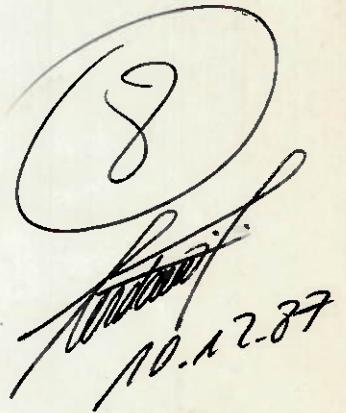


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PMC-581 PROJETO MECÂNICO II



A handwritten signature consisting of a stylized 'G' or 'P' inside a circle, followed by a signature line and the date '10.12.87'.

**TÍTULO:**  
**PROJETO BÁSICO DE**  
**MANIPULADOR**  
**AUTOMÁTICO PARA TORNO**  
**CNC UNIVERSAL**

ALUNO: GILBERTO MOREIRA MARTINS N: 3221115

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ EDUARDO CERDA ORTIZ

dezembro de 1987

## ÍNDICE

ÍNDICE ...	2
SUMÁRIO ...	4
1. INTRODUÇÃO ...	5
1.1. OBJETIVOS ...	5
1.2. DEFINIÇÃO E TIPOS DE ROBOS INDUSTRIAS ...	6
1.3. MANIPULADOR ...	8
1.4. COMPONENTES E SISTEMAS MECÂNICOS EM ROBOS ...	9
2. ESTUDO DE VIABILIDADES ...	13
2.1. ESPECIFICAÇÕES E APLICAÇÕES DE ROBOS ...	13
2.2. PROPOSIÇÃO BÁSICA DE ESPECIFICAÇÕES PARA O PROJETO ...	15
2.2.1. ESPECIFICAÇÕES DIMENSIONAIS ...	15
2.3. SÍNTese DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES ...	16
2.4. EXEQUIBILIDADE FÍSICA ...	20
2.5. VALOR ECONÔMICO ...	21
2.6. CONCLUSÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADES ...	21
3. PROJETO BÁSICO ...	22
3.1. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES ...	22
3.1.1. SOLUÇÃO 'G' ...	22
3.1.2. SOLUÇÃO 'I' ...	23
3.2. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO ...	24
3.2.1. MATRIZ DE AVALIAÇÃO ...	25
3.2.2. RESULTADO ...	25

3.3. CONSTRUÇÃO DE MODELOS MATEMATICOS ...	26
3.3.1. ANÁLISE CINEMÁTICA ...	28
3.3.2. ANÁLISE GEOMÉTRICA ...	28
3.3.3. ANÁLISE DE ESTABILIDADE ...	29
3.3.4. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE ...	31
3.3.5. ANÁLISE DINÂMICA ...	32
3.4. PLANILHA DE CÁLCULO E RESULTADOS ...	33
4. CONCLUSÃO ...	37
5. BIBLIOGRAFIA ...	38
6. FIGURAS ...	39

## SUMARIO

O presente texto tem como objetivo a apresentação dos estudos necessários para a elaboração de um projeto de ROBO, mais especificamente do manipulador, para carregamento automático de peças em torno CNC universal, onde pretende-se apresentar as características mecânicas básicas que o referido projeto deverá seguir.

## 1. INTRODUÇÃO:

### 1.1. OBJETIVOS

Nosso objetivo com este trabalho é mostrar uma possível abordagem do problema de projeto de um manipulador controlável uso industrial, tendo como base de exemplificação sua utilização no processo de carregamento automático no torno CNC TND360 TRAUB, existente no Laboratório de Automação do Departamento de Engenharia Mecânica

Este trabalho foi realizado seguindo a estrutura de projeto apresentada na disciplina METODOLOGIA DO PROJETO (PMC 475), acrescidas de observações técnicas complementativas necessárias ao perfeito acompanhamento do mesmo.

Dentre as fases apresentadas naquela estrutura, este trabalho apenas se detém nas duas primeiras, ou sejam: - O Estudo da Viabilidade, e - O Projeto Básico.

Como conclusão deste nosso trabalho, teremos apresentado uma visão geral da solução adotada para a resolução do nosso problema, estando a mesma no ponto de serem feitas análises no sentido de determinar o comportamento da solução com o decorrer do tempo, com certas condições sócio-econômicas como as preferências do consumidor, o produto oferecido pelos concorrentes e o nível de obsolescência do produto, de modo a se encontrar dentro de níveis convenientes.

Desta forma apresentamos um produto testado e que pode ser produzido ou abandonado, apartir dos resultados da análise feita anteriormente. A efetiva produção do projeto implica no desenvolvimento do projeto executivo.

Foi dado ênfase aos componentes mecânicos do projeto, não fazendo parte do mesmo o sistema de controle, porém sendo considerado no momento de determinar a arquitetura do nosso manipulador.

## 1.2. DEFINIÇÃO E TIPOS DE ROBÔS INDUSTRIAS:

A definição mais genérica de ROBÔ é a utilizada pelos japoneses que incluem qualquer tipo de manipulador controlável seja através de uma sequência fixa de operações, controlado através de mecanismos eletromecânicos, ou através de reprogramação controlada por computadores. Os ROBÔS se compõem de três componentes básicos: controlador, manipulador e garra.

Quanto aos tipos de ROBÔS podemos apresentar três:

### - ROBÔS SIMPLES:

São limitados quanto a capacidade de programação, limitando o número de sequências que podem ser por ele executadas. Possui a vantagem de serem equipamentos de baixo custo, fácil manutenção e rapidez na operação. São limitados no número de movimentos disponíveis no manipulador, em geral possuindo três ou quatro graus de liberdade.

### - ROBÔS DE MÉDIA TECNOLOGIA:

São aqueles que apresentam uma maior capacidade de programação. Em geral, possuem de quatro a seis graus de liberdade e são controlados em alguns dos principais eixos, tais como rotação na vertical, translação radial e translação vertical. São usados em tarefas de carregamento e descarregamento de máquinas.  
(ver figura 1.1)

### - ROBÔS INDUSTRIAS SOFISTICADOS:

Possuem alta flexibilidade de programação de movimentos, interfaciados com vários tipos de sensores, possibilitando controle em malha fechada. Os manipuladores possuem cinco ou mais graus de liberdade, todos os eixos sendo programáveis.

Esta classificação é importante no sentido de estabelecer em que categoria deve se enquadrar o nosso projeto.

Outra classificação importante corresponde ao tipo de coordenadas utilizadas para referenciar o movimento do manipulador. São eles:

- Articulado: O mais semelhante ao braço humano, contendo três articulações no braço (ombro, cotovelo e pulso), além de apresentar, rotação da base e do pulso. É o mais flexível dos braços de ROBôs. São utilizados em quase todas as aplicações, como por exemplo pintura com spray.

( 3 rotações )

- Cilíndrico: constitui-se de duas partes básicas, um braço telescópico montado num pólo, em torno do qual é permitido girar o conjunto. Os outros dois movimentos são o deslocamento horizontal do braço e o deslocamento vertical ao longo do pólo.

( 1 rotação e 2 translações )

- Esférico: Também possui um braço extensível apoiado sobre um pólo como o cilíndrico, porém ao invés de um deslocamento vertical, é dotado de uma rotação, para cima e para baixo, devido a articulação no polo de apoio do braço. Possui a desvantagem, comparando com os cartesianos, de possuir 2 eixos com resolução relativamente baixa, que varia com o comprimento do braço. São comumente utilizados em linhas de soldagem nas montadoras de veículos.

( 2 rotações e 1 translação )

- Cartesiano: Movimento retilíneo ao longo dos três eixos perpendiculares, correspondendo a altura, largura e profundidade da operação. Dá ao ROBô uma grande precisão de posição, porém o torna lento.

( 3 translações )

### 1.3. MANIPULADOR:

Manipulador é basicamente o corpo do ROBÔ, sendo constituído de uma base e de um braço. A base é normalmente estacionária, porém pode ser movido para diferentes áreas de trabalho através de trilhos ou rodas. O braço pode ser telescópico (pistão hidráulico, por exemplo), ou articulado. Na sua extremidade é acoplada a garra ou uma junta que permita uma rotação da garra, que a ela é acoplada.

No manipulador estão os elementos mecânicos - juntas, motores, transmissões - que realizam os movimentos do ROBÔ. Para ROBÔS hidráulicos ou pneumáticos é necessária a utilização de válvulas de precisão, responsáveis pelo preciso controle do fluxo de óleo ou ar para o posicionamento e controle preciso. Os motores são conhecidos como "atuadores". Em cada articulação do ROBÔ, existe a possibilidade de existir três eixos controláveis, e para cada eixo deve corresponder um atuador para o seu acionamento. O acoplamento indireto do atuador no elemento do manipulador pode ser feito através de engrenagens, correntes ou parafusos de esferas recirculantes, entre outros.

#### 1.4. COMPONENTES E SISTEMAS MECÂNICOS EM ROBÔS:

É importante para a análise de possíveis soluções uma indentificação dos componentes e sistemas básicos encontrados nos manipuladores, a fim de estabelecer as possíveis combinações de soluções.

##### \* "TRANSPORTERS" :

São elementos utilizados para a realização de deslocamentos lineares, segundo os eixos de orientação existentes. Ao longo do eixo X são utilizados basicamente cilindros pneumáticos de dupla ação, usados para carregar pequenas cargas a curtas distâncias. Para os eixos Y e Z são utilizados mecanismos para a conversão do movimento, tais como parafusos e coroas sem fim ou cremalheiras. Também são utilizados para esse fim os parafusos de esferas recirculantes, os quais são vistos adiante.  
(ver figura 1.2)

##### \* "ROTATORS" :

São os componentes responsáveis pela rotação nos três eixos coordenados. A combinação das três translações e das três rotações formam os seis graus de liberdade do ROBÔ.

Normalmente, os "rotators" são instalados entre o "translator" e a garra.

Num acoplamento direto, os "rotators" são os próprios atuadores, assim como os motores de passo e os motores hidráulicos. Em acoplamentos indiretos, são sistemas compostos de engrenagens, polias ou "harmonic drives" responsáveis pela redução aplicada.

#### \* "PARAFUSOS DE ESFERAS RECIRCULANTES" :

A função principal é a de converter movimentos de rotação em movimentos lineares, ou torque em força, podendo ser usado no sentido contrário também. A vantagem se encontra na substituição do atrito de contato por atrito de rolamento. (ver figura 1.3)

Sua aplicação em manipulador é semelhante a de um cilindro pneumático: permitir a extensão de um braço, agindo como "transporter", com grande eficiência.

#### \* "HARMONIC DRIVES" :

A transmissão através de "harmonic drive" é utilizado em robôs devido ao preciso posicionamento angular e a grande influência na relação de torque. A principal vantagem que viabiliza sua utilização consiste na grande redução que ele admite, chegando a valores de 300:1. (ver figura 1.4)

#### \* ABSORVEDORES DE CHOQUES :

Necessários para a desaceleração do manipulador quando do fim de curso, por exemplo, para a proteção do mecanismo, bem como serve de proteção contra choques da carga. (ver figura 1.5)

#### \* ATUADORES :

O suprimento de força fornece energia para operar os atuadores do sistema. Existem 3 tipos mais comuns de suprimento de força que são: 1) elétrico, 2) hidráulico e pneumático. Os sistemas elétricos necessitam de menor espaço e permitem uma operação de baixo ruído. Sistemas hidráulicos permitem movimentar objetos mais pesados e são mais rápidos e mais precisos que os elétricos. Sistemas pneumáticos são usados para aplicações leves e possuem uma boa velocidade e precisão. Vejamos as vantagens e desvantagens dos diversos tipos de atuadores.

##### - ATUADORES ELÉTRICOS:

Vantagens: - são rápidos e precisos;  
- é possível aplicar técnicas de controle sofisticadas;  
- facilmente encontrado e relativamente barato;  
- simples de usar.

Desvantagens: - requer um sistema de redução de engrenagens;  
- limitação de precisão;

- limitação de força.

- ATUADORES HIDRAULICOS:

Vantagens: - grande capacidade de carga;  
- velocidade moderada;  
- oferece controle de posição preciso devido a incompressibilidade do óleo.

Desvantagens: - sistemas hidráulicos são caros;  
- poluem a área de trabalho com óleos e barulho;  
- Não podem ser utilizados em ciclos de alta velocidade.

(ver exemplo na figura 1.6)

- ATUADORES PNEUMATICOS:

Vantagens: - é relativamente mais barato;  
- permite altas velocidade;  
- não poluente.

Desvantagens: - perda de precisão devido a compressibilidade do ar;  
- persistência de ruído;  
- são necessários sistemas adicionais de purificação e drenagem;  
- altos investimentos em manutenção e construção.

(ver exemplo figura 1.7)

Podemos listar uma série de fatores que influenciam na escolha de um atuador para uma dada aplicação:

1- Nas fábricas, óleo e ar sobre pressão são encontrados com frequência, de forma que, para se obter uma economia, pode-se dispor de atuadores hidráulicos ou pneumáticos de forma favorável.

2- Sistemas elétricos são excelentes quando alta precisão, repetividade e operação silenciosa são necessários.

3- sistemas pneumáticos são economicos, limpos e seguros e podem produzir forças relativamente altas, porém a compressibilidade do ar reduzem a rigidez do sistema.

Dentre os atuadores elétricos, temos as seguintes possibilidades comumente utilizadas:

- MOTORES DE PASSO: a principal característica do motor de passo é que sua máxima velocidade depende do torque aplicado. Maior o torque, menor a velocidade máxima atingida pelo motor. Stepping Motors não podem ser usados em sistemas com torque variável, uma vez que um grande carregamento pode causar uma "perda de passos" do motor, resultando num erro de posição.

Ele é usado principalmente na transformação de pulsos elétricos em movimentos de rotação que podem ser usados para produzir movimentos mecânicos. A velocidade, distância e direção de uma específica peça do equipamento pode ser movida ou controlada por um motor de passo, sendo que o erro de movimento desse tipo de dispositivo é menor que 5% por passo. Motores desse tipo são facilmente controláveis, exigindo uma simples interface responsável pela transmissão de sinal do computador para o motor (conversor AD).  
(ver figura 1.8)

-MOTORES DC: São utilizados em aplicações industriais onde o controle de velocidade é desejável, uma vez que possuem condições para este controle melhores que as dos outros motores, necessitando apenas de um circuito que promova a variação da tensão correspondente à velocidade desejada.  
(ver figura 1.9)

## 2. ESTUDO DE VIABILIDADE

### 2.1. ESPECIFICAÇÕES E APLICAÇÕES DE ROBÔS:

Para um correto estabelecimento de necessidades do projeto e para permitir a correta escolha das características significativas na análise das possíveis soluções para a escolha da solução adequada, se faz necessária esta apresentação de especificações de robôs industriais comumente encontrados.

As seguintes características são apreciadas pelo usuário quando da seleção de um robô industrial:

- custo
- número de eixos de movimentos
- acionamento, motor
- lógica
- memória
- programação
- manutenção
- equipamento
- dimensões e peso
- ciclo de trabalho

Outras características também devem ser levadas em conta, como:

- área de trabalho do manipulador
- movimento e tipo da garra
- velocidade da garra
- capacidade de carga
- tipo do robô, "servo" ou "não-servo"
- repetibilidade
- potência requerida
- temperatura ambiente requerida
- capacidades de interfaceamento
- ferramentas
- suporte de programação
- sensores

Um sistema de ROBÔ é composto basicamente de três partes: um sistema de controle, um sistema de medição e correção e um sistema mecânico. O sistema de controle não será tratado aqui, merecendo uma abordagem posterior.  
(ver figura 2.1)

O sistema de medição e correção inclui os servo-motores de corrente contínua ou de passo, com sistemas de realimentação ("feedback"). Também é feita a regulagem de posição utilizando de transdutores ("resolvers") com o suporte eletrônico associado.  
(ver figura 2.2)

O sistema mecânico inclui o manipulador propriamente dito, mais precisamente o sistema de transmissão que converte a rotação do motor no movimento requerido.

## 2.2. PROPOSIÇÃO\_BÁSICA\_DE\_ESPECIFICAÇÕES\_PARA\_O\_PROJETO:

Uma vez feitas todas as considerações preliminares, se faz necessário o estabelecimento de uma definição de necessidade básica de projeto.

A definição formal do projeto trata da elaboração de um manipulador cuja função específica a ser desempenhada está ligada a carga e descarga de peças usinadas em torno CNC universal. Para tal, deve apresentar as características de área de trabalho e capacidade de carga compatíveis com o disponível no torno. A especificação desses valores será feita posteriormente.

Com relação a esse tipo de tarefa, podemos caracterizar o nosso ROBÔ de médio porte, sendo que o projeto do manipulador na sua parte mecânica deve ser flexível a ponto de permitir vários níveis de controle (por microcomputador, controlador programável ou microprocessador dedicado) e de sensoriamento.

O projeto do manipulador deve ser compatível e coerente com o projeto da garra a ser desenvolvido a parte, de modo a permitir um perfeito interfaceamento de ambos os dispositivos.

### 2.2.1. ESPECIFICAÇÕES DIMENSIONAIS:

- Carga máxima suportada pelo manipulador: 15kg
- Área de trabalho da garra: 0.5m x 0.5m x 0.2m
- Temperatura de trabalho (graus celsius): 0 a 50

### 2.3. SÍNTESI DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES:

Nesta tarefa de estabelecer alguns possíveis modelos de manipuladores de forma a suprir a necessidade anteriormente especificada, procedemos a uma combinação dos princípios, mecanismos e componentes anteriormente mencionados de forma a estabelecermos um conjunto de soluções coerentes.

- \* Tipos de sistemas de coordenadas:
  - articulado;
  - cartesiano;
  - cilíndrico;
  - esférico.
- \* Tipos de "TRANSPORTERS":
  - cilindros pneumáticos;
  - cilindros hidráulicos;
  - parafusos de esferas recirculantes.
- \* Tipos de "ROTATORS":
  - transmissão direta (motores de passo);
  - "Harmonic drive";
  - sistemas de engrenagens;
  - sistemas de polias.
- \* Atuadores:
  - elétricos
    - motores de passo;
    - motores corrente contínua (DC);
    - motores corrente alternada (AC);
  - hidráulicos;
  - pneumáticos.
- \* Sensores:
  - linear;
  - angular;
  - de pressão;
  - de torque;
  - de velocidade;
  - de força;
  - limitadores de curso.

Com base nos itens enumerados acima, podemos relacionar as possíveis combinações, que abaixo descrevemos. As soluções são apresentadas num nível básico, pois devido as inúmeras combinações possíveis, selecionaremos primeiramente alguns modelos básicos para posteriormente entrarmos a um nível de detalhes maior.

#### SOLUÇÃO 'A':

- coordenadas esféricas;
- cilindro pneumático;
- 2 harmonic drives;
- 2 motores DC;
- 1 motor AC p/ o sistema pneumático;
- sistema pneumático de controle de válvulas;
- 2 encoders;
- 2 tacômetros;
- limitadores de curso para o ângulo de giro do braço;
- limitadores de curso linear;
- número de eixos (sem os eixos da garra):3

#### SOLUÇÃO 'B':

- coordenadas esféricas;
- parafuso de esferas recirculantes;
- 3 harmonic drives;
- 3 motores DC;
- 1 transdutor linear;
- 2 encoders;
- 3 tacômetros;
- 1 limitador de curso p/ o braço;
- número de eixos:3

#### SOLUÇÃO 'C':

- coordenadas esféricas;
- parafuso de esferas recirculantes;
- 2 harmonic drives;
- transmissão por correias;
- 3 motores DC;
- 1 transdutor linear;
- 2 encoders;
- 3 tacômetros;
- 1 limitador de curso ângular;
- número de eixos:3

## SOLUÇÃO 'D':

- coordenadas esféricas;
- cilindro hidráulico;
- harmonic drive;
- transmissão por correia;
- 2 motores DC;
- 1 motor AC, acionador do hidráulico;
- sistema de controle hidráulico;
- 1 transdutor linear;
- 2 encoders;
- 2 tacômetros;
- 1 um limitador de curso angular;
- número de eixos:3

## SOLUÇÃO 'E':

- articulado;
- 2 parafusos de esferas recirculantes;
- 3 harmonic drives;
- 3 motores DC;
- 3 encoders;
- 3 tacômetros;
- número de eixos:3

## SOLUÇÃO 'F':

- articulado;
- 1 cilindro pneumático;
- limitadores de curso linear;
- 2 harmonic drives;
- 2 motores DC;
- 1 motor AC p/ acionamento do pneumático;
- 2 encoders;
- 2 tacômetros;
- sistema de controle pneumático;
- número de eixos:3

## SOLUÇÃO 'G':

- coordenadas cilíndricas simplificadas;
- 1 parafuso de esferas recirculantes;
- 2 motores de passo;
- 1 encoder;
- número de eixos:2

## SOLUÇÃO 'H':

- coordenadas cartesianas;
- 3 parafusos de esferas recirculantes;
- 3 harmonic drives;
- 3 motores DC;
- 3 tacômetros;
- 3 transdutores lineares;
- número de eixos:3

## SOLUÇÃO 'I':

- coordenadas cartesianas simplificadas;
- 2 parafusos de esferas recirculantes;
- 2 motores de passo;
- 2 transdutores lineares;
- número de eixos:2

## SOLUÇÃO 'J':

- coordenadas cilíndricas modificadas;
- 2 parafusos de esferas recirculantes;
- 1 harmonic drive;
- 3 motores DC;
- 1 encoder;
- 2 transdutores lineares;
- 3 tacômetros;
- limitadores de curso;
- número de eixos:3

#### 2.4. EXEQUIBILIDADE FÍSICA:

Numa primeira análise das soluções apresentadas, todas são passíveis de serem executadas, uma vez que modelos semelhantes já podem ser encontrados facilmente no mercado, e também devido ao fato de componentes comuns serem utilizados em todas as soluções.

Soluções A, B, C e D são semelhantes fisicamente, diferindo tão somente no sistema de acionamento do eixo de movimento linear.

Soluções E e F também constituem outra categoria semelhante de soluções semelhantes, sendo que a F exige um sistema hidráulico, o que comparativamente é um ponto contra esta solução.

A solução H é, das de 3 eixos, a que apresenta maior facilidade física de montagem e composição, porém apresenta maiores dimensões.

As soluções G e I, por serem de 2 eixos, são de mais fácil execução e mais compactas.

A solução J, por apresentar a guia de movimentação da garra giratória, é de difícil execução comparada as outras soluções, além de não permitir a mesma mobilidade apresentada pelas outras soluções, sendo desde já desconsiderada.

## 2.5. VALOR ECONÔMICO E VIABILIDADE FINANCEIRA:

Analisando as soluções apresentadas sob o ponto de vista do custo de fabricação envolvido, notamos claramente que as soluções G e I são as de maior valor econômico, pois permitem um menor número de componentes devido a sua simplicidade.

Não será feito nesse trabalho uma análise do custo ao consumidor mais detalhado, mas sabemos de antemão que os mesmos dependem basicamente do custo dos componentes.

É extremamente difícil considerar viável a uma empresa a confecção de qualquer das soluções, pois tratam de componentes importados, caros e sujeitos a inúmeros fatores. Desta forma, necessitam de investimentos altos que por vezes não justificariam a execução do projeto. Porém a nível didático, e considerando que uma empresa possua recursos suficientes para essa aplicação, que sem dúvida pode permitir retorno satisfatório, ainda as soluções G e I podem ser consideradas.

### 2.5.1. CONCLUSÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADES:

Deste estudo de viabilidade resultam duas soluções que mais se adequaram aos itens examinados, G e I, que foram consideradas como as mais viáveis para este projeto.

### 3. PROJETO BÁSICO

#### 3.1. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES:

Para iniciarmos a etapa de elaboração do projeto básico, necessitamos inicialmente de descrever mais claramente as duas soluções a que nos resumimos.

##### 3.1.1. SOLUÇÃO 'G':

É considerada uma solução num sistema de coordenadas cilíndricas simplificadas, pois o cilindro formado não possui o raio variável. Obviamente este tipo de sistema não permite cobrir todo o espaço, uma vez que só possui 2 coordenadas, mas sim uma superfície, que possui os seguintes movimentos:

- um movimento linear paralelo ao eixo do fuso do torno (eixo z), que permite inserir e retirar as peças usinadas.
- um movimento ângular do braço do manipulador, que permite aproximar a garra do torno, ou afastá-la na direção oposta, para soltar a peça acabada e pegar uma nova peça.

Complementando esses dois graus de liberdade acima expostos, mais dois são exigidos para a garra, que são:

- "roll", ou giro da garra em torno do seu eixo, o que permite, por exemplo, a troca da face da peça sendo usinada.
- "pitch" que corresponde a um giro em torno de um eixo paralelo ao do fuso do torno, permitindo o posicionamento da garra nas posições adequadas tanto no torno quanto no carregamento de uma nova peça na área de troca de peças.

O movimento linear é obtido pelo deslocamento da coluna vertical do manipulador através de um sistema de barramento e parafuso de esferas recirculantes montado na base do manipulador. O acionamento desse fuso pode ser feito por motor de passo ou um pequeno motor dc, dependendo do esforço necessário para o mesmo, mas a princípio consideraremos um motor de passo como nossa solução.

O movimento de rotação do braço pode ser feito pelo acoplamento direto do motor de passo na articulação entre o braço e a coluna.

A princípio, o movimento de rotação do braço exige uma precisão bem maior que o de translação, de forma que se justifica neste o uso de um encoder para o monitoramento, ao passo que o posicionamento linear do conjunto pode ser feito com limitadores de curso reguláveis. Já para as rotações da garra exige-se o uso dos encoders.

Uma solução semelhante consistiria em montar o sistema de movimentação linear na própria garra, na fixação da garra no braço. Apresenta o inconveniente de se aumentar o carregamento do braço, sendo de execução mais complexa.

### 3.1.2. SOLUÇÃO 'I':

Também uma solução que apresenta dois graus de liberdade, podendo ser considerado um sistema de coordenadas cartesianas simplificado, pois não possue o posicionamento vertical.

Na verdade o posicionamento vertical deve ser feito na instalação e/ou preparação da máquina, por uma regulagem manual do braço vertical.

Temos os seguintes movimentos permitidos:

-um movimento linear paralelo ao eixo do fuso do torno (eixo z), que permite inserir e retirar as peças usinadas, semelhante ao da solução 'G'.

-um movimento linear transversal ao eixo do fuso do torno (eixo x), que permite introduzir ou retirar a peça do interior do torno.

Também são exigidos os dois movimentos para a garra descritos acima, na solução 'G'.

O movimento linear paralelo é obtido da mesma forma que na solução G. O movimento linear transversal é obtido por um sistema com parafuso de esferas recirculantes que desloca uma espécie de "carro porta-garra", que possue os acionadores da garra.

Para o posicionamento transversal se faz necessário o uso de um transdutor linear, além dos encoders da garra como na solução anterior. Já no posicionamento transversal, não há necessidade do transdutor linear, bastando o uso de limitadores de curso. Dependendo do sistema de controle e da precisão requerida no posicionamento, também podem ser usados limitadores de curso reguláveis no controle do posicionamento transversal, deixando para as garras o ajuste fino de posição.

### 3.2. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO:

Neste instante do nosso projeto, devemos comparar as duas soluções disponíveis e escolher dentre elas qual apresente, aparentemente, as melhores oportunidades de sucesso, levando em conta as vantagens e desvantagens que cada uma apresenta.

Como método para selecionar a melhor solução utilizaremos uma matriz de avaliação, onde listaremos as características desejadas, juntamente com sua respectiva importância para o nosso problema. A partir dessa matriz, é possível realizar a comparação entre as soluções e a seleção da melhor solução.

Abaixo descrevemos as propriedades consideradas importantes para o projeto, que foram levadas em conta na nossa avaliação.

- Capacidade de carga: para uma mesma potência do motor, qual pode transportar carga maior.
- Velocidade de operação: para as mesmas condições de potência do motor e carga aplicada, qual realiza um ciclo de operação em menor espaço de tempo.
- Facilidade de operação.
- Manutenção do mecanismo: característica que leva em conta a quantidade de peças sujeitas a manutenção, bem como a facilidade com a qual essa manutenção possa ser executada.
- Espaço ocupado e facilidade de transporte.
- Facilidade de fabricação.
- Custo.
- Flexibilidade de posicionamento: capacidade de posicionar a garra de uma maneira tal que atinja uma posição adequada para fixar a peça.
- Sistema de controle: arquitetura que permita um sistema de controle mais simples.
- Área de trabalho do manipulador: região do espaço acessível a garra.

Foram atribuídos pesos a essas propriedades de forma a construir a matriz de avaliação, onde os mesmos estão listados, bem como as notas atribuídas a cada uma das soluções apresentadas.

## 3.2.1. MATRIZ DE AVALIAÇÃO:

TABELA DE NOTAS E PESO DAS PROPRIEDADES

PROPRIEDADES	SOL.G	SOL.I	PESO	GxP	IxP
Capacidade de carga	6	8	3	18	24
Velocidade de operação	6	7	3	18	21
Facilidade de operação	5	5	2	10	10
Manutenção do mecanismo	7	6	2	14	12
Espaço ocupado e facilidade de transporte	6	4	1	6	4
Facilidade de fabricação	8	5	3	24	15
Custo	7	5	4	28	20
Flexibilidade de posicionam.	6	4	4	24	16
Sistema de controle	5	5	2	10	10
Área de trabalho	6	5	3	18	15
SOMAT6RIO			27	164	147
NOTA FINAL				6,1	5,4
			%	53	47

Para a atribuição de peso as propriedades, foi considerada a que possuia menor valor e a ela atribuído o peso 1. Os outros pesos foram tomados tendo como referência esse peso 1.

## 3.2.2. RESULTADO:

Através da análise da matriz, podemos concluir que a solução mais viável é a solução G, que passa a ser o objetivo deste nosso estudo, adotada como sendo nosso projeto básico.

### 3.3. CONSTRUÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS:

O sistema de manipulador a que nos propusemos fazer é por vezes muito complexo e constituído de diversos componentes que precisão ser determinados e dimensionados. No presente instante, nosso projeto somente se encontra numa forma abstrata, necessitando de uma descrição escrita, através de esquemas e equações matemáticas, para passar a ser um objeto real, representando uma idéia de forma palpável.

Através das formas matemáticas, pode-se prever quantitativamente o comportamento do projeto, bem como servir de meio de dimensionamento do mesmo.

Inicialmente, para selecionar os modelos matemáticos que permitem determinar analiticamente o comportamento do sistema, se faz necessário relacionar todas as variáveis de interesse para o mesmo:

$h_B$  = altura da base  
 $l_B$  = largura da base  
 $h_c$  = altura da coluna  
 $l_{c1}$  = largura da coluna  
 $l_{c2}$  = larg. da coluna na região da asa de gaivota  
 $l_{b1}$  = largura do braço fixo  
 $l_{b2}$  = largura do braço principal  
 $l_{b3}$  = largura do fixador da garra  
 $l_p$  = largura da placa fixadora da garra  
 $\alpha$  = ângulo de inclinação do braço fixo  
 $b_1$  = comprimento do braço fixo  
 $b_2$  = comprimento do braço principal  
 $b_3$  = distância da articulação do braço principal  
 onde é fixada a garra até o centro da peça  
 $b_{cp}$  = comprimento do contra peso  
 $h_b$  = altura do apoio no barramento  
 $l_b$  = comprimento do apoio no barramento  
 $H$  = altura até o eixo do fuso do torno  
 $L$  = distância da base até o eixo do fuso do torno  
 $\beta$  = ângulo do braço principal, na posição para  
 agarrar a peça fixa no torno  
 $\epsilon$  = ângulo da articulação da fixação da garra na  
 posição para agarrar a peça fixa no torno  
 $h_f$  = altura do fuso de esferas  
 $l_e$  = largura do lado esquerdo da base  
 $l_d$  = largura do lado direito da base  
 $l_f$  = largura da base do fuso de esferas

f = folga entre a coluna e a base do fuso de esferas  
d1 = espessura do braço fixo  
d2 = espessura do braço principal  
d3 = espessura do fixador da garra  
â1 = ângulo mínimo de giro do braço principal  
â2 = ângulo máximo de giro do braço principal  
ê1 = ângulo máximo de giro do fixador da garra  
Rat = raio de atuação: distância na qual varia a posição da garra  
z = largura disponível na base para o fuso de esferas  
db = espessura do apôio do braço fixo sobre o barramento  
dm = espessura do mancal  
dB = espessura da base  
dM = espessura do compartimento do motor do fuso de esferas  
d0 = diâmetro máximo da peça a ser carregada  
di = distância do centro da peça a base da garra  
df = diâmetro do fuso de esferas recirculantes  
p1 = posição da fixação do braço fixo na base  
D = distância da articulação do braço móvel até o centro da peça.

Os desenhos anexos esclarecem todas as grandezas mencionadas.  
(ver figuras 3.1 e 3.2)

Faremos a seguir uma subdivisão para a obtenção do modelamento matemático em vários ítems que devem ser analisados, de modo a obtermos o maior número possível de equações relacionando as variáveis acima mencionadas.

### 3.3.1. ANÁLISE CINEMÁTICA:

Nesta análise relacionaremos as possíveis posições da garra em função das variações dos ângulos das duas articulações envolvidas:

Seja "O" a origem do sistema de coordenadas xOy:

Para o ponto P':

$$\begin{aligned} x_{P'} &= b_2 \cdot \cos \delta_1 \\ y_{P'} &= b_2 \cdot \sen \delta_1 \end{aligned}$$

Para o ponto P com relação a um sistema x'0'y':

$$\begin{aligned} x'P &= b_3 \cdot \cos \delta_2 \\ y'P &= b_3 \cdot \sen \delta_2 \end{aligned}$$

Os sistemas possuem a seguinte relação de transformação:

$$\begin{aligned} x &= x' \cdot \cos \delta_1 - y' \cdot \sen \delta_1 + b_2 \cdot \cos \delta_1 \\ y &= y' \cdot \cos \delta_1 + x' \cdot \sen \delta_1 + b_2 \cdot \sen \delta_1 \end{aligned}$$

Portanto, para o ponto P:

$$\begin{aligned} xP &= xP' + b_3 \cdot \cos(\delta_1 + \delta_2) \\ yP &= yP' + b_3 \cdot \sen(\delta_1 + \delta_2) \end{aligned}$$

Onde  $\delta_1$  e  $\delta_2$  variam com o tempo, segundo uma forma qualquer:  $\delta_1 = f_1(t)$  e  $\delta_2 = f_2(t)$ . Através desse equacionamento pode-se estabelecer a posição correta da garra em cada instante.

### 3.3.2. ANÁLISE GEOMÉTRICA:

Relações geométricas verificadas:

$$l_B = l_e + l_d + l_{c1}$$

$$l_{c2} = l_{c1} + l_d$$

$$H = h_b + h_c + b_1 \cdot \cos \hat{a} + (l_{c2} / \cos \hat{a} - p_1) \cdot \sen \hat{a}$$

(o centro da articulação do braço principal é dimensionada para ter a mesma altura do eixo do fuso do torno)

$$p_1 = l_{b1} \quad (\text{desde que a seguinte condição seja satisfeita} \\ p_1 < l_{c2} / \cos \hat{a})$$

$$D = b_1 \cdot \sen \hat{a} + p_1 \cdot \cos \hat{a} + h_b \cdot \sen \hat{a} + L$$

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}_1 &= 180 - \arctg[\hat{lb}_2 / (2 \cdot (\hat{lp}^2/4 + (\hat{b}_3 - \hat{d}_1)^2 - \hat{lb}_2^2/4)^{1/2})] - \\ &\quad - \arctg[\hat{lp} / (2 \cdot (\hat{b}_3 - \hat{d}_1))]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}_1 &= 90 - \hat{\alpha} - \arctg[\hat{lb}_1 / (\hat{b}_2^2 - \hat{lp}^2/4 - \hat{b}_3^2 - \hat{lb}_1^2)^{1/2}] - \\ &\quad - \arctg[((\hat{lp}^2/4 + \hat{b}_3^2) / (\hat{b}_2^2 - \hat{lp}^2/4 - \hat{b}_3^2))^{1/2}]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}_2 &= 270 - \arctg[((\hat{lp}^2/4 + \hat{b}_3^2) / (\hat{b}_2^2 - \hat{lp}^2/4 - \hat{b}_3^2))^{1/2}] - \\ &\quad - \arctg[((\hat{lb} - \hat{p}_1) \cdot \cos(\hat{\alpha}) - \hat{b}_1 \cdot \sin(\hat{\alpha})) / (\hat{b}_2^2 - \hat{lp}^2/4 - \hat{b}_3^2)^{1/2}]\end{aligned}$$

$$\hat{\epsilon} = \arccos[(\hat{D}_2 + \hat{b}_2^2 - \hat{b}_3^2) / (2 \cdot \hat{D} \cdot \hat{b}_2)]$$

$$\hat{\epsilon} = 180 - \arccos[(\hat{b}_3^2 + \hat{b}_2^2 - \hat{D}_2) / (2 \cdot \hat{b}_3 \cdot \hat{b}_2)]$$

$$R_{at} = \hat{b}_3 + \hat{b}_3 \cdot \cos(180 - \hat{\alpha}_1)$$

$$dB = dm + dM + z$$

### 3.3.3. ANÁLISE DE ESTABILIDADE:

Esta análise tem por objetivo determinar se o sistema ou os seus componentes, como um todo não são inherentemente instáveis, e dentro desta análise estabelecer os limites de instabilidade do sistema, dentro do campo de variação das variáveis do projeto e evitá-las.

Podemos nesta análise, por exemplo, desconsiderar os efeitos de vibrações auto-exitadas, visto que as velocidades de operação são extremamente pequenas.

Sob o ponto de vista da estabilidade pela posição do centro de gravidade do sistema, faremos esta determinação. Através da divisão das partes constituintes do sistema temos:

DADOS A CONSIDERAR: material de cada componente, (peso específico)  $G$

\* BASE: (1)

$$x_1 = \frac{\hat{lb}_2 \cdot \hat{h}_B / 2 + (\hat{l}_c + \hat{l}_c / 2) \cdot \hat{l}_c \cdot \hat{h}_c}{(\hat{lb} \cdot \hat{h}_B + \hat{l}_c \cdot \hat{h}_c)}$$

$$y_1 = \frac{\hat{lb} \cdot \hat{h}_B^2 / 2 + \hat{l}_c \cdot \hat{h}_c \cdot (\hat{h}_B + \hat{h}_c / 2)}{(\hat{lb} \cdot \hat{h}_B + \hat{l}_c \cdot \hat{h}_c)}$$

$$P_1 = G_1 \cdot d_B \cdot (\hat{lb} \cdot \hat{h}_B + \hat{l}_c \cdot \hat{h}_c) \cdot f_1$$

\* Apoio do braço fixo: (2)

$$x2 = \frac{lb \cdot hb \cdot (lb - hb \cdot \sin \alpha + lb \cdot \cos \alpha / 2) + lf \cdot hc / 2 \cdot (lb - lc2 - f - lf / 2)}{lb \cdot hb + lf \cdot hc / 2}$$

$$y2 = \frac{lb \cdot hb \cdot (hb + hc + hb \cdot \cos \alpha / 2) + lf \cdot hc / 2 \cdot hf}{lb \cdot hb + lf \cdot hc / 2}$$

$$P2 = G2 \cdot db \cdot (lb \cdot hb + lf \cdot hc / 2) \cdot f2$$

\* Braço fixo: (3)

$$x3 = LB - b1 \cdot \sin \alpha / 2 - p1 \cdot \cos \alpha - hb \cdot \sin \alpha$$

$$y3 = hb + hc + hb \cdot \cos \alpha + (lc2 / \cos \alpha - p1) \cdot \sin \alpha$$

$$P3 = G3 \cdot lb1 \cdot b1 \cdot d1 \cdot f3$$

\* Braço principal: (4)

$$x4 = LB + L - D - bcp \cdot \cos \delta 1 + (bcp + b2) / 2 \cdot \cos \delta 1$$

$$y4 = H - bcp \cdot \sin \delta 1 + (bcp + b2) / 2 \cdot \sin \delta 1$$

$$P4 = G4 \cdot lb2 \cdot (b2 + bcp) \cdot d2 \cdot f4$$

\* Fixação da garra: (5)

$$x5 = LB + L - D + b2 \cdot \cos \delta 1 + b3 / 2 \cdot \cos(\delta 1 + \delta 2)$$

$$y5 = H + b2 \cdot \sin \delta 1 + b3 / 2 \cdot \sin(\delta 1 + \delta 2)$$

$$P5 = G5 \cdot lp \cdot b3 \cdot d3 \cdot f5$$

\* Carga: (6)

$$x6 = LB + L - D + xp$$

$$y6 = H + yp$$

P6 = Q (carga considerando o peso da peça a ser transladada mais o peso próprio da garra)

Onde  $f_i, i=1$  até 5, é um fator de compactação que leva em conta o fato dos volumes considerados não serem totalmente ocupados pelo material de peso específico considerado.

PESO TOTAL:  $P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6 = PT$

$$X_{cg} = \frac{x_1.P_1+x_2.P_2+x_3.P_3+x_4.P_4+x_5.P_5+x_6.P_6}{PT}$$

$$Y_{cg} = \frac{y_1.P_1+y_2.P_2+y_3.P_3+y_4.P_4+y_5.P_5+y_6.P_6}{PT}$$

CONDICÃO DE ESTABILIDADE:  $0 < X_{cg} < LB$

(tanto mais estável quanto mais próximo de  $LB/2$ )

### 3.3.4. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE:

Esta análise envolve considerações de ordem de compatibilidade física no sentido das características dimensionais dos componentes serem coerentes para que haja uma interação dos componentes de forma compatível.

A análise aqui baseia-se nos desenhos dos detalhes anteriormente apresentados, de forma que são apresentados os seguintes parâmetros, acrescidos de índices discriminativos.

$e$  = espessura de chapa  
 $f$  = folga entre dois componentes com movimento relativo entre si  
 $lr$  = largura de pista de rolamento  
 $dr$  = diâmetro externo do rolamento  
 $lmp$  = largura do motor de passo  
 $dmp$  = diâmetro do motor de passo  
 $lch$  = largura de chaveta  
 $dpi$  = diâmetro do pino de fixação

Temos as seguintes relações:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= d_2 + 4.e_1 + lr_1 + 2.f_1 \\
 lb_1 &= dr_1 + 2.e_1 \\
 d_2 &= lr_1 + 4.e_2 + f_2 + lmp_1 \\
 lb_2 &= dmp_1 + 2.e_2 \\
 d_3 &= 3.e_3 + lch_3 + f_3 \\
 lb_3 &= dr_3 + 4.e_3 \\
 l_p &= dmp_3 + 4.e_4 \\
 b_3 - di &= lmp_3 + lr_4 + 3.e_4 + dpi \\
 d_M &= lch_6 + lmp_4 + 3.e_6 + lr_6
 \end{aligned}$$

### 3.3.5. ANALISE DINÂMICA:

O torque necessário no motor de passo (2) varia com a posição da carga, e é dado pela expressão:

$$M_2 = Q \cdot (xP - xP')$$

Analogamente, no motor de passo (1) temos:

$$M_1 = Q \cdot xP$$

Podemos selecionar os motores de passo que atendam a essas especificações de torque e que tenham uma quantidade de passos por volta que permitam uma precisão no posicionamento adequada.

Para determinarmos, baseados no número de passos por volta do motor de passo, podemos usar as seguintes expressões:

$$pas = \frac{2 \cdot (3,1416) \cdot (b_2 + b_3)}{pv_1} + \frac{2 \cdot (3,1416) \cdot b_3}{pv_2}$$

onde:

$pv_1$  = passos por volta do motor 1

$pv_2$  = passos por volta do motor 2

$pa$  = precisão do posicionamento angular  
[mm]

Para o movimento linear temos:

$$pl = pas / pv_4$$

onde:

$pl$  = precisão de posicionamento linear

$pas$  = passo da rosca do parafuso de esferas  
recirculantes

$pv_4$  = passos por volta do motor de passo 4

Para o selecionamento dos motores de passo 3 e 4 é necessário estimar-se o atrito para se determinar o esforço necessário. Isto exige um método de ensaio ou simulação para fazer esta estimativa.

## 3.3. PLANILHA DE CALCULOS E RESULTADOS:

## PLANILHA DE CALCULO DOS DADOS PRINCIPAIS DO MANIPULADOR

## ANALISE GEOMETRICA: DADOS ADMITIDOS

hb	200.0	200.0	200.0	180.0	180.0
hc	350.0	200.0	200.0	220.0	240.0
lc1	300.0	260.0	220.0	240.0	220.0
	.5	.5	.3	.4	.4
â	30.0	30.0	20.0	25.0	25.0
H	1150.0	1150.0	1150.0	1150.0	1150.0
b2	900.0	800.0	850.0	780.0	760.0
bcp	250.0	200.0	150.0	200.0	200.0
hb	200.0	150.0	150.0	150.0	150.0
L	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
hf	370.0	300.0	300.0	300.0	300.0
le	400.0	400.0	350.0	350.0	350.0
ld	100.0	100.0	100.0	100.0	110.0
lf	200.0	200.0	160.0	160.0	140.0
f	30.0	20.0	20.0	20.0	16.0
df	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
z	500.0	500.0	400.0	400.0	400.0
db	300.0	300.0	200.0	200.0	200.0
z-db	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
d0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
di	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0

## ANALISE GEOMETRICA: DADOS CALCULADOS

lc2	400.0	360.0	320.0	340.0	330.0
lb	800.0	760.0	670.0	690.0	680.0
lb	612.0	583.1	477.5	503.8	466.3
b1	263.6	480.0	538.9	512.7	490.5
p1	135.4	135.4	135.4	135.4	119.0
D	849.0	932.2	862.8	902.8	878.5
Rat	516.4	516.4	516.4	516.4	523.9
dB	675.5	675.5	575.5	575.5	557.5
... campos auxil. p/ o cálculo dos ângulos					
	.6	.6	.6	.6	.6
	.4	.4	.4	.4	.5
	154.0	154.0	154.0	154.0	141.6
	.2	.2	.2	.2	.2
	.3	.4	.3	.4	.4
	851.7	745.2	798.7	723.7	707.0
	290.9	290.9	290.9	290.9	278.9
	281.0	147.8	137.2	117.2	107.5
	.3	.2	.2	.2	.2

.... ângulos a serem determinados .....

	.6	.5	.7	.6	.6
â1	32.0	28.2	40.2	32.3	35.3
	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2
â2	232.9	237.5	240.2	238.9	240.8
	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
ê1	121.0	121.0	121.0	121.0	118.9
	.3	.3	.3	.3	.3
ê	18.0	16.3	18.7	17.1	16.9
	1.9	1.2	1.7	1.3	1.3
ê	109.4	70.1	96.7	72.7	72.4

ANALISE CINEMATICA: POSIÇÕES

xp'	900.0	-800.0	850.0	-780.0	658.2
yp'	.0	.0	.0	.0	380.0
xp	1178.1	-1078.	1128.1	-1058.	847.33
yp	.0	.0	.0	.0	190.8

ANALISE DE COMPATIB.: DADOS ADMIT.

e1	12.7	12.7	12.7	12.7	9.5
e2	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7
e3	12.7	12.7	12.7	12.7	9.5
e4	12.7	12.7	12.7	12.7	9.5
e6	12.7	12.7	12.7	12.7	9.5
f1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6
f2	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6
f3	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6
lr1	22.0	22.0	22.0	22.0	21.0
lr4	22.0	22.0	22.0	22.0	21.0
lmp1	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
lmp3	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
lmp4	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
dmp1	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
dmp3	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
lch3	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
lch6	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
dpi	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
dr1	110.0	110.0	110.0	110.0	100.0
dr3	110.0	110.0	110.0	110.0	100.0

ANALISE DE COMPATIB.: DADOS CALCUL.

d1	211.6	211.6	211.6	211.6	195.6
d2	134.8	134.8	134.8	134.8	133.4
d3	48.1	48.1	48.1	48.1	36.1
lb1	135.4	135.4	135.4	135.4	119.0
lb2	145.4	145.4	145.4	145.4	145.4
lb3	160.8	160.8	160.8	160.8	138.0
lp	170.8	170.8	170.8	170.8	158.0
b3	278.1	278.1	278.1	278.1	267.5
dM	128.1	128.1	128.1	128.1	117.5
dm	47.4	47.4	47.4	47.4	40.0

-----  
ANALISE DE ESTABIL.: DADOS ADMIT.

G1	:	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6
G2	:	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6
G3	:	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6
G4	:	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6
G5	:	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6	7.7e-6
f1	:	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	35.0%
f2	:	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	25.0%
f3	:	15.0%	15.0%	15.0%	15.0%	20.0%
f4	:	15.0%	15.0%	15.0%	15.0%	20.0%
f5	:	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%
	:	.0	3.1	.0	3.1	.5
δ1	:	.0	180.0	.0	180.0	30.0
	:	.0	.0	.0	.0	-1.3
δ2	:	.0	.0	.0	.0	-75.0
Q	:	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0

-----  
ANALISE DE ESTABIL.: CALCULO DO C.G.

x1	:	459.4	418.2	365.9	382.3	376.2
y1	:	209.0	151.0	149.4	149.7	153.3
P1	:	547.8	421.7	313.5	311.7	261.5
x2	:	810.5	815.1	734.8	740.6	718.7
y2	:	577.3	434.3	439.3	436.2	451.6
P2	:	108.4	74.0	40.2	42.8	33.2
x3	:	516.9	280.2	294.8	260.9	265.8
y3	:	886.4	670.0	611.1	637.3	659.5
P3	:	8.7	37.8	37.8	37.8	41.0
x4	:	776.0	27.8	657.2	-2.8	544.0
y4	:	263.6	480.0	538.9	512.7	630.5
P4	:	25.9	22.5	22.5	22.0	28.5
x5	:	1490.0	-611.3	1296.2	-631.8	1054.2
y5	:	263.6	480.0	538.9	512.7	775.9
P5	:	3.5	3.5	3.5	3.5	2.3
x6	:	1499.1	-950.3	1235.3	-970.9	948.81
y6	:	1150.0	1150.0	1150.0	1150.0	1340.8
P6	:	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Xcg	:	552.4	403.0	446.8	332.4	433.3
Ycg	:	295.7	262.6	274.9	276.7	319.7
PT	:	709.2	574.5	432.5	432.8	381.5
LB-X	:	247.6	357.0	223.2	357.6	246.7

-----  
ANALISE DINÂMICA: DADOS ADMITIDOS  
-----

pv1 : 100.0 200.0 200.0 200.0 200.0  
pv2 : 100.0 200.0 200.0 200.0 200.0  
pas : 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5  
pv4 : 100.0 100.0 100.0 100.0 100.0

-----

## DADOS CALCULADOS

M1 : 1060.3 -862.5 958.9 -825.3 644.0  
M2 : 4.2 -4.2 4.2 -4.2 2.8  
pa : 91.496 42.606 44.177 41.978 40.684  
pl : .015 .015 .015 .015 .015

=====

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

#### 4. CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho apresentamos as características básicas de um manipulador automático para carregamento de torno CNC universal. Não é um projeto completo, uma vez que se prende às características mecânicas do mesmo, deixando de lado o sistema de controle e os sistemas de sensoriamentos (ambos relativamente simples no nosso caso).

Concluindo este projeto básico, podemos resumir as características do manipulador como a seguir:

Número de eixos: 4

Acionamento: 4 motores de passo

Área de base: 680 x 557,5 mm<sup>2</sup>

Altura da articulação do braço principal: 1150,0 mm

Carga máxima dimensionada: 15Kg

Volume máximo ocupado: 2055,0 x 2177,5 x 557,5 mm<sup>3</sup>

Peso: 381,5 kg

Deslocamento transversal: 200 mm

Ângulos de atuação do braço principal:

    máximo: 240 0

    mínimo: -35 0

Ângulo de 'PITCH': 238 0

Raio de atuação: 524 mm

Torque máximo requerido no motor de 'pitch'

    da garra: 4,5 kg.m

## 5. BIBLIOGRAFIA

- HOLLAN, J. M., *Basic Robotic Concepts*, HOWARD, USA, 1983;
- KAFRISSSEN, Edward , *Industrial Robots and Robotics*, RESTON Inc, USA, 1984;
- MASTERSON, James W., *Robotics*, RESTON Inc, USA, 1985;
- REHG, James, *Introduction to Robotics*, PRENTICE HALL, USA, 1985.

## 6. FIGURAS

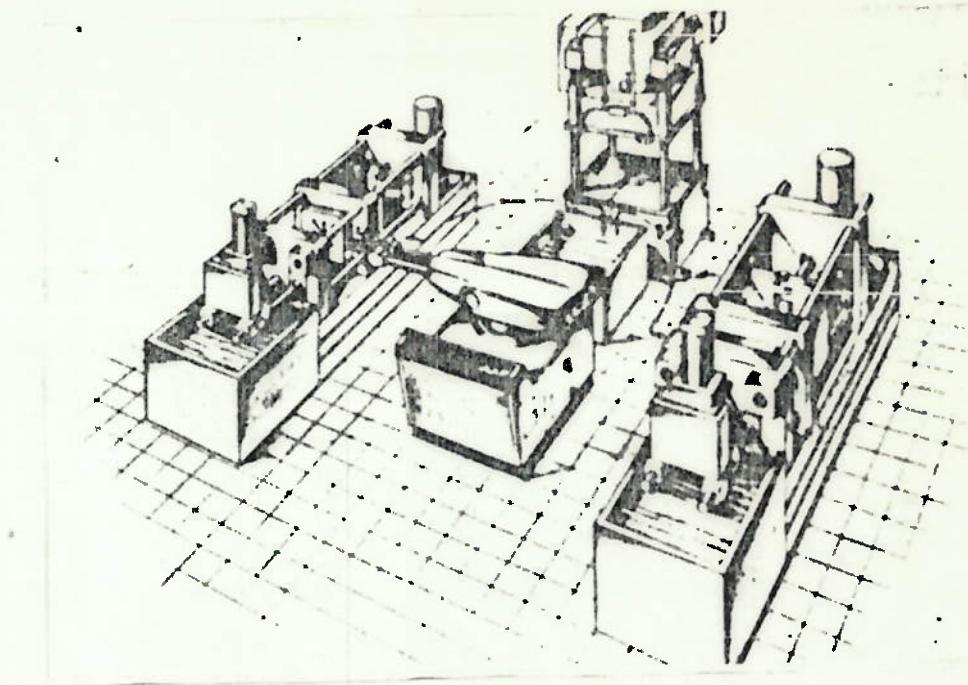


Figura 1.1 : Máquina de carregamento: exemplo de robô de média tecnologia.

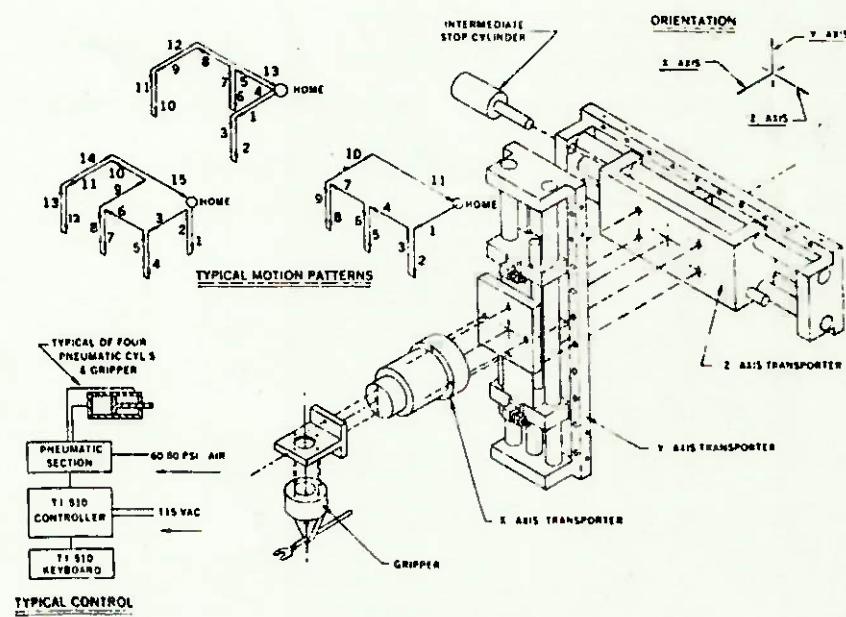


Figura 1.2 : Exemplo de transporters nos três eixos.

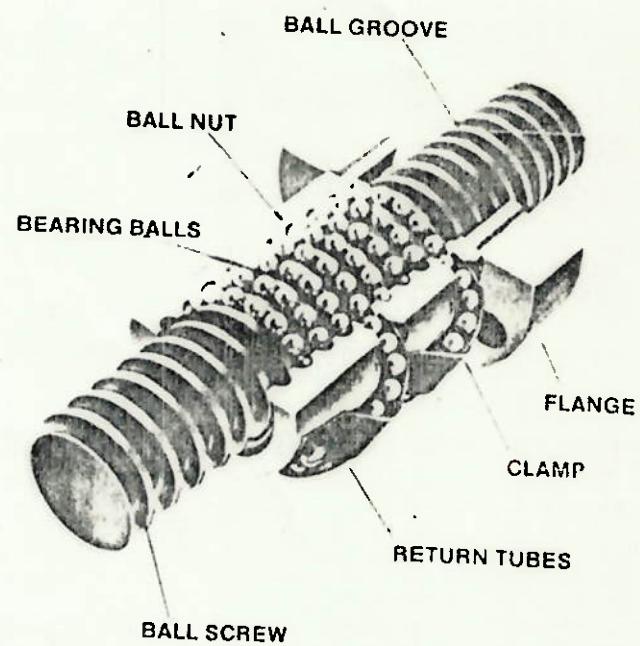
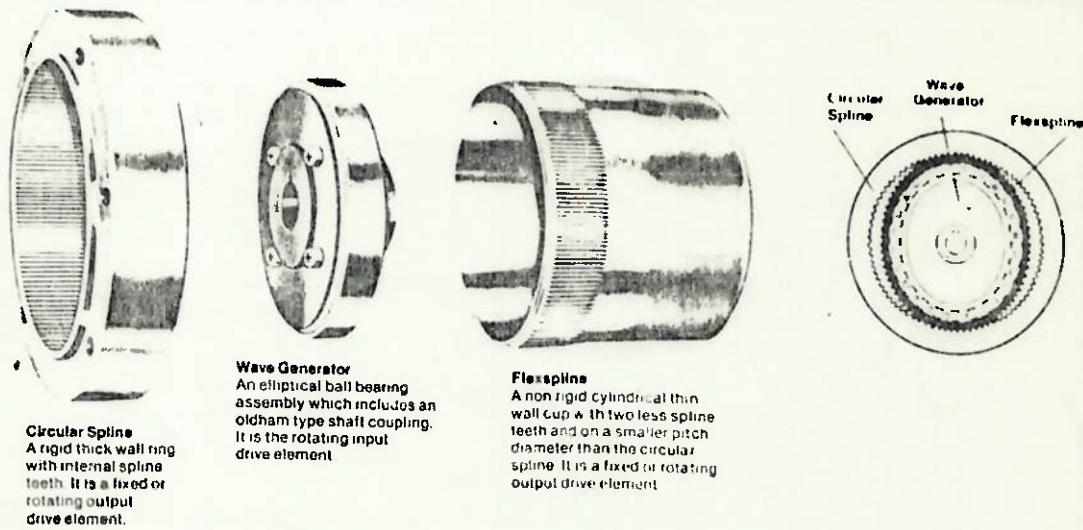


Figura 1.3 : Parafuso de esferas recirculantes.



## TYPICAL INSTALLATION

HDUF Pancake Gearing Component Sets are easier to use than conventional gearing. All that is required is suitable bearing support of an input and output shaft, and a means of fixing the Circular Spline against rotation.

The simplicity of HDUF Pancake Gearing is demonstrated in the typical arrangements shown below.

1. Wave Generator
2. Flexspline
3. Circular Spline
4. Dynamic Spline
5. Motor
6. Input Shaft or Motor Shaft
7. Output Shaft

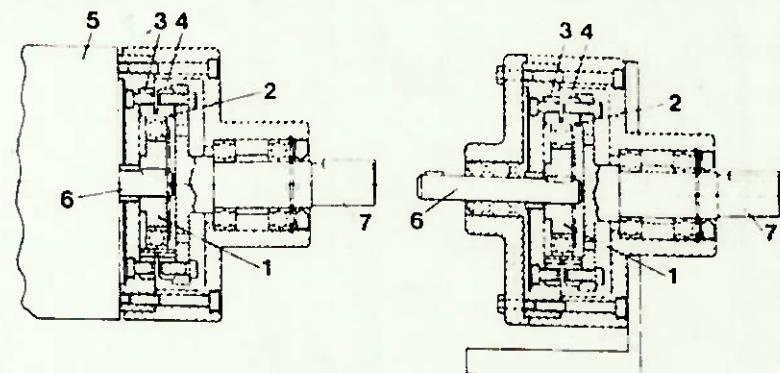


Figura 1.4 : Um sistema de transmissão por Harmonic Drive e instalação típica.

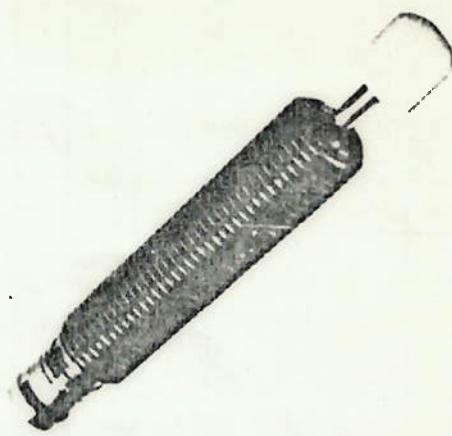


Figura 1.5 : Absorvedores de choque para robótica.

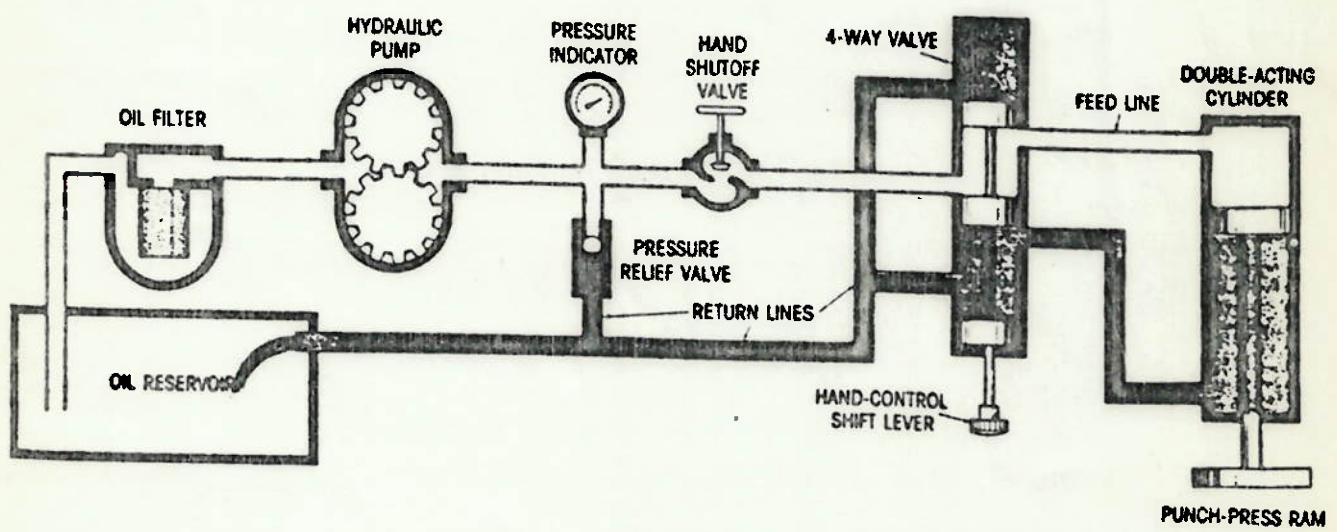


Figura 1.6 : Sistema de potência de fluido hidráulico.

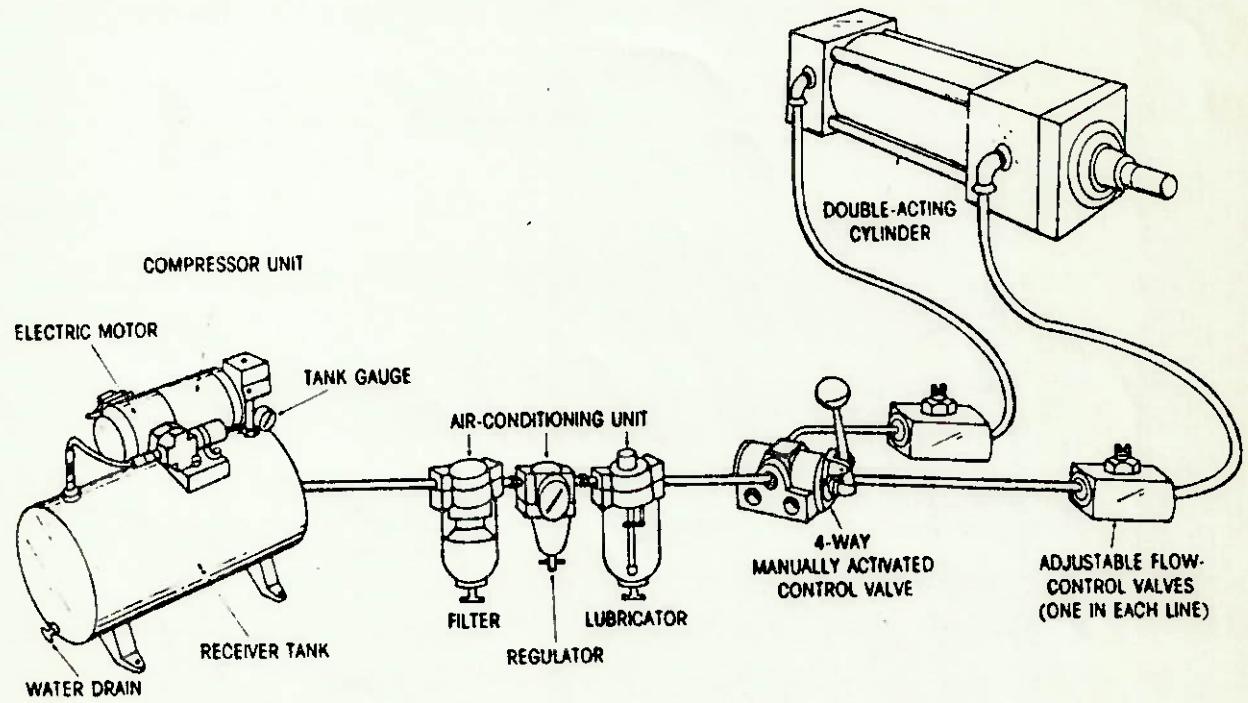
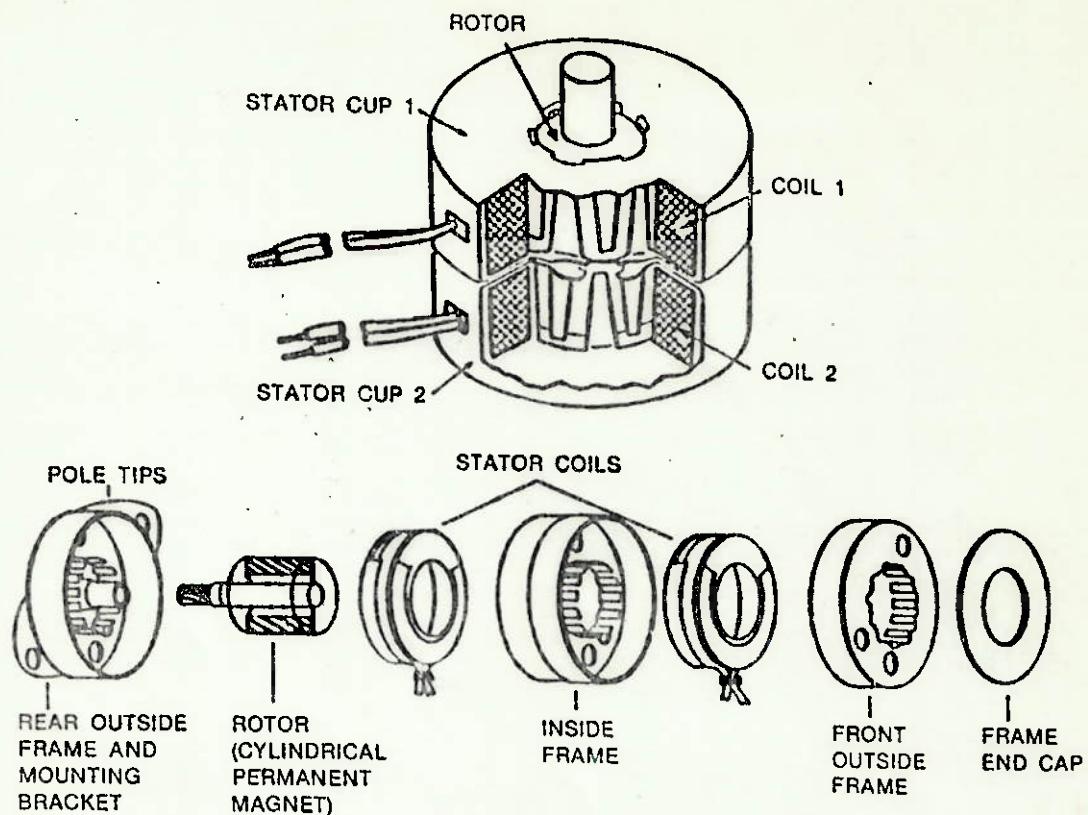


Figura 1.7 : Sistema de potência de fluido pneumático.



NUMBER OF STEPS/REVOLUTION: 4-200  
 MAXIMUM TURNING TORQUE: 0.17-100 OZ-IN  
 STALL TORQUE: 0.3-200 OZ-IN

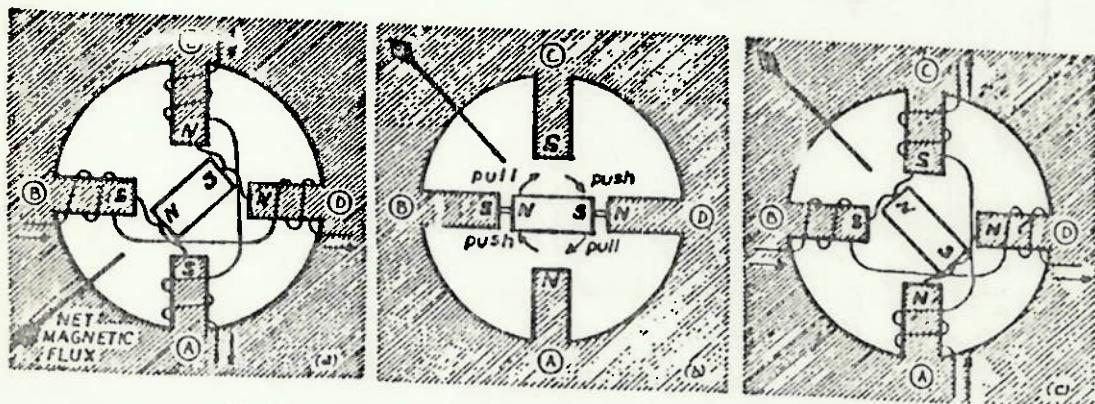


Figura 1.8 : Elementos construtivos de um motor de passo.

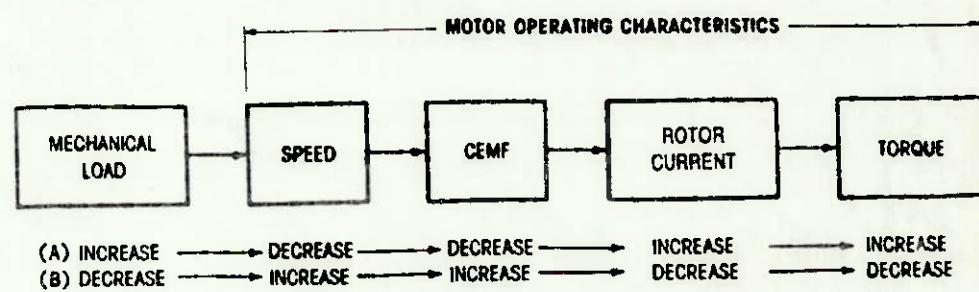
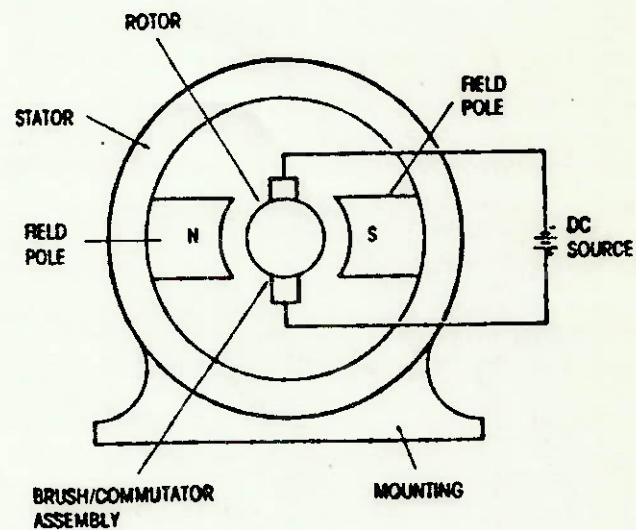


Figura 1.9 : Partes básicas e características operacionais de motores DC.

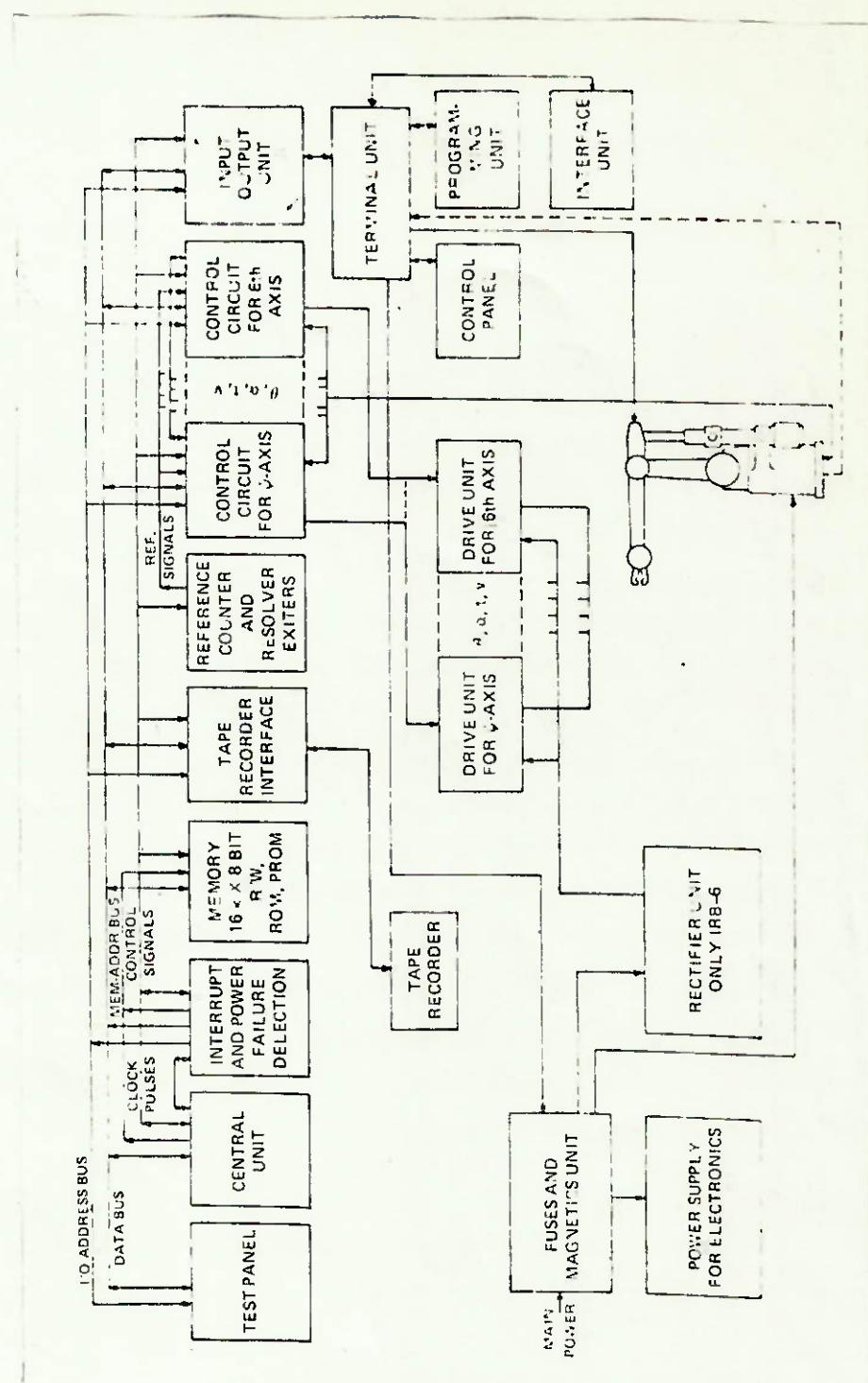


Figura 2.1 : Diagrama de blocos para um sistema de robôs industriais.

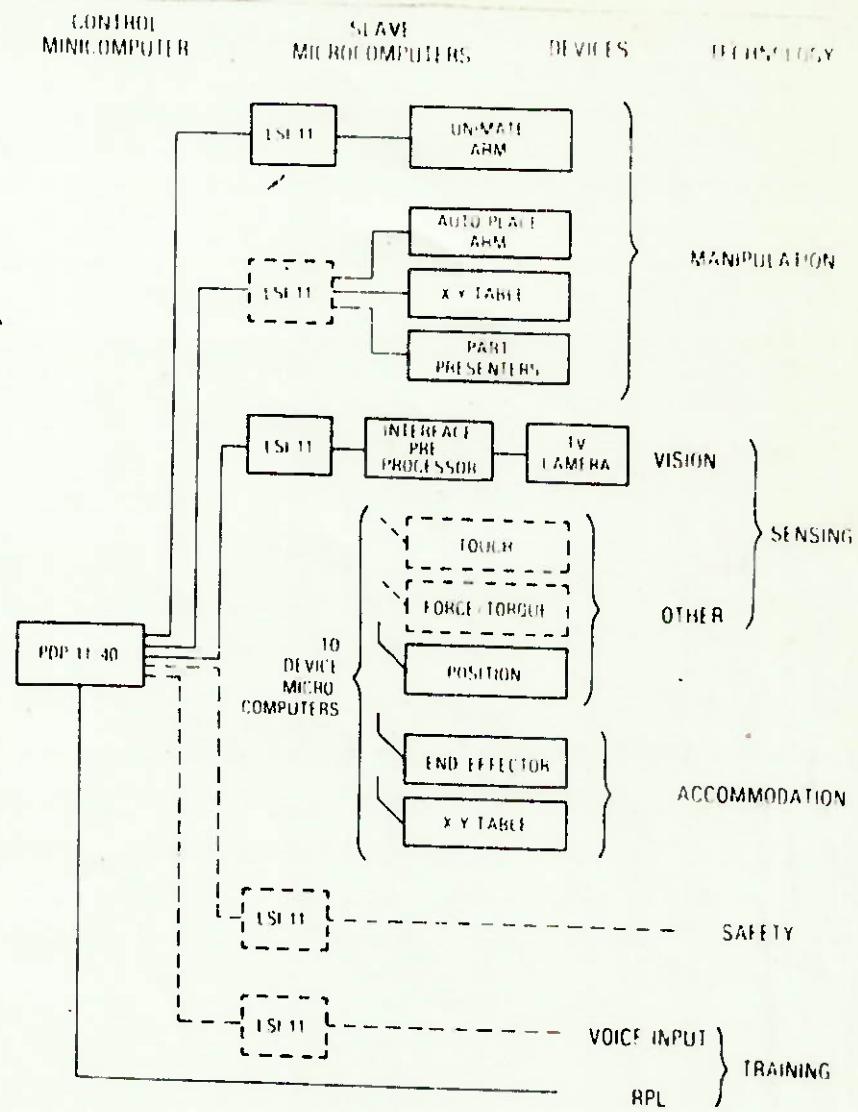


Figura 2.2 : Diagrama de blocos para sensoriamento e feedback em robôs.

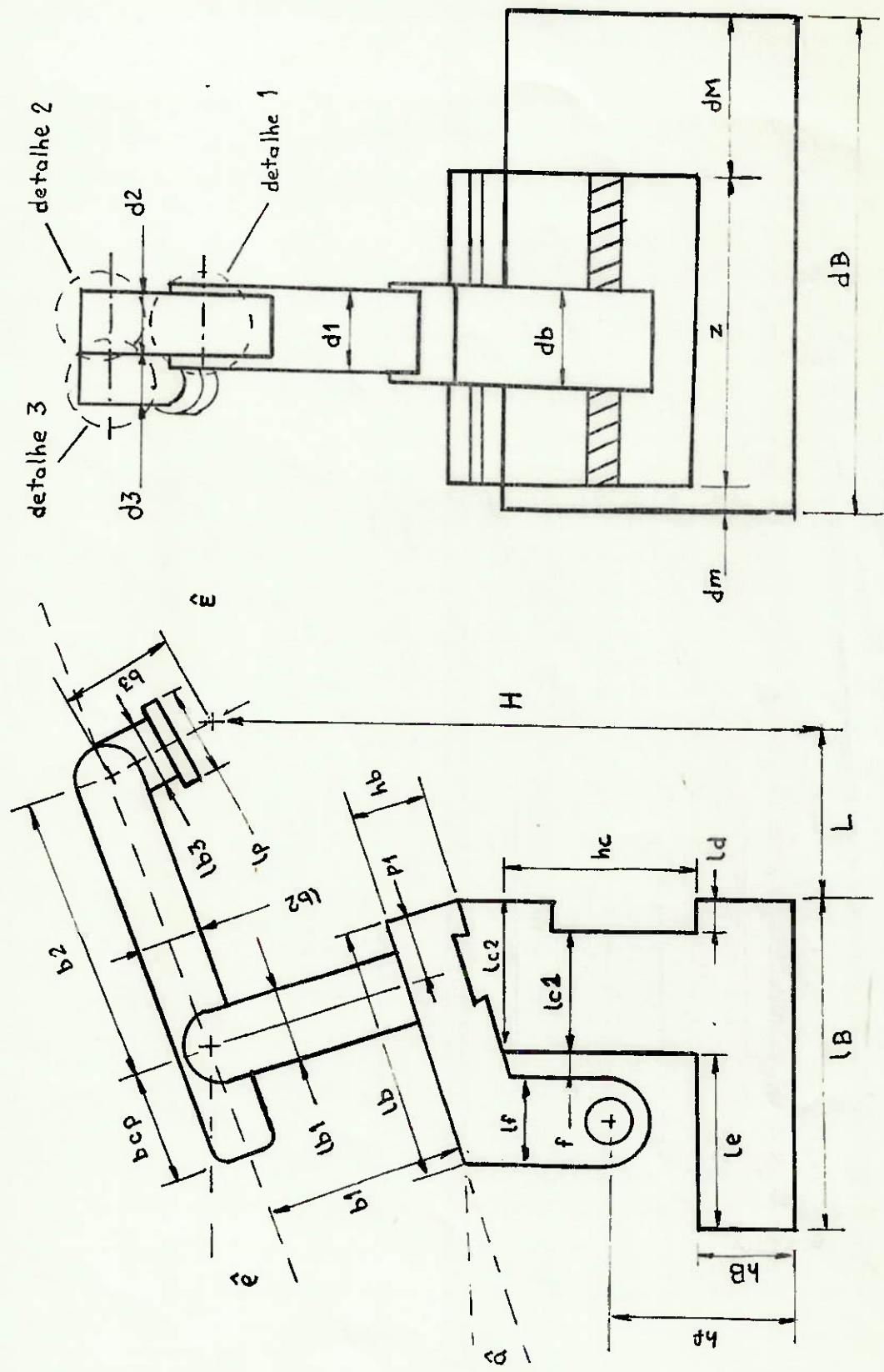
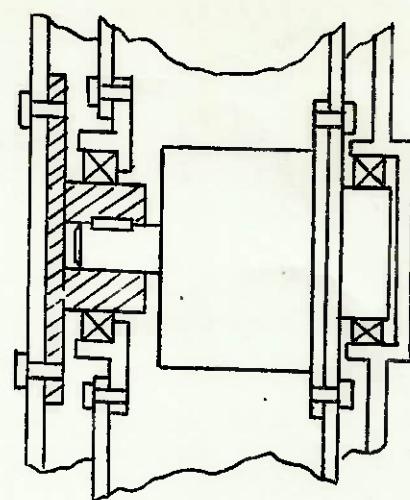
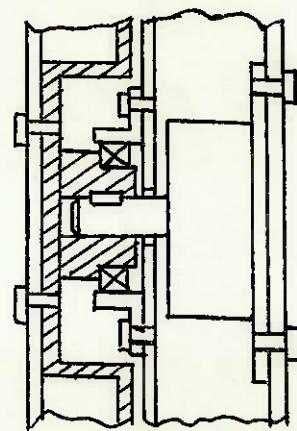


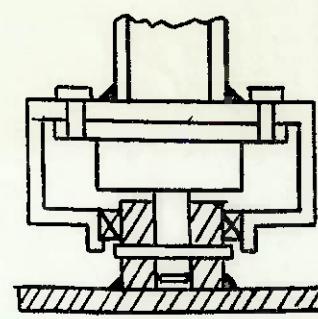
Figura 3.1: Lay-out do modelo de manipulador contendo as grandezas básicas.



detalhe 1



detalhe 2



detalhe 3

Figura 3.2 : Detalhes construtivos do manipulador.