descarga lateral.

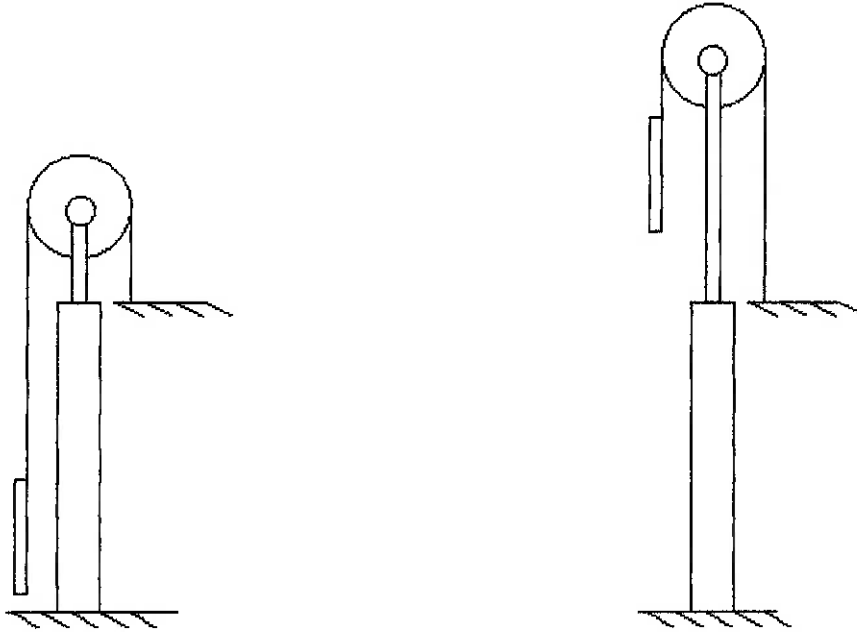
## 1.3. Topo do Cilindro

- a) Aspecto : veja desenho 1.3
- b) Subsistemas :
  - 1.3.1 Encaixe lateral curto
  - 1.3.2 Sistema Corrente
    - 1.3.2.1 Corrente (duas peças)
    - 1.3.2.2 Roda dentada (duas peças)
    - 1.3.2.3 Rolamentos (duas peças)

- 1.3.2.4 Encaixe no cilindro (1 peça)
- 1.3.2.5 Parafusos de encaixe (2 peças)
- 1.3.3 Barra Transversal
- 1.3.4 Ligação com o topo do Cilindro

d) Funções :

Recebe a ação de deslocamento do cilindro e transmite ao carro de elevação, da forma mostrada abaixo. Realiza o trabalho de levantamento.



Como o projeto do cilindro será visto dentro do projeto hidráulico, consideramos a elevação do sistema Topo do Cilindro (ação de deslocamento do cilindro) como uma entrada.

### 1.3.1. Encaixe lateral Curto

- a) Esquema ou desenho: 1.3.1
- b) Subsistemas :
  - 1.3.1.1 Rolamentos
  - 1.3.1.2 Peças elementares
- c) Entradas e saídas :
- d) Parâmetros :
- e) Projeto Funcional ou Função :
- f) Projeto Estrutural :

### 1.3.2. Sistema Corrente

- a) Esquema ou desenho: 1.3.2
- b) Subsistemas :
  - 1.3.2.1 Rolamentos
  - 1.3.2.2 Peças elementares
  - 1.3.2.3 Roda dentada

- c) Entradas e saídas :
- d) Parâmetros :
- e) Projeto Funcional ou Função :
- f) Projeto Estrutural :

### 1.3.3. Barra Transversal

- a) Esquema ou desenho: 1.3.3
- b) Subsistemas :
- c) Entradas e saídas :
- d) Parâmetros :
- e) Projeto Funcional ou Função :
- f) Projeto Estrutural :

## 2. Sistema Deslocamento

Acionamento lateral

Dimensões

- comprimento : 0,5 metro
- forma : vide desenho
- peso : 0,5 tonelada ( estimado )

Funções

Realiza ações de carga e descarga lateral.

## 3. Sistema Armazenamento

- a) Esquema ou desenho: Desenho nº 3
- b) Subsistemas :

### 3.1 Carro Lateral

- 3.1.1 Rolamento do Carro Lateral
- 3.1.2 Base do Carro Lateral
- 3.1.3 Peças Fundidas ( suportes, etc. )

### 3.2 Base

- 3.2.1 Trilho Lateral
- 3.2.2 Base do Trilho

- c) Entradas e saídas

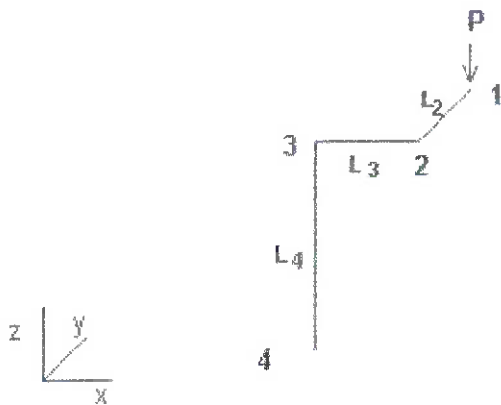
Como no sistema de elevação o trabalho é realizado pôr cilindros hidráulicos, assim sua ação será caracterizada como entrada; como mostrado na figura \*\*\* como um fluxo de potência hidráulica.

- e) Funções :  
Desloca a carga lateralmente.

**ANEXO 3**  
**CÁLCULO ESTRUTURAL**  
**MEMORIAL**

## MEMORIAL DE CÁLCULO 1.1

### Dimensionamento da guia de levantamento



Agora apresentamos a rotina de cálculo utilizada para a determinação do carregamento nos diversos subsistemas.

No esquema ao lado cada barra representa um dos subsistemas citados.

#### Carga

$$P := 3 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf}$$

Peso específico estimado :

$$L_2 := 1 \cdot \text{m} \quad Pe_2 := \frac{333 \cdot \text{kgf}}{\text{m}}$$

$$L_3 := 1.5 \cdot \text{m} \quad Pe_3 := \frac{.5 \cdot \text{kgf}}{\text{m}}$$

$$L_4 := 5 \cdot \text{m} \quad Pe_4 := \frac{30 \cdot \text{kgf}}{\text{m}}$$

Material da guia escolhido como SAE 1050

$$E := 10^{12} \cdot \text{Pa}$$

$$\sigma := 63 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

No ponto 1 ( Sistema de D. lateral ) :

### Cargas

### Flexão

$$P_{x_1} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{x_1} = 0 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$P_{y_1} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{y_1} = 0 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$P_{z_1} = P$$

$$F_{z_1} = 0 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

No ponto 2 ( Carro de levantamento ) :

$$P_{x_2} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{x_2} = F_{x_1} + P_{z_1} \cdot L_2 + \frac{P_{e_2} \cdot (L_2)^2}{2}$$

$$P_{y_2} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{y_2} = 0 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$P_{z_2} = P + P_{e_2} \cdot L_2$$

$$F_{z_2} = 0 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

No ponto 3 ( Guia de levantamento ) :

$$P_{x_3} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{x_3} = F_{x_2}$$

$$P_{y_3} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{y_3} = F_{y_2} + P_{z_2} \cdot L_3 + \frac{P_{e_3} \cdot (L_3)^2}{2}$$

$$P_{z_3} = 0 \cdot \text{kgf} \quad (\text{o cilindro suporta a compressão})$$

$$F_{z_3} = F_{z_2}$$

No ponto 4

$$P_{x_4} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{x_4} = F_{x_3}$$

$$P_{y_4} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{y_4} = F_{y_3}$$

$$P_{z_4} = P_{z_3} + P_{e_4} \cdot L_4$$

$$F_{z_4} = F_{z_3}$$

Esforços no engaste

$$P_{x_4} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{x_4} = 3.167 \cdot 10^3 \cdot \text{m} \cdot \text{kgf}$$

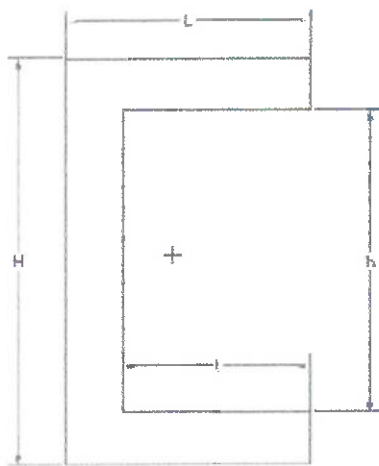
$$P_{y_4} = 0 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{y_4} = 5 \cdot 10^3 \cdot \text{m} \cdot \text{kgf}$$

$$P_{z_4} = 150 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{z_4} = 0 \cdot \text{m} \cdot \text{kgf}$$

Tomamos a forma aproximada da secção do trilho de levantamento



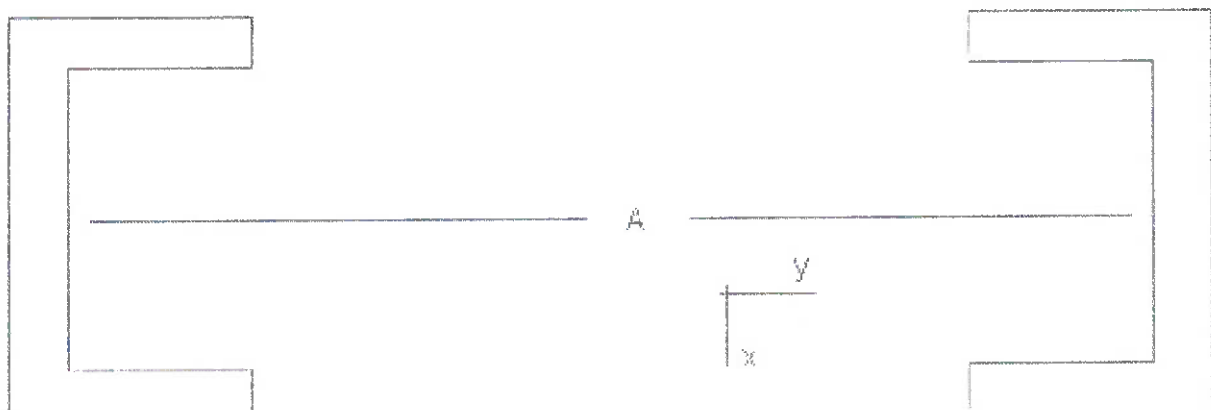
Para este tipo de secção temos :

$$S(H, h, L, l) = H \cdot L - h \cdot l$$

$$I_x(H, h, L, l) = \frac{L \cdot H^3 - l \cdot h^3}{12} \cdot 2$$

Dois lados iguais

No nosso caso temos :

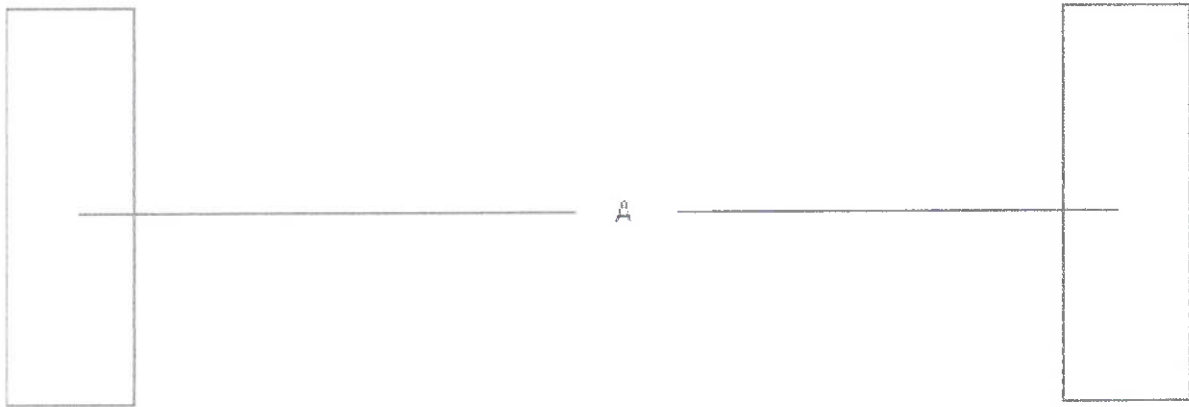




$$I_y(H, h, L, l) = 2 \cdot \frac{L \cdot H^3 - l \cdot h^3}{12}$$

$$W_y(H, h, L, l) = I_y(H, h, L, l) \cdot \frac{2}{H}$$

Supondo  $A \gg L$  (duas ordens de grandeza) podemos admitir que a semelhança com :



Para uma mesma área.

Dessa forma temos :

$$I_x(A, H, h, L, l) = \left(\frac{A}{2}\right)^2 \cdot S(H, h, L, l) \cdot 2$$

$$W_x(A, H, h, L, l) = I_x(A, H, h, L, l) \cdot \frac{2}{A}$$

Agora devemos calcular  $W_x$  e  $W_y$  mínimos para o carregamento citado

$$F_{x_4} = 3.167 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$F_{y_4} = 5 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

Em X :

$$W_x > \frac{F_{x_4}}{\sigma}$$

$$\frac{F_{x_4}}{\sigma} = 5.026 \cdot 10^{-5} \cdot m^3$$

$$W_x > 5.026 \cdot 10^{-5} \cdot m^3$$

$$W_y > \frac{F_{y_4}}{\sigma}$$

$$\frac{F_{y_4}}{\sigma} = 7.937 \cdot 10^{-5} \cdot m^3$$

$$W_y > 7.937 \cdot 10^{-5} \cdot m^3$$

Para

$$A = 1 \cdot m$$

Podemos considerar o triho como uma chapa longa dobrada, de espessura "e". Suas dimensões l e h dependem do dimensionamento dos rolamentos de encaixe ( elementos 1.2.1.1 e 1.2.1.2 , parte do sistema levantamento).

Do memorial 1.2.1.1 ( rolamento frontal ) temos

$$D = 72 \cdot mm$$

$$d = 30 \cdot mm$$

$$B = 27 \cdot mm$$

Do memorial 1.2.1.2 (rolamento lateral ) temos

$$D = 42 \cdot mm$$

$$d = 15 \cdot mm$$

$$B = 13 \cdot \text{mm}$$

Temos as dimensões da guia

$$h = 72 \cdot \text{mm}$$

$$l = 42 \cdot \text{mm}$$

$$W_x > 5.026 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^3$$

$$W_y > 7.937 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^3$$

$$e = \frac{5}{8} \cdot \text{in} \quad e = 15.875 \cdot \text{mm}$$

$$H = h + 2 \cdot e$$

$$L = l + e$$

$$W_x(A, H, h, L, l) = 0.003 \cdot \text{m}^3$$

$$W_y(H, h, L, l) = 1.573 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^3$$

$$\text{segurançaY} = \left( \frac{W_y(H, h, L, l)}{7.937 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^3} \right)$$

$$\text{segurançaX} = \frac{W_x(A, H, h, L, l)}{5.026 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^3}$$

$$\text{segurançaY} = 1.982$$

$$\text{segurançaX} = 59.302$$

Dimensões finais da guia :

$$H = 103.75 \cdot \text{mm}$$

$$h = 72 \cdot \text{mm}$$

$$L = 57.875 \cdot \text{mm}$$

$$l = 42 \cdot \text{mm}$$

### MEMORIAL 1.2.1.1 Rolamento Frontal

#### Carga

$$P := 3 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf}$$

#### Braço de alavanca ( altura do carro de elevação )

$$l := 500 \cdot \text{mm}$$

#### Momento Total

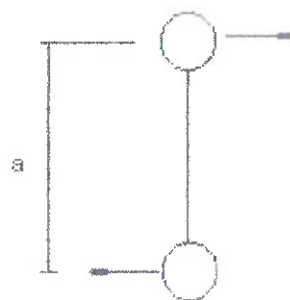
$$M_{\text{tot}} := P \cdot l$$

$$M_{\text{tot}} = 1.5 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

#### Em cada lado

$$M = \frac{M_{\text{tot}}}{2}$$

$$M = 750 \cdot \text{m} \cdot \text{kgf}$$



#### Força máxima

$$a \cdot F = M$$

$$a := 410 \cdot \text{mm}$$

$$F := \frac{M}{a}$$

$$F = 1.829 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf}$$

#### Força mínima ( $P = 250 \text{ kgf}$ )

$$F_{\text{min}} := \frac{F \cdot 250 \cdot \text{kgf}}{P}$$

$$F_{min} = 152.439 \cdot \text{kgf}$$

Velocidade de subida

$$V = 40 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

$$C_{cm} = (.5 \cdot F^3 + .5 \cdot F_{min}^3)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{cm} = 1.452 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf} \quad (\text{carga cúbica equivalente})$$

Para cada rolamento

$$P = C_{cm}$$

Seleção do rolamento pelo catálogo SKF

Tipo Rolamentos rígidos de cilindros

$$P = 1.424 \cdot 10^4 \cdot \text{newton}$$

Vamos impor uma vida

$$L_{10h} = 25000$$

$$V = 40 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

estimando o diâmetro do rolamento

$$\phi = 10 \cdot \text{cm}$$

$$\omega = \frac{V}{\left(\frac{\phi}{2}\right)}$$

$$\omega = 8 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$n := \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$n = 76.394 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$L_{10} := \frac{60 \cdot 76.394}{1000000} \cdot L_{10h}$$

$$L_{10} = 114.591 \quad (\text{vida em milhões de revoluções})$$

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$$p := \frac{10}{3} \quad (\text{rolamentos de rolos})$$

$$P = 1.424 \cdot 10^4 \cdot \text{newton}$$

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$$C = \left( L_{10} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot P$$

$$C = (76.395)^{\frac{3}{10}} \cdot (7.12 \cdot 10^3)$$

$$C = 2.615 \cdot 10^4 \quad \text{capacidade de carga dinâmica}$$

Rolamento selecionado : SKF NU205 EC

$$C = 28.600 \cdot \text{newton}$$

$$D = 52 \cdot \text{mm}$$

$$d = 25 \cdot \text{mm}$$

Recalculando o rolamento para o novo raio

$$\phi = 52 \cdot \text{mm}$$

$$\omega = \frac{V}{\left(\frac{\phi}{2}\right)}$$

$$\omega = 15.385 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$n = 146.912 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$L_{10} = \frac{60 \cdot 146.912}{1000000} \cdot L_{10h}$$

$$L_{10} = 220.368 \quad (\text{vida em milhões de revoluções})$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$p = \frac{10}{3} \quad (\text{rolamentos de roletes})$$



$$P = 1.424 \cdot 10^4 \cdot \text{newton}$$

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$$C = \left( L_{10} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot P$$

$$P = 1.424 \cdot 10^4 \cdot \text{newton}$$

$$C := (220.368)^{\frac{3}{10}} \cdot (1.424 \cdot 10^4)$$

$$C = 7.185 \cdot 10^4 \quad \text{capacidade de carga dinâmica}$$

Devemos selecionar um novo rolamento novo rolamento NU 2306 EC.

$$D = 72 \cdot \text{mm}$$

$$d = 30 \cdot \text{mm}$$

$$B = 27 \cdot \text{mm}$$

Como o diâmetro nominal é próximo ao diâmetro estimado aceitamos este rolamento.

## MEMORIAL 1.2.1.2 ROLAMENTO LATERAL

### Exentricidade

$$e := 150 \cdot \text{mm}$$

### Carga

$$P := 3 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf}$$

### Momento aplicado

$$M := P \cdot e$$

$$M = 450 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

### Distância vertical entre os rolamentos

$$l = 500 \cdot \text{mm}$$

$$2 \cdot F \cdot \frac{l}{2} = M$$

$$F := \frac{M \cdot 1}{l \cdot 2}$$

$$F = 450 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{\min} = \frac{F \cdot 250 \cdot \text{kgf}}{P}$$

$$F_{\min} = 37.5 \cdot \text{kgf}$$

$$C_{\text{cm}} := (.5 \cdot F^3 + .5 \cdot F_{\min}^3)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{\text{cm}} = 357.234 \cdot \text{kgf} \quad (\text{carga cúbica equivalente})$$

### Para cada rolamento

$$P := C_{\text{cm}}$$



$$P = 3.503 \cdot 10^3 \cdot \text{newton}$$

Seleção do rolamento pelo catálogo SKF

Tipo Rolamentos rígidos de cilindros

$$P = 3.503 \cdot 10^3 \cdot \text{newton}$$

$$V = 40 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

Vamos impor uma vida

$$L_{10h} = 25000$$

estimando o diâmetro do rolamento

$$\phi = 4 \cdot \text{cm}$$

$$\omega = \frac{V}{\left(\frac{\phi}{2}\right)}$$

$$\omega = 20 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$n = 190.986 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$L_{10} = \frac{60 \cdot 190.986}{1000000} \cdot L_{10h}$$

$$L_{10} = 286.479 \quad (\text{vida em milhões de revoluções})$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$p := \frac{10}{3} \quad (\text{rolamentos de rolos})$$

$$P = 3.503 \cdot 10^3 \cdot \text{newton}$$

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$$C = \left( L_{10} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot P$$

$$C := (286.479)^{\frac{3}{10}} \cdot (3.503 \cdot 10^3)$$

$$C = 1.912 \cdot 10^4 \quad \text{capacidade de carga dinâmica}$$

Rolamento selecionado : SKF NU302 EC

$$D := 42 \cdot \text{mm}$$

$$d := 15 \cdot \text{mm}$$

$$B := 13 \cdot \text{mm}$$

Como o diâmetro nominal é próximo ao diâmetro estimado aceitamos este rolamento.

### MEMORIAL 1.2.1.3 Eixo dos Rolamentos do encaixe lateral

Temos os seguintes parâmetros dos rolamentos :

$$D := 200 \cdot \text{mm}$$

$$d := 95 \cdot \text{mm} \quad P := 3.659 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf}$$

$$B := 45 \cdot \text{mm}$$

Comprimento do eixo

$$l := 40 \cdot \text{mm}$$

Material do eixo SAE 1030 laminado a quente

$$\sigma := 26 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

$$W := \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

$$W = 8.417 \cdot 10^4 \cdot \text{mm}^3$$

$$\sigma > \frac{M}{W}$$

$$M := l \cdot P$$

$$M = 146.36 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M}{W} = 1.705 \cdot 10^7 \cdot \text{Pa}$$

$$\text{segurança} := \frac{\sigma}{\left( \frac{M}{W} \right)}$$

$$\text{segurança} = 1.525$$

O eixo irá sustentar

### 3.1.1 MEMORIAL DO ROLAMENTO DO CARRO LATERAL

Carga máxima aplicada ( ver memorial 3.2.1)

$$P_{\max} := 1.2 \cdot 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$P_{\min} := \frac{P_{\max}}{20}$$

Como o rolamento fica apenas metade do tempo sobre carga máxima, podemos calcular a carga cúbica média

$$P := (P_{\max}^3 \cdot 0.5 + P_{\min}^3 \cdot 0.5)^{\frac{1}{3}} \quad P = 9.525 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf}$$

Velocidade

$$V := 25 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

Tipo do rolamento: rolos cilíndricos

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$$p = \frac{10}{3}$$

$$L_{10h} = 20000$$

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

Como não conhecemos as rotações, mas apenas a velocidade de trabalho, vamos supor um diâmetro para o rolamento de 100 mm

$$\phi = 100 \cdot \text{mm}$$

$$\omega := \frac{V}{\left( \frac{\phi}{2} \right)}$$

$$\omega = 5 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$n = 47.746 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$20000 = \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$$C = \left( \frac{20000 \cdot 60 \cdot 47.746}{1000000} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot P \quad \left( \frac{20000 \cdot 60 \cdot 47.746}{1000000} \right)^{\frac{1}{p}} = 3.368$$

$$C = 3.208 \cdot 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$C = 320.000 \cdot \text{N}$$

Rolamento selecionado

$$D = 160 \cdot \text{mm}$$

$$d = 75 \cdot \text{mm}$$

$$b = 55 \cdot \text{mm}$$

$$\text{peso} = 6.4 \cdot \text{kg}$$

Como o diâmetro está muito distante vamos fazer mais uma iteração.

$$\phi = 160 \cdot \text{mm}$$

$$\omega = \frac{V}{\left( \frac{\phi}{2} \right)}$$

$$\omega = 3.125 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$n := \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$n = 29.842 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$20000 = \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$$C = \left( \frac{20000 \cdot 60 \cdot 29.842}{1000000} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot P \quad \left( \frac{20000 \cdot 60 \cdot 29.842}{1000000} \right)^{\frac{1}{p}} = 2.926$$

$$C = 2.786 \cdot 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$C = 280.000 \cdot \text{N}$$

Para essa carga utilizamos um rolamento do mesmo diâmetro

$$D = 160 \cdot \text{mm}$$

$$d = 75 \cdot \text{mm}$$

$$b = 55 \cdot \text{mm}$$

$$\text{peso} = 4.9 \cdot \text{kg}$$

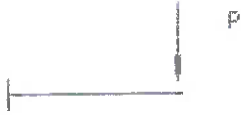
Tipo SKF NU 2315 EC

Estes dados serão aplicados no desenho final.



### 3.1.2 BASE DO CARRO LATERAL

Para um carregamento do tipo :



$$L = \frac{1100 \cdot \text{mm}}{2} \quad \text{carga aplicada no centro}$$

$$a = 1000 \cdot \text{mm}$$

$$P = 3 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf}$$

$$w = \frac{a \cdot e^2}{6} \quad \text{Queremos calcular a espessura e mínima}$$

Material escolhido : aço 1070 laminado a quente

$$\sigma = 39 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$w = \frac{M}{\sigma} \cdot \text{segurança}$$

$$M = P \cdot L$$

$$M = 1.65 \cdot 10^3 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$w = \frac{M}{\sigma}$$

$$\frac{a \cdot e^2}{6} = \frac{M}{\sigma}$$

$$e := \sqrt{\frac{M \cdot 6}{a \cdot \sigma}}$$

$$e = 15.933 \cdot \text{mm}$$

$$e = 0.627 \cdot \text{in}$$

$$\frac{3}{4} = 0.75$$

Usamos uma chapa de 3 / 4 "

$$e := 0.75 \cdot \text{in}$$

$$e = 19.05 \cdot \text{mm}$$

Temos uma segurança dada por :

$$w := \frac{a \cdot e^2}{6}$$

$$w = 6.048 \cdot 10^4 \cdot \text{mm}^3$$

$$\frac{w}{\sigma} = M \cdot \text{segurança}$$

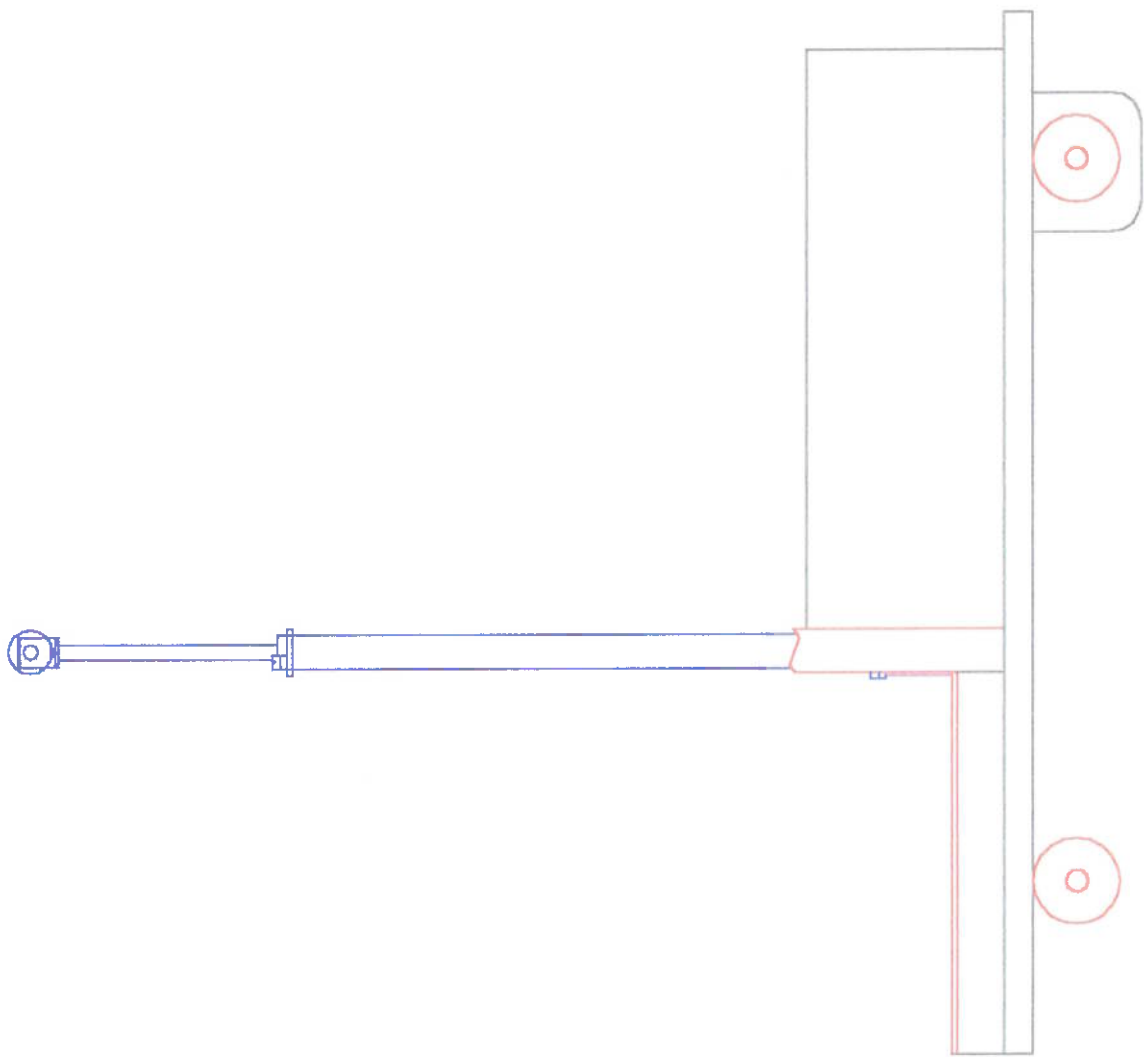
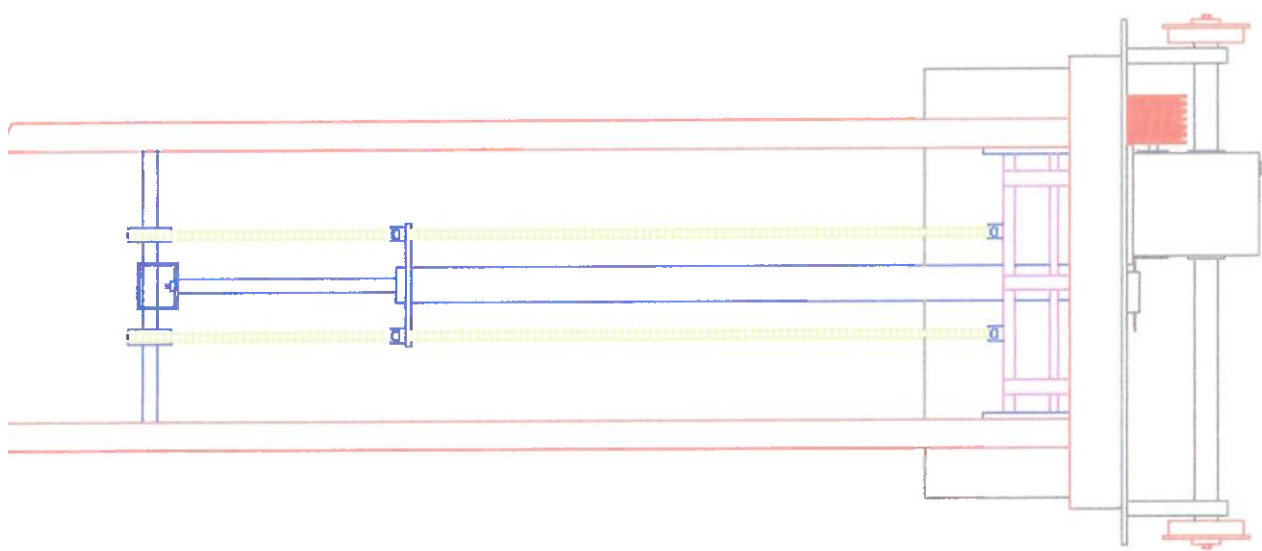
$$\text{segurança} := \frac{w \cdot \sigma}{M}$$

$$\text{segurança} = 1.43$$

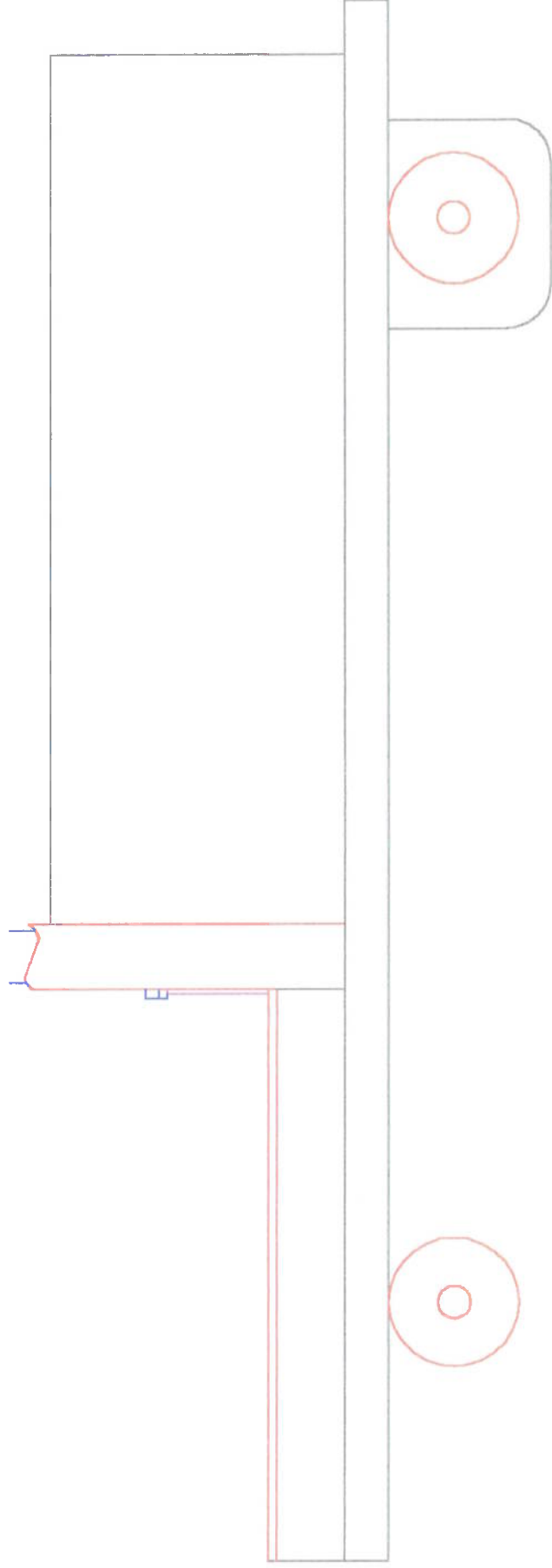
É um fator suficiente considerando que o peso aplicado será sempre menor que 3 ton.

# **ANEXO 4**

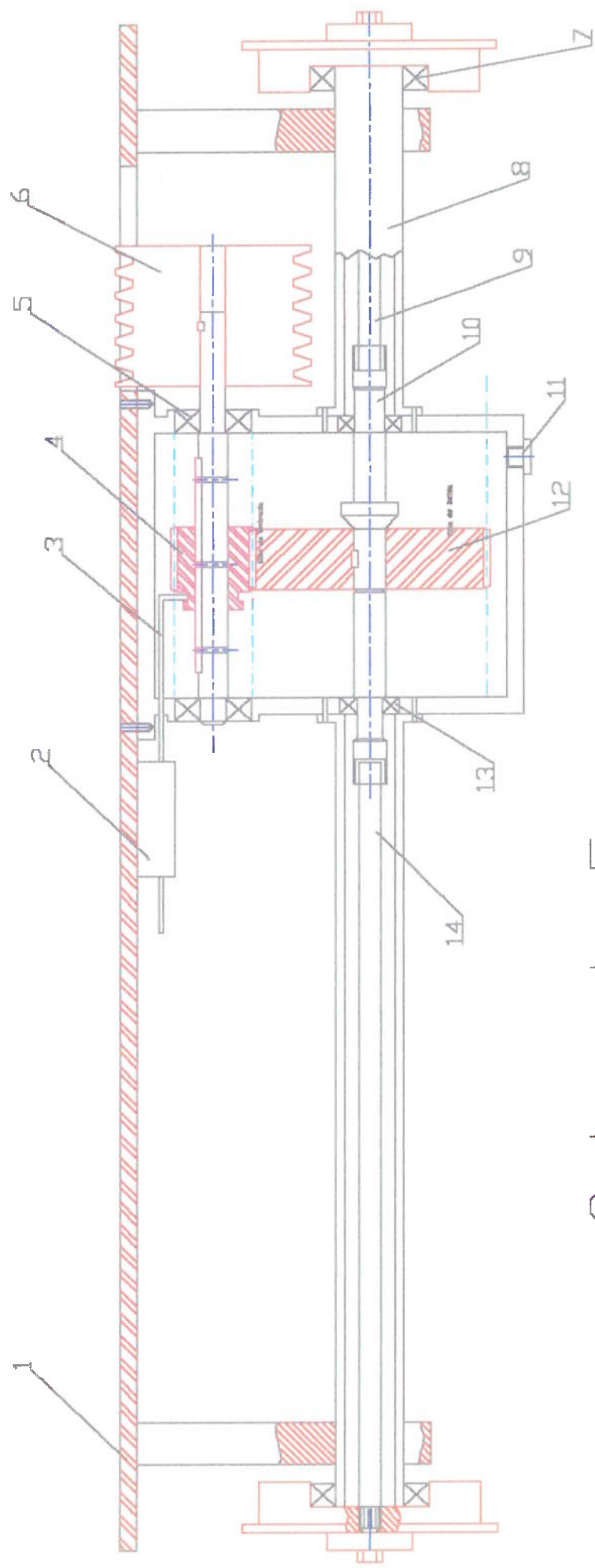
## **DESENHOS**



Desenho De Conjunto



Detalhe do Desenho De Conjunto



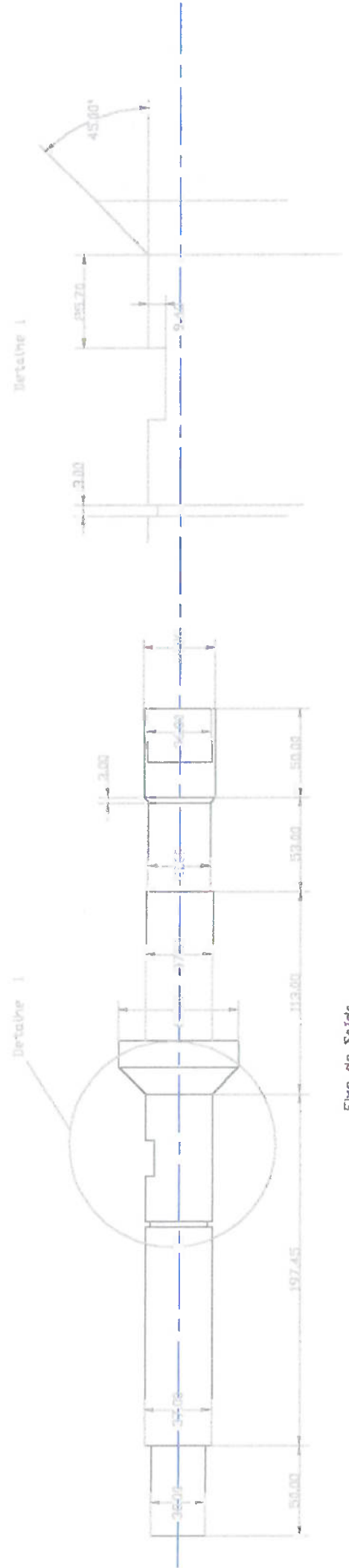
Caixa de Engrenagens

## LISTA DE PEÇAS DA CAIXA DE TRANSMISSÃO

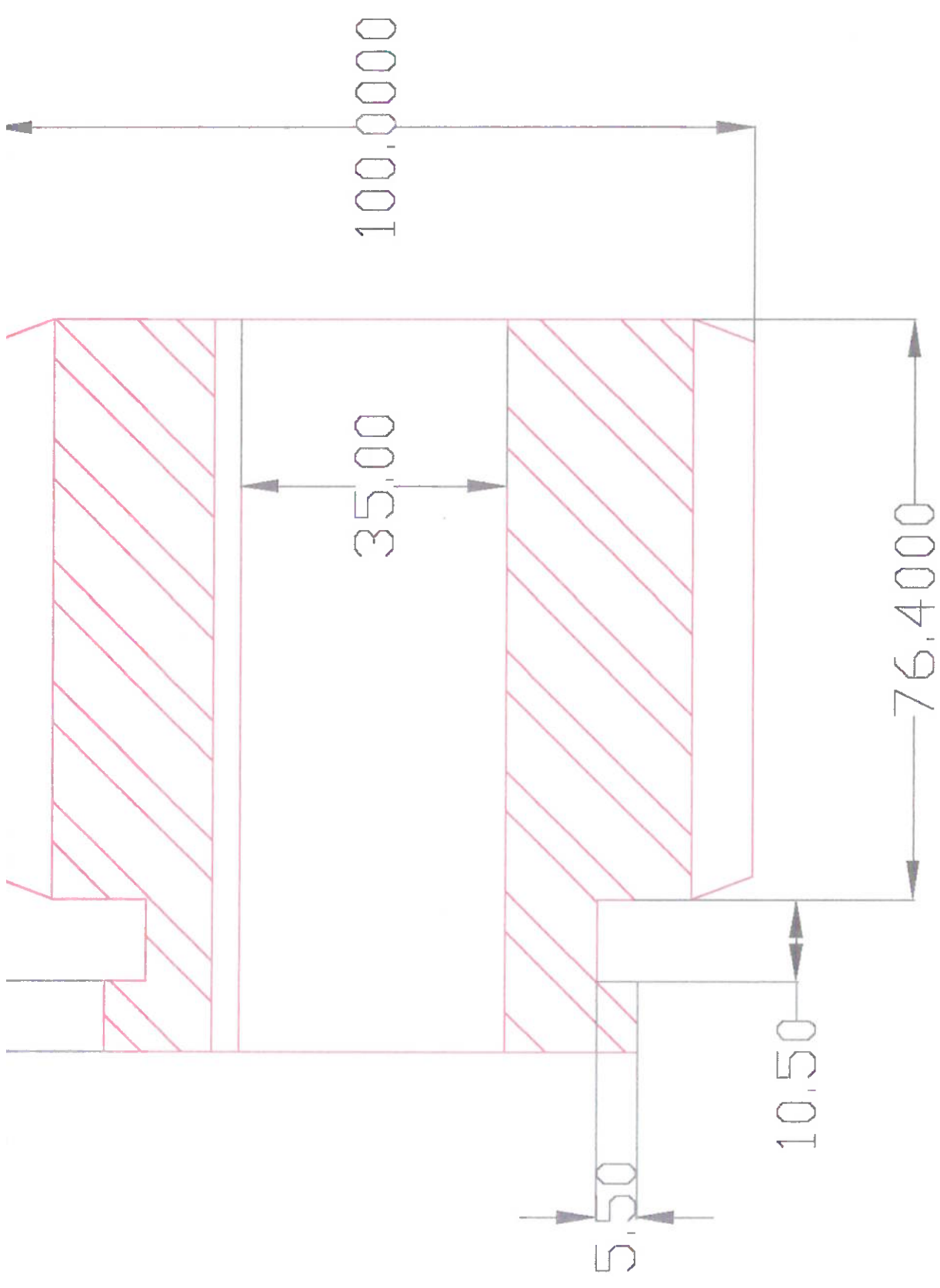
| Número | Denominação   | Quantidade | Material |
|--------|---------------|------------|----------|
| 1      | Base          | 1          | SAE 1020 |
| 2      | Solenóide     | 1          |          |
| 3      | Garfo         | 1          | SAE 1020 |
| 4      | Pinhão        | 1          | SAE 4340 |
| 5      | Rolamento     | 2          | Aço      |
| 6      | Polia         | 1          | SAE 1020 |
| 7      | Rolamento     | 2          | Aço      |
| 8      | Tubo de apoio | 2          | SAE 1020 |
| 9      | Semi-eixo     | 1          | SAE 1050 |
| 10     | Eixo          | 1          | SAE 1050 |
| 11     | Bujão         | 1          |          |
| 12     | Coroa         | 1          | SAE 4340 |
| 13     | Rolamento     | 2          | Aço      |
| 14     | Semi-eixo     | 1          | SAE 1050 |

Elxo de Entrada





Eixo de Saída



Pinhão

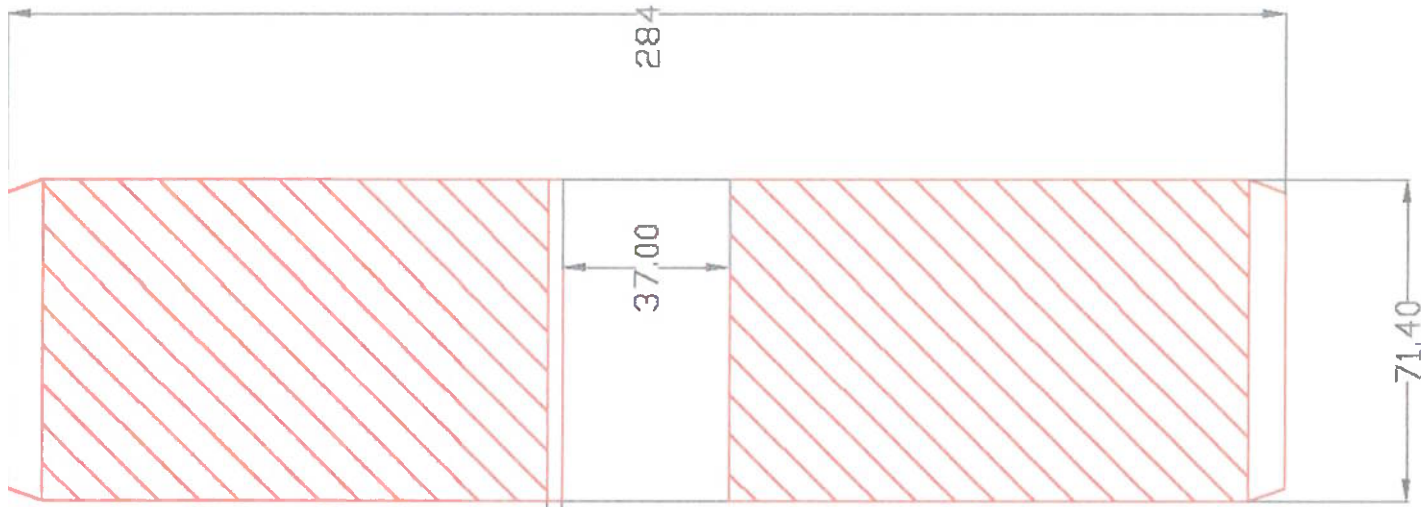
COROA

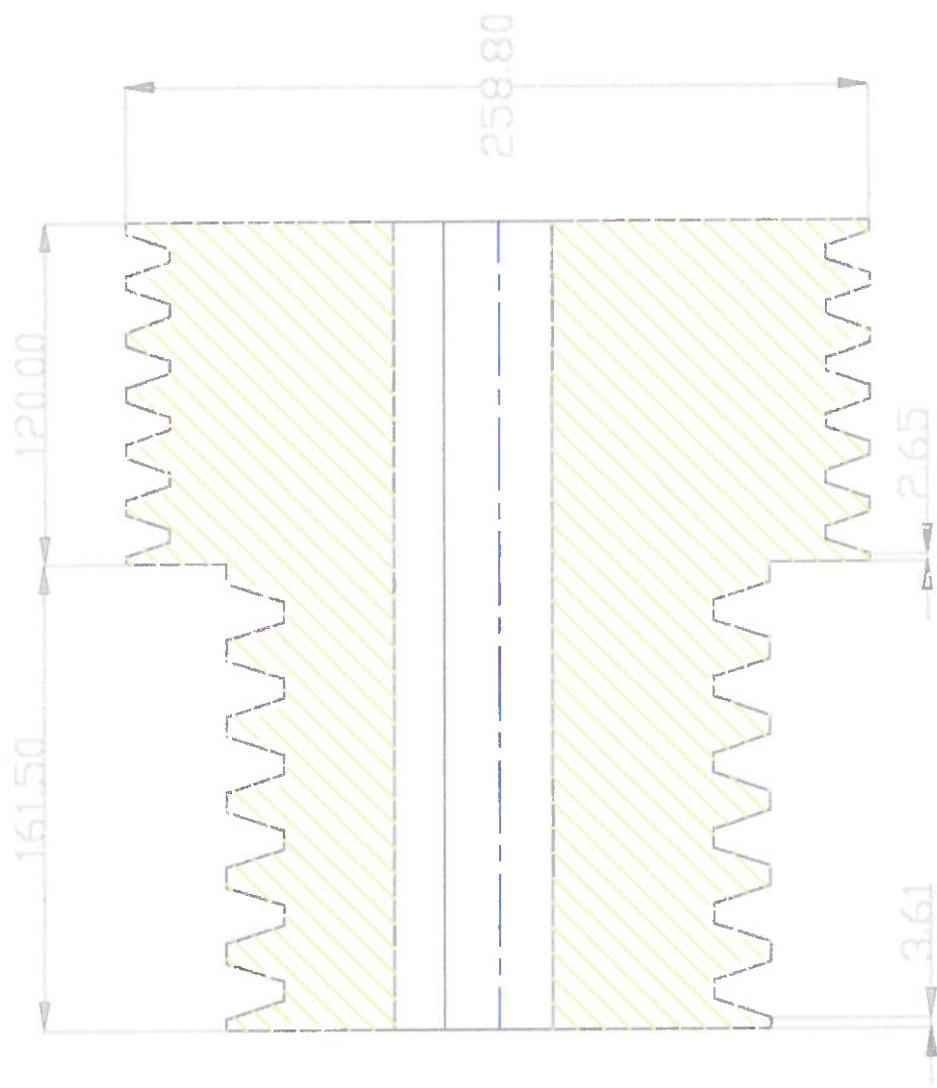
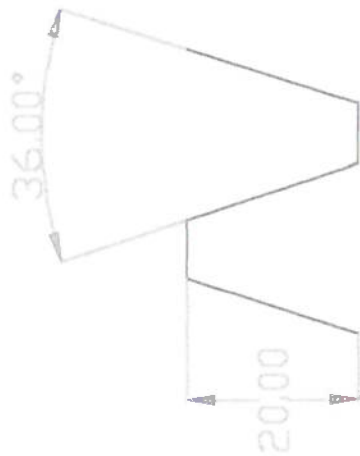
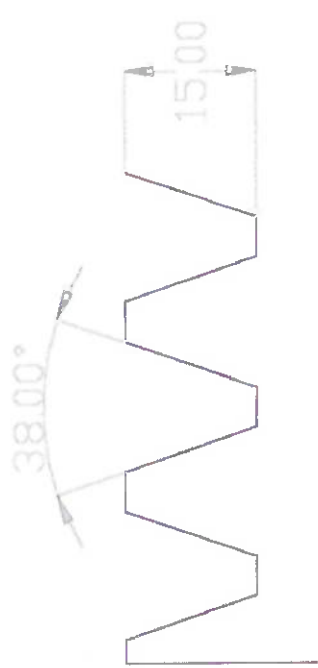
3,40

37,00

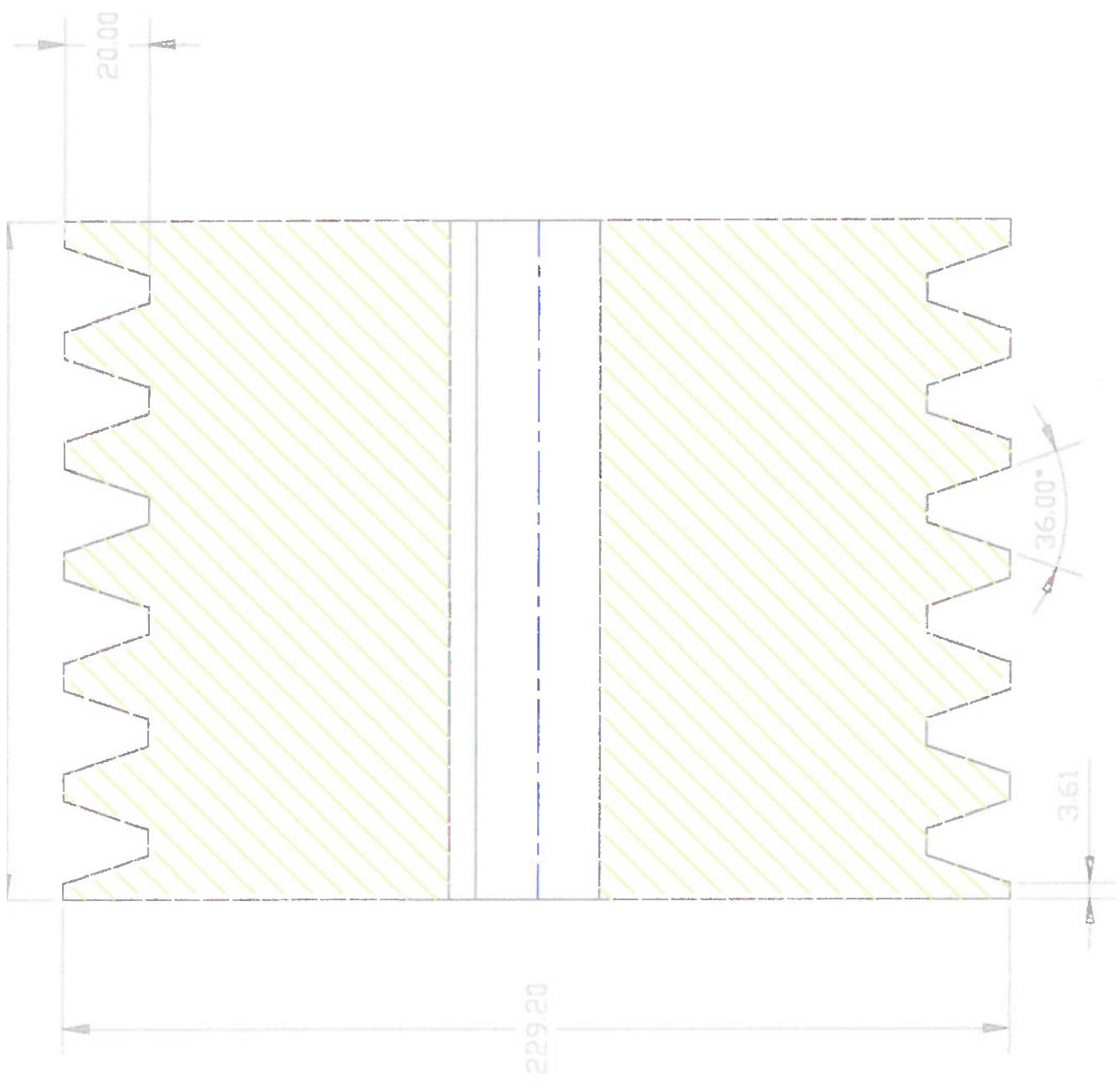
284,00

71,40

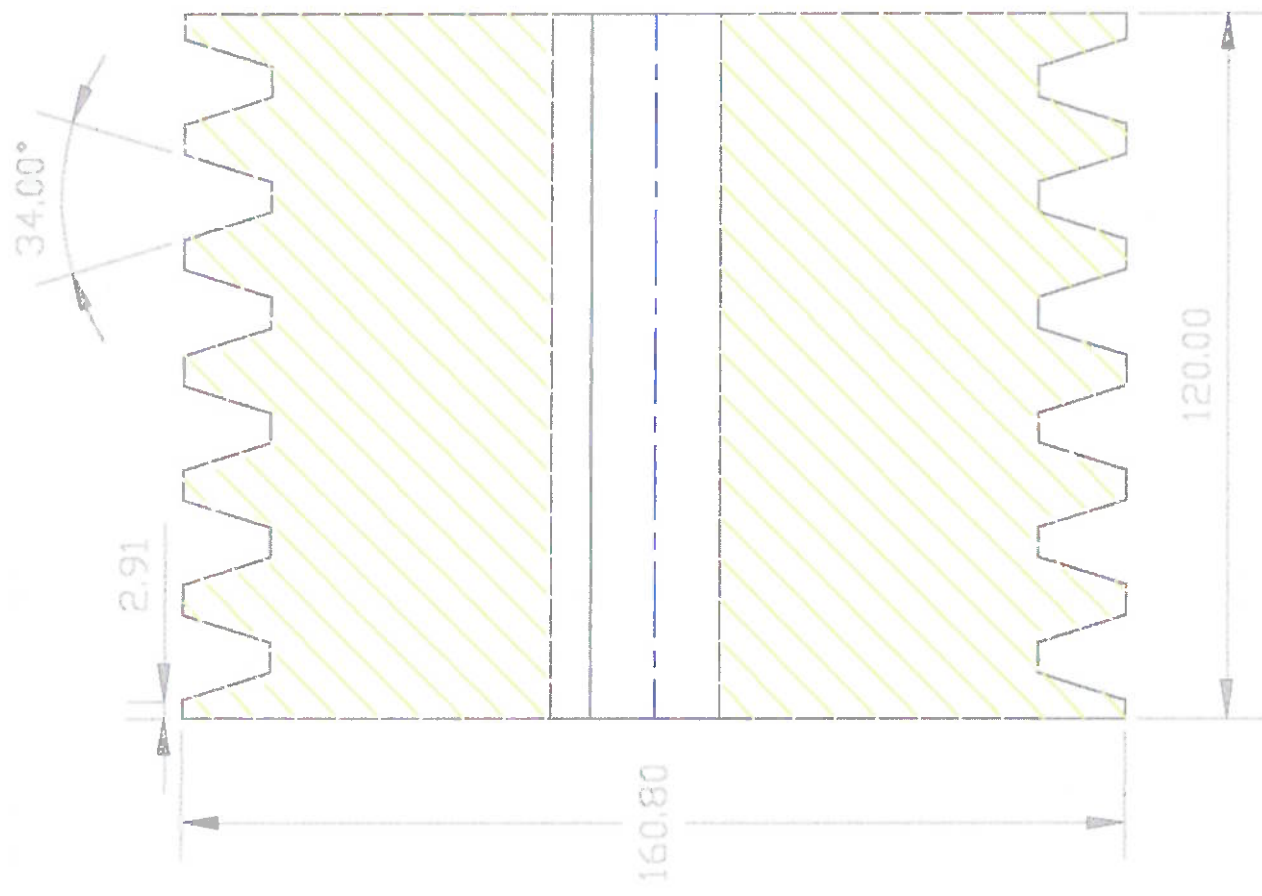




Polia do Motor

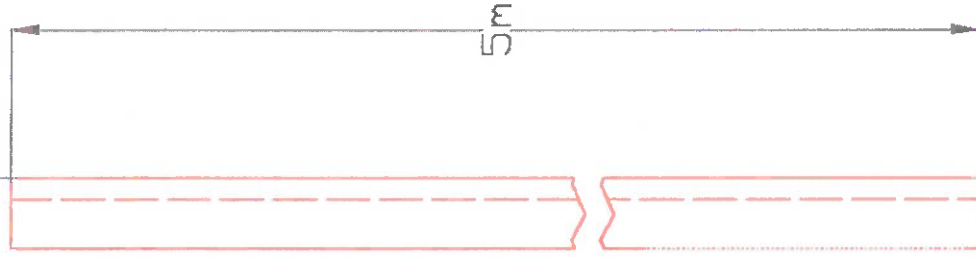
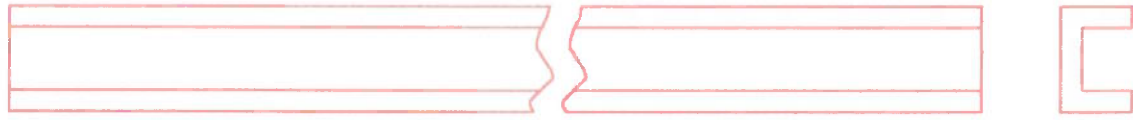


Polia da Caixa



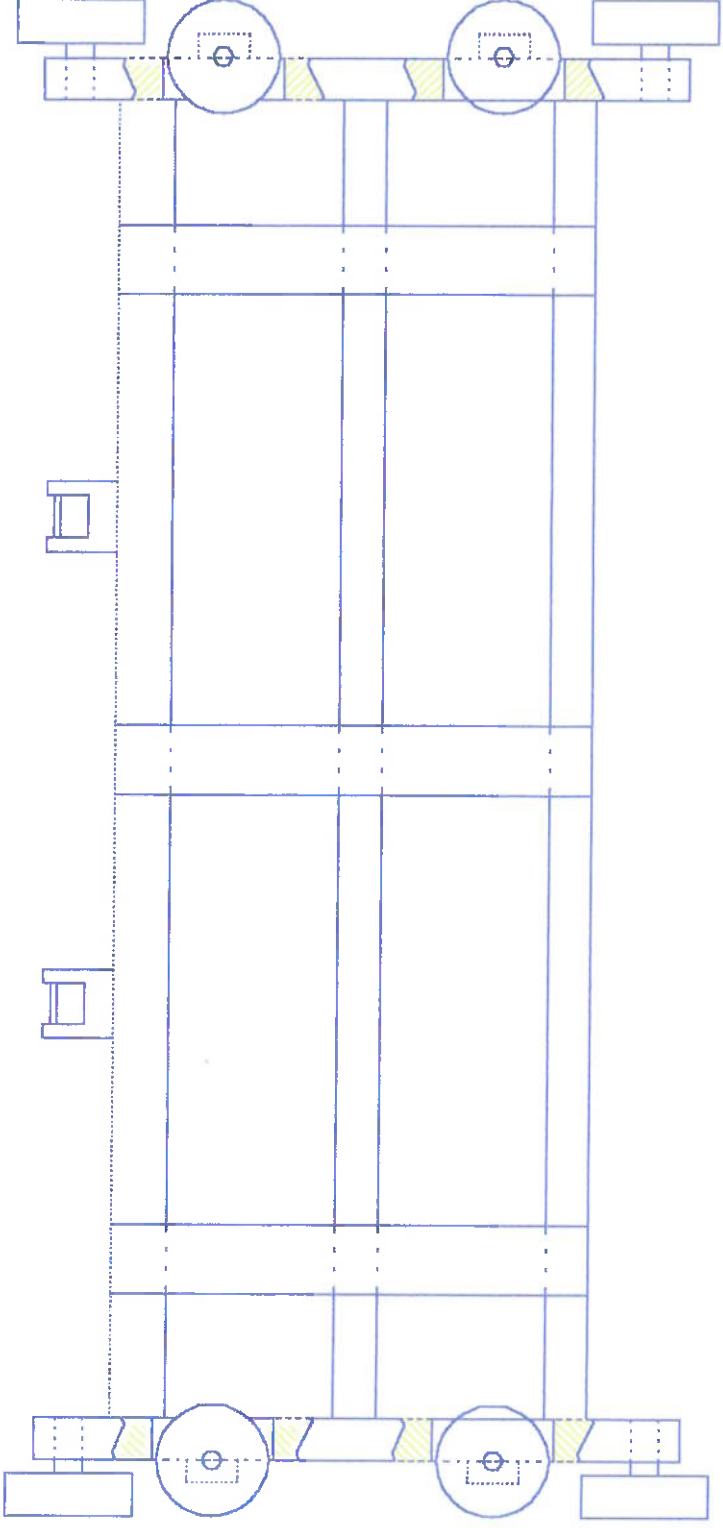
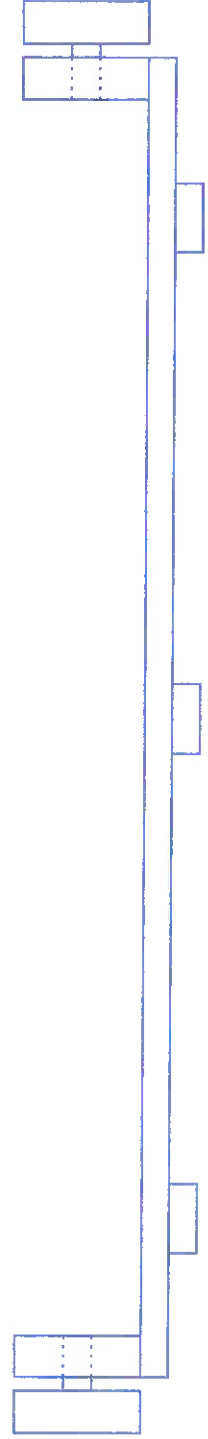
Polia da Bomba

1.1

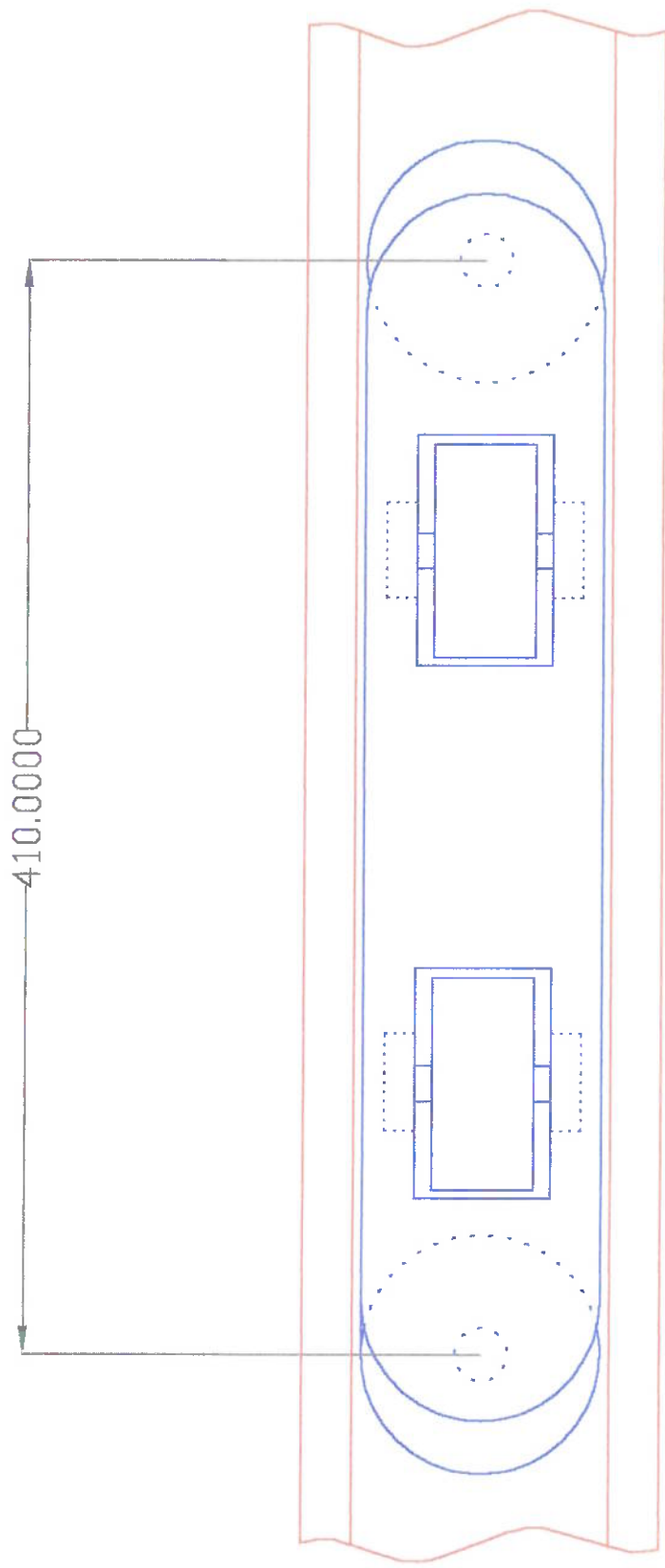
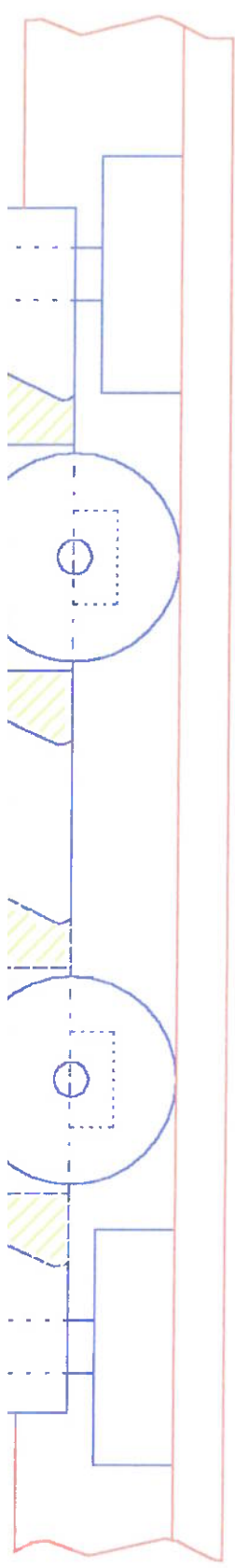


## 1.1 Guia de Levantamento

## 1.2 Carro de Elevação

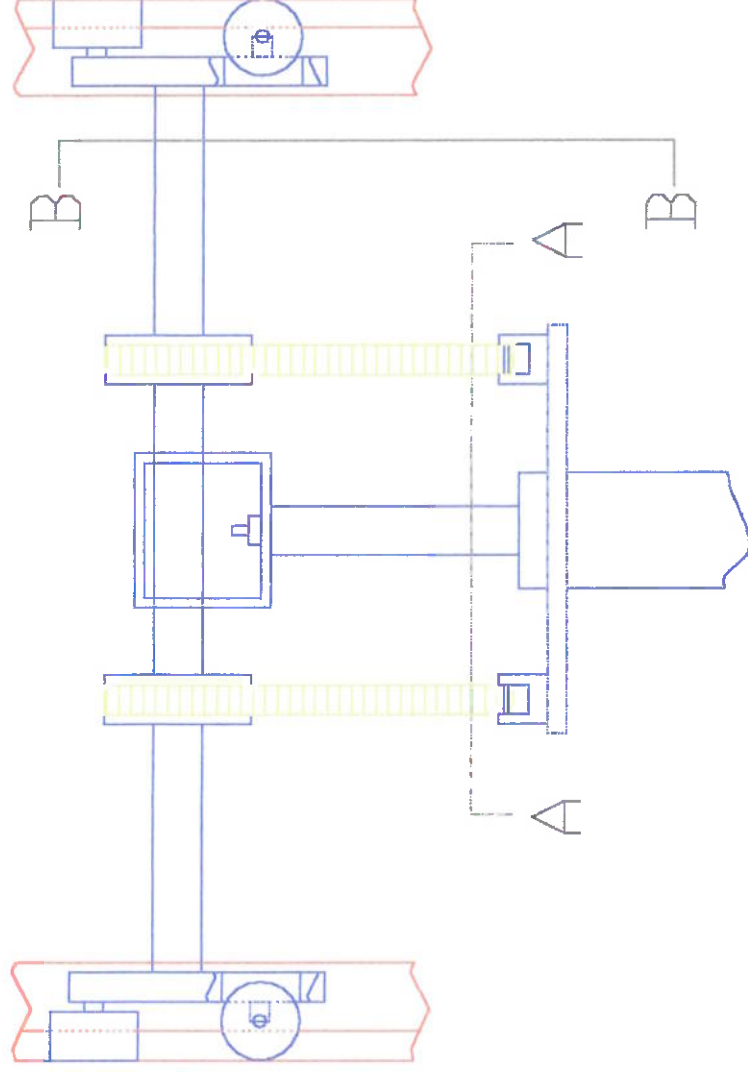




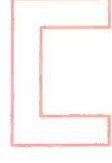
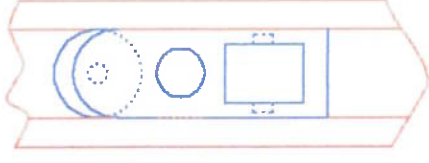
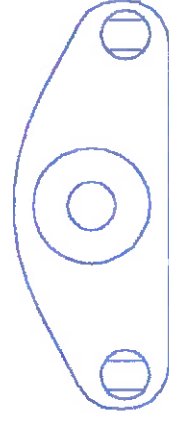


## 1.2.1 Encaixe Lateral

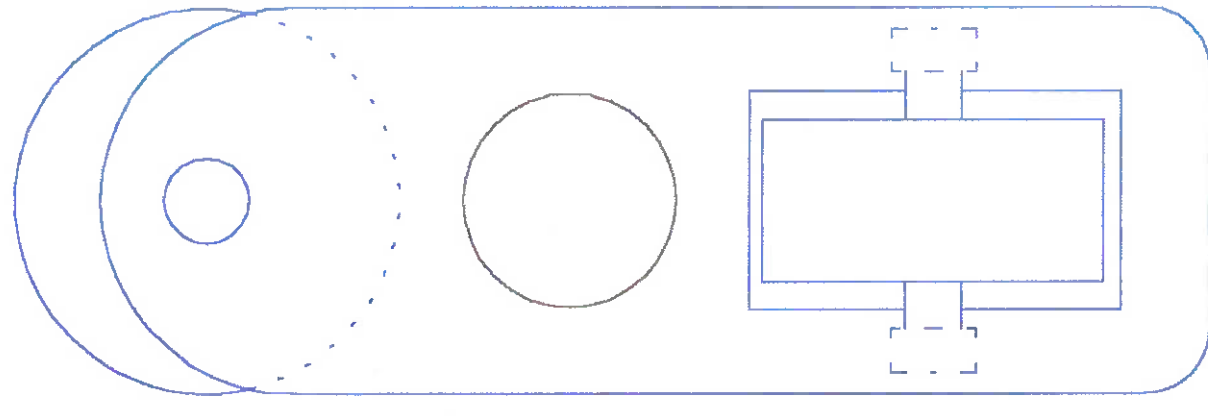
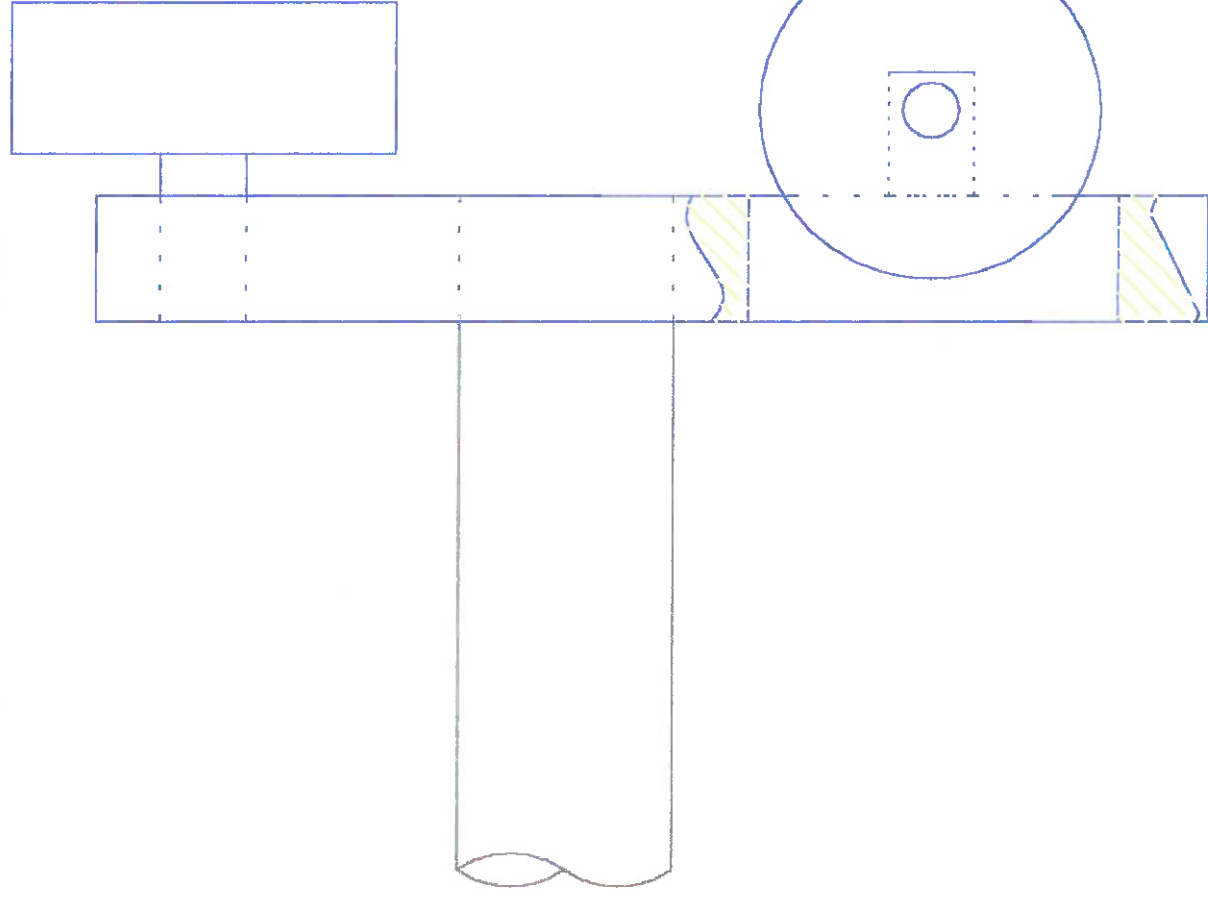
VISTA BB



CORTE A A

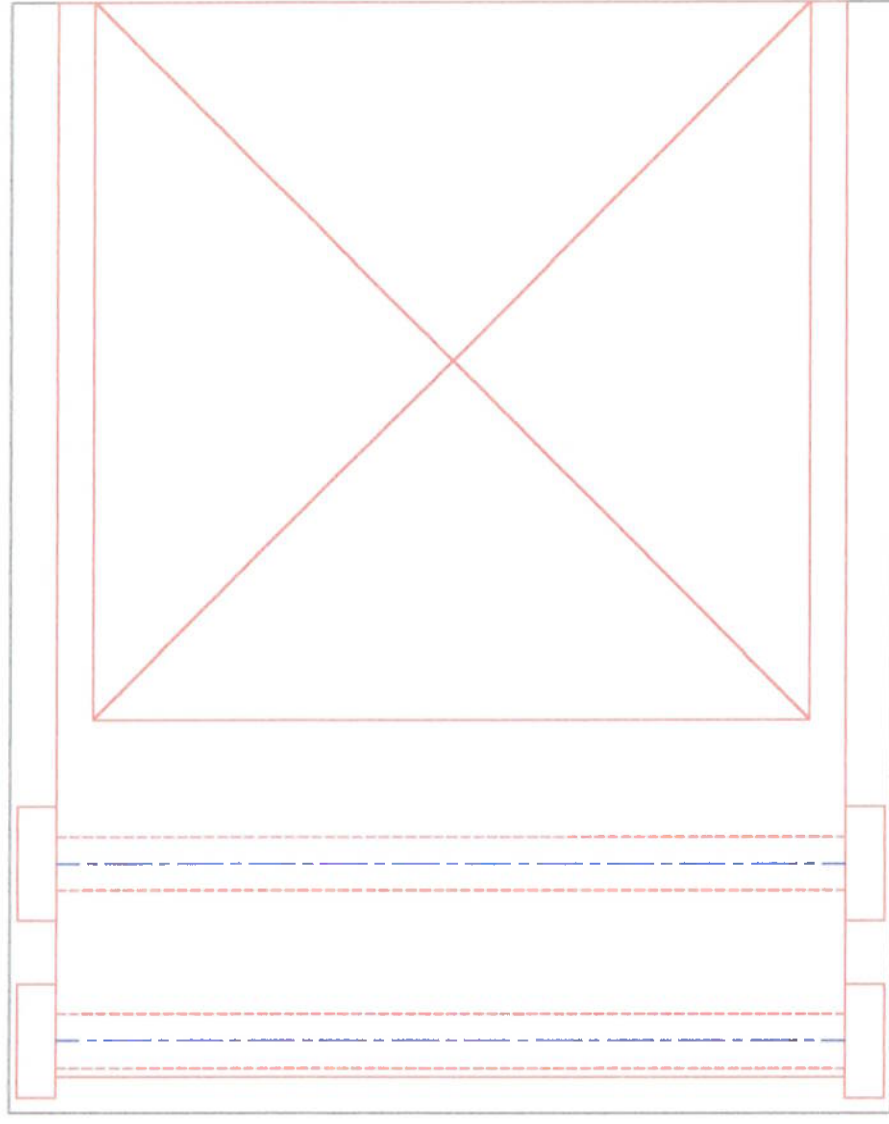


## 1.3 Topo do Cilindro

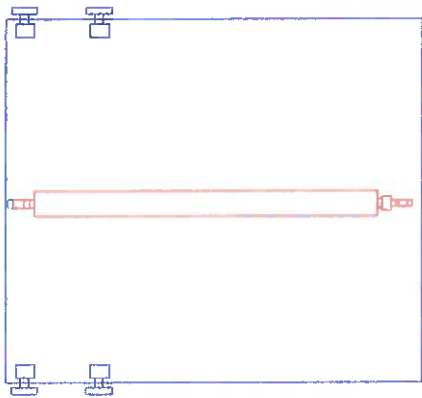
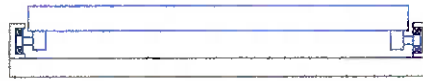


1.3.1 Encaixe Curto





### 3.1 Carro Lateral



Base de deslocamento lateral

### **3) BIBLIOGRAFIA**

1. Mannesman Rexroth - Manual de Hidráulica
2. Albarus - Catálogo Geral Industrial
3. Albarus- Manual de Hidráulica
4. SKF - Catálogo Geral
5. Weg - Catálogo (motores)
6. Goodyear - Catálogo (correia)
7. Zampese, Bóris - Dimensionamento, Grêmio Politécnico, 1986
8. Zampese, Bóris - Apostila de dimensionamento de polias
9. Zampese, Bóris - Apostila de dimensionamento de engrenagens
10. Juvenall, Robert C. , Fundamentals of Machine Components Design, John Willey & Sons, INC, 1983
11. Pissarenko, A. Yakovlev, V. Mateveev - Aide-mémoire de résistance des matériaux., Ed. Moscou, 1975