



**Universidade do Porto**  
**FEUP** Faculdade de  
Engenharia

Mestrado em Automação, Instrumentação e Controlo

# **Robótica Industrial**

**Acetatos**

Fundamentos da Robótica

Aspectos Tecnológicos da Robótica

Elaborados por:

**Paulo Abreu**

**2001/2002**



## ***Robótica Industrial***

Paulo Abreu  
António Mendes Lopes  
2001/2003

Mestrado em Automação, Instrumentação e Controlo  
Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

Rua Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal  
Tel.: +351-225 081 531 Fax: +351-225 08 1445  
Email: pabreu@fe.up.pt aml@fe.up.pt, URL: <http://fe.up.pt/maic>

PA ©



## ***Objectivos***

- Conhecimento e compreensão dos aspectos tecnológicos envolvidos na concepção de sistemas robóticos
- Desenvolvimento de capacidades para utilização e programação de sistemas robóticos
- Avaliação das potencialidades e limitações na utilização de sistemas robóticos em aplicações industriais

PA ©



## ***Programa***

- Fundamentos da Robótica
- Análise Cinemática e Dinâmica
- Aplicações de Robôs Industriais
- Especificação de Robôs e Células robotizadas
- Programação de robôs Industriais

PA ®



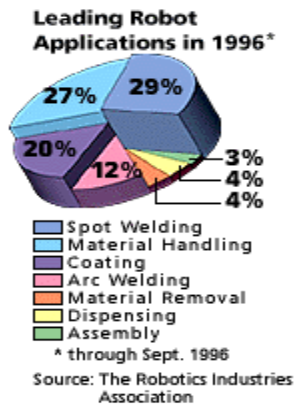
## ***Bibliografia***

- Fu, K. S., Gonzalez, R. C., Lee, C. S. G.  
Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence  
McGraw-Hill, 1987
- Sciavicco, Lorenz and Siciliano, Bruno  
Modeling and Control of Robot Manipulators  
Springer Verlag, 2000
- Groover, M. P. ; Weiss, M., Nagel, R; Odrey, N.G.  
Industrial Robotics - Technology, Programming and  
Applications  
McGraw-Hill, 1986

PA ®



## ***Aplicações de robôs a nível Mundial***



- Alguns números:
- Nos USA, em 1996, 10198 novos robôs foram instalados, perfazendo um total de aprox. 70 000; em 1998, nº subiu para 10857, perfazendo um total de 90 000 robôs instalados
- Na RFA, em 1997, 9500 novos robôs instalados, perfazendo um total de aprox. 85 000

PA ®



## ***Mercado de robôs a nível mundial***

### ■ Valores de mercado

	(1997)	(1998)
– JAPÃO	2.2 billion USD	2.2 billion USD
– USA	1.1 billion USD	1 billion USD
– RFA	560 million USD	600 million USD
– Rep Coreia	143 million USD	
– Itália, França, UK	440 million USD	500 million USD
– Total market value (1998)	4.2 billion, - 13% over 1997	

Fonte: IFR - International Federation of Robotics ( [www.ifr.org](http://www.ifr.org) )

PA ®



## ***Mercado de robôs a nível mundial***

### ■ Crescimentos

- em 1995
  - » 75 500 unidades novas, 33 % sobre 1994
  - » 5.7 *billion* USD, 33% sobre 1994
- em 1996
  - » 80 500 unidades novas, 11 % sobre 1995
  - » 5.3 *billion* USD, 2% sobre 1995
- em 1997:
  - » 85 000 unidades novas, 6.5 % sobre 1996
  - » 4.8 *billion* USD, -4% sobre 1996

Fonte: IFR - International Federation of Robotics ( [www.ifr.org](http://www.ifr.org) )

PA ®



## ***Robótica a nível Mundial***

### ■ 1999 Key data for the world robot market

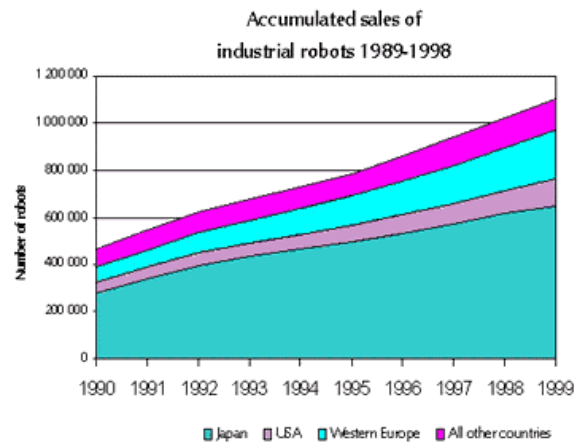
- Total number of robots installed world-wide, including all types, was 81,500 units, +15% over 1998.
- Total market value USD 5.1 billion, - 7% over 1998
- Estimated operational stock of multipurpose and dedicated industrial robots at year end 1999, and forecast for 2003

Fonte: IFR - International Federation of Robotics ( [www.ifr.org](http://www.ifr.org) )

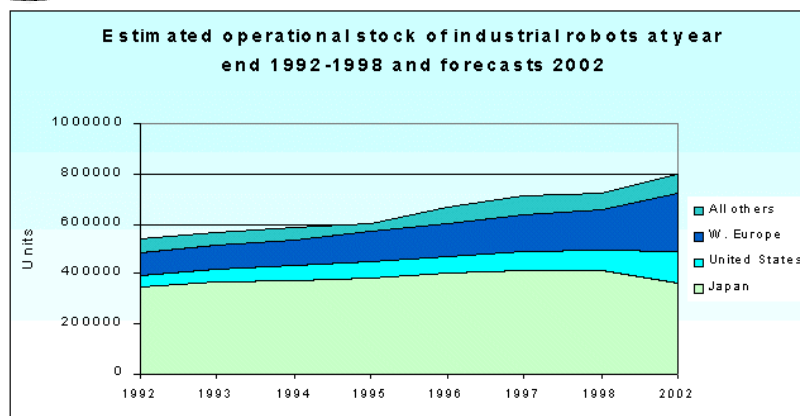
Country	1995	1999	2003	change 99/98 (%)
Japan	387 290	402 212	384 700	-2,3
United States	66 286	92 860	155 400	13,6
European Union	114 699	176 210	262 300	11,3
Germany	51 375	81 203	109 500	11,0
Italy	22 963	34 991	57 600	11,0
France	13 276	18 163	28 200	12,0
United Kingdom	8 314	11 537	14 900	7,2
Austria	2 243	3 000		9,0
Benelux	5 086	7 803		10,3
Denmark	672	1 169		17,7
Finland	1 398	2 276		18,4
Spain	4 913	10 473		21,3
Sweden	4 459	5 595		4,8
Other Europe	15 881	16 976	14 700	2,6
Asia/Australia	27 113	48 219	67 300	7,5
Australia	1 840	2 871		9,9
Rep. of Korea	18 149	33 656		7,1
Singapore	3 275	5 270		6,0
Taiwan	3 849	6 422		10,1
Other countries	3 840	5 974	7 800	6,0
Total	615 100	742 500	892 200	4,9



## ***Robótica a nível Mundial***



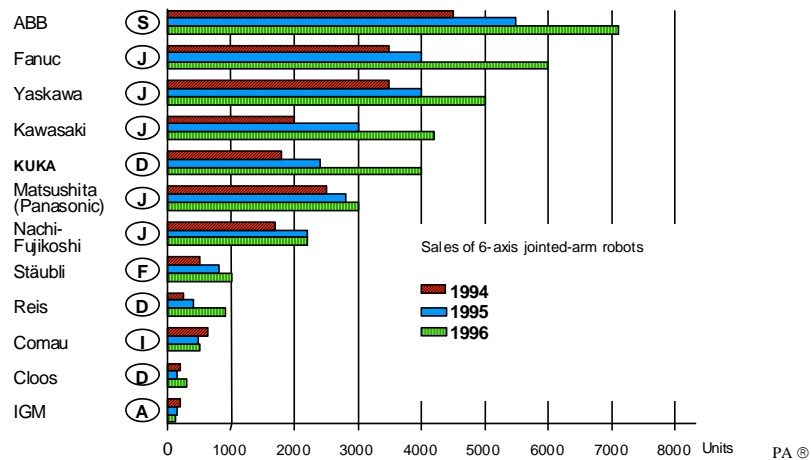
## ***Robôs a nível Mundial***





## ***Fabricantes de Robôs***

Leading robot manufacturers worldwide (Source: KUKA Roboter GmbH)



## ***Fundamentos da Robótica***

- Automação e robótica
- Desenvolvimento histórico
- Definições de Robôs

PA ®



## ***Automação e Robótica***

- AUTOMAÇÃO

Capacidade de funcionamento sem intervenção humana directa

- AUTOMAÇÃO

Implica utilização de sistemas mecânicos, eléctricos, electrónicos e/ou computadorizados para comando e controlo

PA ©



## ***Automação e Robótica***

- SISTEMAS DEDICADOS

*“HARD AUTOMATION”*

- SISTEMAS FLEXÍVEIS

*“SOFT AUTOMATION”*

PA ©





## ***Automação e Robótica***

### ■ AUTOMAÇÃO INCLUI:

- Máquinas Automáticas para Produção de Componentes e Operações de Montagem
- Robôs Industriais
- Sistemas Automáticos de Transporte e Armazenagem de Materiais, de Inspeção para Controlo de Qualidade
- Sistemas Computorizados para Projecto, Planeamento, Recolha de Dados e Processamento de Informação para Suporte de Actividades Relacionadas com a Produção

PA ©



## ***Automação e Robótica***

### ■ SISTEMAS AUTOMATIZADOS DEDICADOS

- Projectados para tarefas específicas
- Pouco ou mesmo nada flexíveis
- Mudança de componentes ou produtos implica a obsolescência do sistema
- Elevado investimento inicial para equipamento à medida do utilizador
- Fáceis de controlar
- Eficientes e fiáveis
- Baixos custos de operação
- Grandes volumes de produção

PA ©



## ***Automação e Robótica***

### ■ SISTEMAS AUTOMATIZADOS FLEXÍVEIS

- Reprogramáveis
- Alguns problemas de controlo
- Manutenção exigente
- Elevado investimento em equipamento de utilização genérica
- Fácil adaptação a variações nos produtos
- Possibilidade de reutilização do equipamento
- Médio e pequeno volume de produção
- Possibilidade de produção contínua de uma mistura variável de produtos

PA ©



## ***Desenvolvimento histórico (I)***

- 1750 Artesão Suíço Jacques de Vaucanson, constrói vários bonecos mecânicos de tamanho humano que tocam música
- 1805 Henri Maillardet constrói um boneco mecânico capaz de desenhar figuras
- 1923 O termo “robô” é pela primeira vez utilizado.
- Karel Capek, um dramaturgo Checo, utiliza o termo “Robota” na sua peça chamada “Rossum’s Universal Robots”. ‘Robota’, em Checo, significa servidão, trabalhador forçado ou escravo, tendo sido utilizado para referir Máquinas desenhadas à imagem do homem para realização de todo o tipo de trabalho humano. A história contada na peça levava à conotação dos robôs com “seres” sinistros que eliminaram os seres humanos.

PA ©



## ***Desenvolvimento histórico (II)***

- 1939 O escritor Isaac Asimov inicia a escrita de histórias sobre robôs, apresentando-os de uma forma amigável. Formula, então, as três leis da Robótica em que afirma:
- \* “um robô nunca deverá atacar um Homem”
  - \* “um robô deverá sempre obedecer a ordens dadas por humanos, desde que não conflitua com a primeira lei”
  - \* “um robô deve proteger a sua própria existência, desde que não conflitua com as primeira e segunda ordens”
- Estas leis irão permanecer como standards no desenvolvimento de robôs.
- 1946 G. C. Devol (USA) desenvolve um controlador capaz de gravar sinais eléctricos magneticamente e reproduzi-los de modo a ser possível operar uma máquina ferramenta (patenteado em 1952)

PA ©



## ***Desenvolvimento histórico (III)***

- 1946 Construído o primeiro computador, o ENIAC
- 1951 Raymond Goertz desenvolve um tele-operador (manipulador de controlo remoto) (patenteado em 1958)
- 1952 Demonstração de um protótipo de comando numérico numa máquina ferramenta, no MIT, USA
- 1954 C. W. Kenward (UK) apresenta um robô (patenteado em 1957)
- 1954 G. C. Devol (USA) apresenta um “programmed article transfer” (patenteado em 1961)
- 1959 “Planet Corporation” comercializa o primeiro robô comercial, controlado por fins de curso e cams

PA ©



## ***Desenvolvimento histórico (IV)***

- 1960 Primeiro robô “UNIMATE” é apresentado, baseado no robô de Devol. Utiliza um sistema de controlo numérico e tem accionamento hidráulico.
- 1961 Instalação do primeiro robô industrial (da Unimation) na General Motors, numa aplicação de fundição. É chamado de “dispositivo de transferência universal”, e não de robô.
- 1966 Trallfa, uma companhia Norueguesa constrói e instala um robô para pintura à pistola
- 1968 O “Stanford Research Institute “, USA, desenvolve um robô móvel equipado com diversos tipos de sensores (sensores de visão e sensores de tacto)

PA ©



## ***Desenvolvimento histórico (V)***

- 1971 Na universidade de Stanford, USA, é desenvolvido um braço-robô, de accionamento eléctrico, tornando-se modelo standard para projectos de desenvolvimento
- 1973 Comercialização do 1º robô industrial controlado por computador e accionamento eléctrico pela firma Cincinnati Milacron Corp. ; o robô é chamado de T3 (“The Tomorrow Tool”)
- 1973 Desenvolvimento da primeira linguagem de programação de robôs chamada “WAVE”. Seguidamente foi desenvolvida a linguagem “AL” (em 1974), que vieram posteriormente a originar a linguagem “VAL”, comercializada pela firma Unimation.
- 1974 Asea, SW, comercializa o primeiro robô de accionamento eléctrico, o IRB6.
- 1975 Primeiras aplicações de robôs em operações de montagem pela firma “Olivetti Sigma”

PA ©



## ***Desenvolvimento histórico (VI)***

- 1976 Desenvolvimento do RCC- *Remote Center of Compliance* para utilização em operações de montagem (inserções), nos laboratórios *Charles Stark Drapper*, Cambridge, USA
- 1977 O *Jet Propulsion Laboratory*, do *California Institute of Technology*, demonstra um sistema robótico móvel equipado com garras e visão dedicado a exploração planetária (*Mars Rover*)
- 1978 Robô PUMA (*Programable Universal Machine for Assembly*) comercializado pela Unimation para operações de montagem
- 1979 Desenvolvimento do robô "SCARA" (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) na Universidade de Yamanashi, Japão, para aplicações de montagem. Início da comercialização deste tipo de robôs em 1981.

PA ©



## ***Desenvolvimento histórico (VII)***

- 1981 Desenvolvimento de robôs com accionamento directo (*direct drive robot*) na universidade de Cornegie-Mellon, USA
- 1982 IBM comercializa o robô RS-1 para operações de montagem e a linguagem de programação AML
- 1984 A empresa Inteldex Corporation (USA) apresenta um robô para operações de montagem que utiliza os processadores da INTEL 8086 e 8087. O seu software é chamado "Robot Basic", e não é mais do que uma versão especial do Microsoft Basic.

PA ©



## ***Desenvolvimento histórico (VIII)***

ATÉ AO PRESENTE:

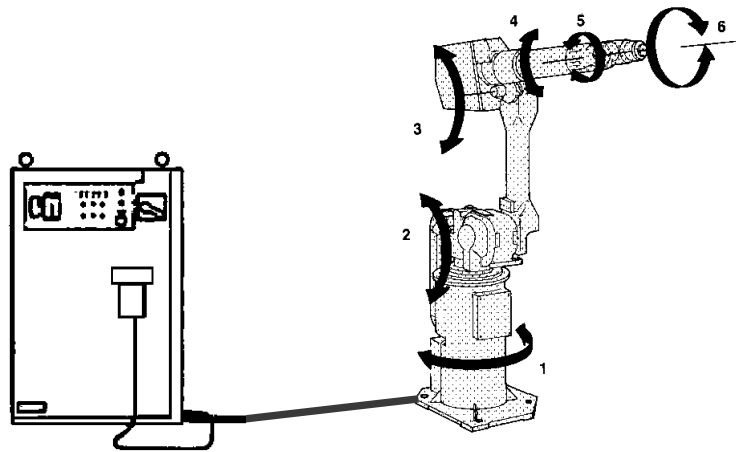
Desenvolvimento e alargamento de características e aplicações de robôs devido a:

- utilização de computadores com alto poder de cálculo
- otimização das estruturas mecânicas
- utilização de novos sensores
- interligação a outros computadores em rede
- utilização de sistemas gráficos para programação
- interligação a sistemas de visão
- incorporação em sistemas automáticos de fabrico

PA ©



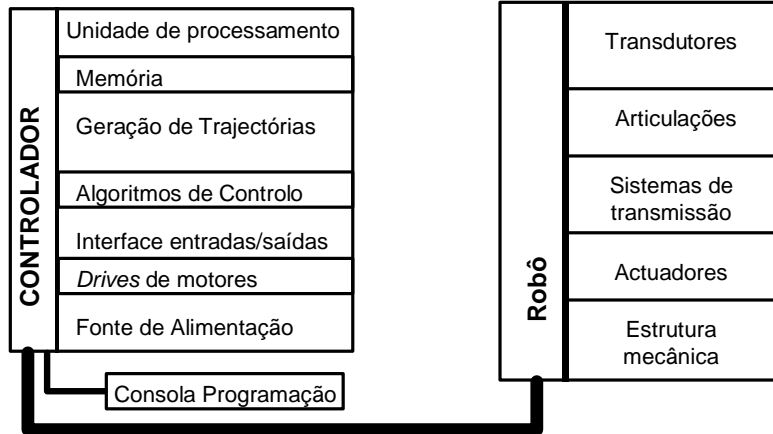
## ***Configuração Típica de um Robô Industrial***



PA ©



## Configuração Típica de um Robô Industrial



PA ©



## Definição de robô segundo a ISO

*“The industrial robot is an automatic position-controlled reprogrammable, multi functional manipulator having several degrees of freedom capable of handling materials, parts, tools, or specialised devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks...”*

*It often takes the appearance of one or several arms ending in a wrist. Its control unity uses a memorise device and some times it can use sensing and adaptation appliances that take account of environment and circumstances.*

*These multi-proposed machines are generally designed to carry out repetitive functions and can be adapted to other functions without permanent alteration of the equipment”*

ISO “Workplan: Industrial Robots” ISO / TC 97 / SC N8, November, 1980

PA ©



## ***Definição de robô segundo a BRA e RIA***

A BRA “British Robot Association” (UK) e a RIA “Robotics Industries Association” (USA) adoptam uma definição semelhante à da ISO

*“ An industrial robot is a reprogrammable device designed to both manipulate and transport parts, tools or specialised manufacturing implements through variable programmed motions for the performance of specific manufacturing tasks”*

BRA, 1982

PA ©



## ***Definição de robô segundo a JIRA***

A visão Japonesa é interessante e distinta das anteriores:

*“ A mechanical system witch has flexible motion functions analogous to the motion function of living organisms or combine such motion functions with intelligent functions and acts in response to the human will. In this context, intelligent function means the ability to perform at least one of the following: judgement, recognition, adaptation or learning”*

JIRA Japanese Industrial Standards, 1979, JISB 0134

PA ©





## ***Normas aplicáveis em Robótica***

- ISO (<http://www.iso.ch/>)
  - ISO 9283-1990: Manipulating Industrial robots - Performance Criteria and related tested methods
  - ISO 10218-1992: Manipulating Industrial robots - Safety
  - ISO 8373-1994: Manipulating Industrial robots - Vocabulary
- ANSI/RIA (<http://www.ansi.org/>)
  - ANSI/RIA R15.06-1992: Industrial Robots and Robot Systems - Safety Requirements
  - ANSI/RIA R15.06-1992: Industrial Robots and Robot Systems - Path related and Dynamic Performance
- JIRA (<http://www.jsa.or.jp/>)
  - JIS B 0134-1993: Industrial Robots - vocabulary

PA ©



## ***Aspectos Tecnológicos da Robótica***

- Configurações de robôs
- Sensores e actuadores
- Elementos Mecânicos

PA ©



## ***Configurações Físicas de Robôs***

### ■ Configurações Série

- Articulada ou revoluta
- Cilíndrica
- Cartesiana
- Polar
- SCARA
- Spine
- Pendular

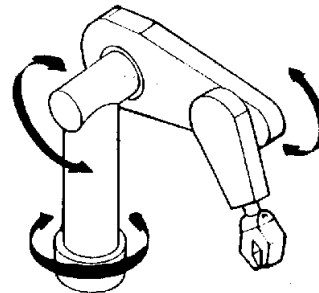
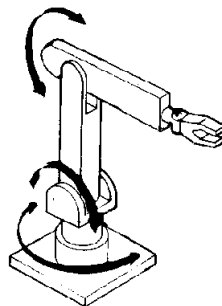
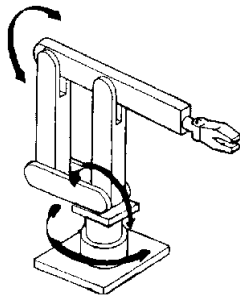
### ■ Configurações Paralela

- plataforma de Stewart
- plataforma de Merlet

PA ©



## ***Estrutura Revoluta***



Configuração R R R

PA ©



## ***Estrutura Revoluta***



PA ©



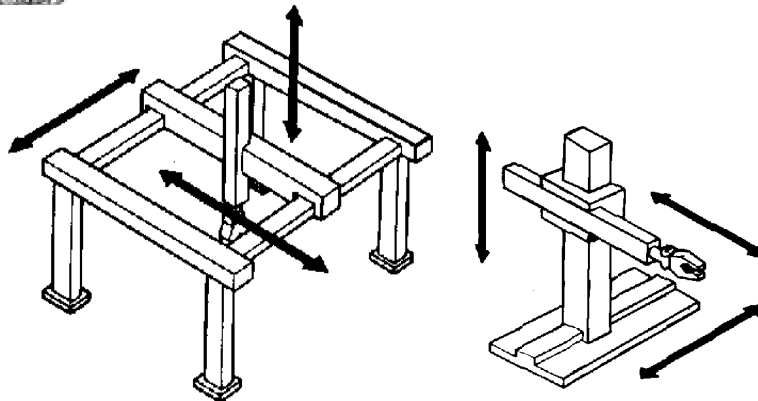
## ***Estrutura Revoluta (articulada ou antropomórfica)***

- Utilização exclusiva de eixos de movimento rotativo
- Programação mais complexa
- Muito boa manobrabilidade - habilidade de contornar obstáculos
- Elevada velocidade de operação
- Grande volume de trabalho para pequena área de montagem - integrável em locais de trabalho restritos
- Fácil acesso ao espaço frontal, lateral, superior e retaguarda
- Possibilidade de utilização de
  - estrutura cinemática aberta (menos rígida, mais flexível)
  - estrutura cinemática fechada (mais rígida, menos flexível)

PA ©



## ***Estrutura Cartesiana***

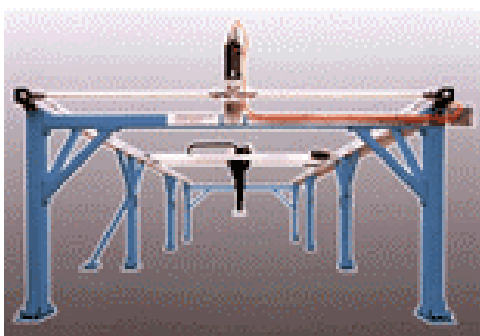


Configuração P P P

PA ©



## ***Estrutura Cartesiana***



PA ©



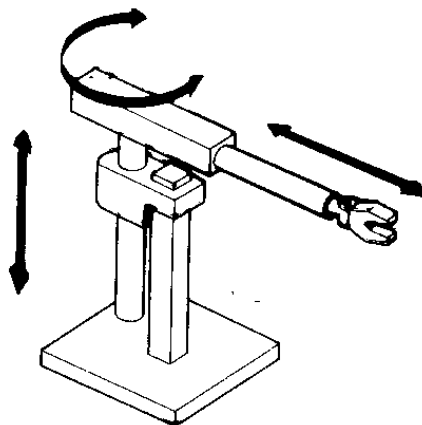
## ***Estrutura Cartesiana***

- Movimentos lineares em sistema de eixos cartesianos (similar a máquinas ferramenta)
- Estrutura de tipo modular facilmente expansível
- Controlo de movimentos e programação simples
- Estrutura inerentemente rígida
- Capacidade de carga elevada
- Precisão elevada
- volume de trabalho grande

PA ©



## ***Estrutura Cilíndrica***



Configuração P R P

PA ©



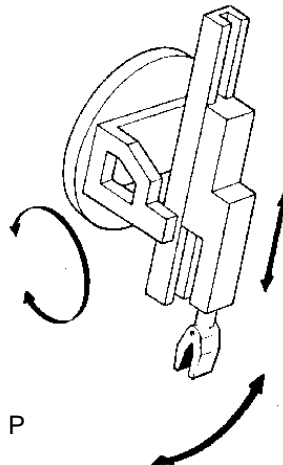
## ***Estrutura Cilíndrica***

- Combinação de dois eixos ortogonais de movimento linear com um eixo de movimento rotativo
- Sistema de controlo e programação simples
- Boa precisão
- Possível velocidades de operação elevadas
- Boa acessibilidade frontal e lateral
- Estrutura simples oferecendo elevada fiabilidade

PA ©



## ***Estrutura Pendular***

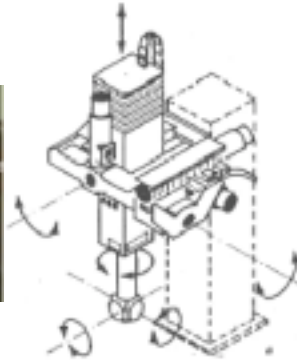
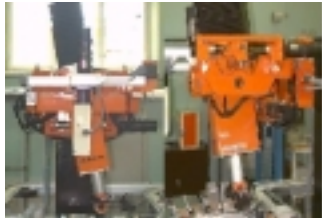


Configuração R R P

PA ©



## ***Estrutura Pendular***



PA ©



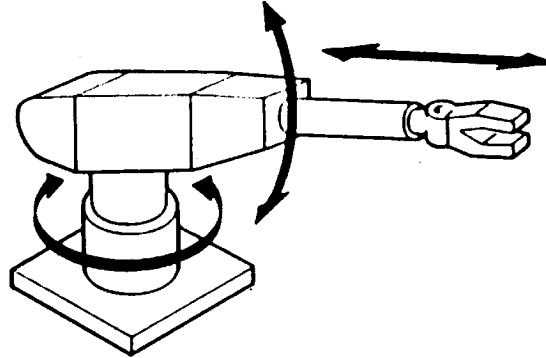
## ***Estrutura Pendular***

- Combinação de dois movimentos rotativos  
perpendiculares com movimento linear
- Elevada capacidade de carga
- Elevada velocidade de operação
- Geometria simples

PA ©



## ***Estrutura Polar (esférica)***



Configuração R R P

PA ©



## ***Estrutura Polar (esférica)***



PA ©





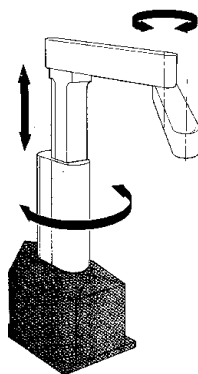
## ***Estrutura Polar (esférica)***

- Combina dois movimentos de rotação com um movimento linear, em sistema de coordenadas polar
- Sistema de controlo e programação simples
- Grande espaço de trabalho
- Velocidades de operação elevadas
- Elevada capacidade de carga
- Precisão e repetibilidade elevadas

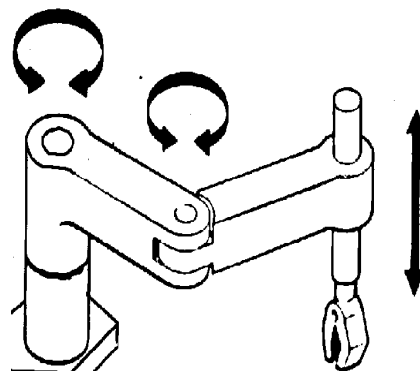
PA ©



## ***Estrutura “SCARA”***



Configuração R P R



Configuração R R P

PA ©



## ***Estrutura “SCARA”***



PA ©



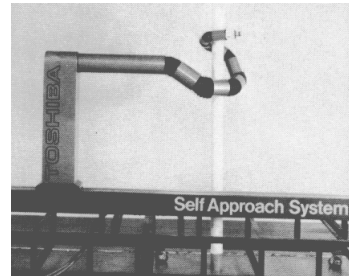
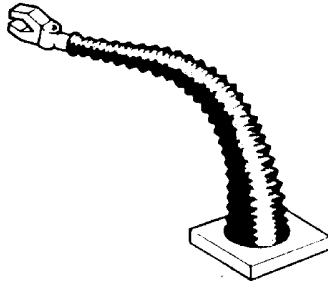
## ***Estrutura “SCARA”***

- SCARA - *Selective compliance assembly arm*
- Combinação de eixos de movimento rotativo num plano horizontal com um movimento linear vertical
- Estrutura vocacionada para operações de montagem
- Estrutura rígida na direcção vertical
- Elevada manobrabilidade
- Elevadas velocidade de trabalho
- Precisão e repetibilidade elevadas
- Elevada velocidade de trabalho

PA ©



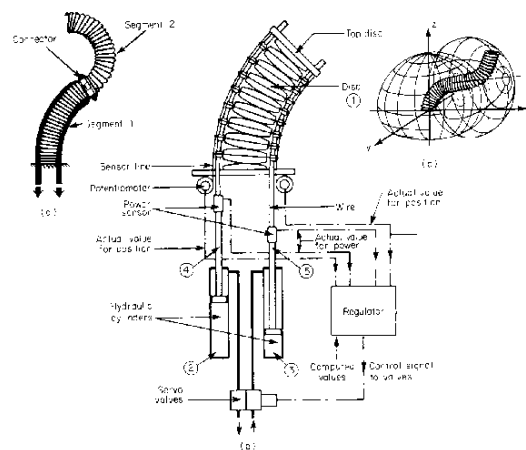
## Estrutura "Spine"



PA ©



## Estrutura "Spine"



Spine robot. (Source: Spine Robotics and Penton/IPC.)

PA ©



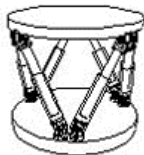
## ***Estrutura “Spine”***

- Caracterizada pelo aspecto de um só braço totalmente compacto e flexível, envolto numa manga protectora
- Processo de actuação
  - utilização de uma série de articulações universais motorizadas que podem ser combinadas de uma forma modular.
  - Utilização de um tipo especial de rótulas ‘ovóides’ interligadas por uns cabos de aço tensionados.
- Extrema manobrabilidade
- Extrema compacidade
- Possibilidade de contornar facilmente obstáculos
- Ocupação de pequena área de montagem

PA ©



## ***Estruturas paralelas***



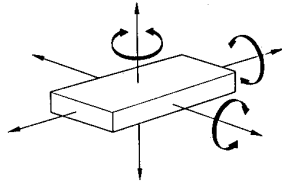
PA ©



## ***Graus de Liberdade e Graus de Movimento (I)***

### ■ Graus de liberdade (GDL)

- Localização de um objecto no espaço euclidiano



- posicionamento  
(três graus de liberdade:  $X, Y, Z$ )
- orientação  
(três graus de liberdade:  $\theta X, \theta Y, \theta Z$ )

### ■ Graus de movimento ou mobilidade (GDM)

- número de eixos de movimento

PA ®



## ***Graus de Liberdade e Graus de Movimento (II)***

- N° máximo de graus de liberdade: 6
  - três para posicionamento e três para orientação.
- Independência entre graus de liberdade
- Em robótica: graus de liberdade associados à capacidade do robô posicionar e orientar o seu elemento terminal no espaço
- Graus de movimento podem ou não corresponder a graus de liberdade
- Manipulador redundante:  $GDM > GDL$

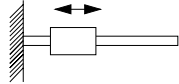
PA ®



## ***Graus de Liberdade e Graus de Movimento (III)***

### ■ sistemas com um eixo

- eixo linear: 1 GDL, 1 GDM - implementação de X



- eixo rotativo: 1 GDL, 1 GDM - implementação de  $\theta$



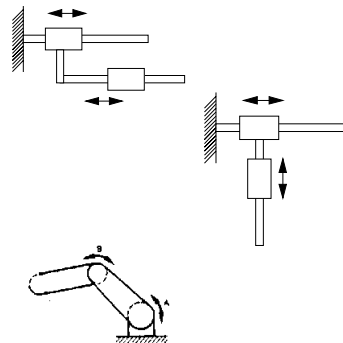
PA ©



## ***Graus de Liberdade e Graus de Movimento (IV)***

### Sistemas com 2 eixos

- 2 eixos lineares paralelos: 1 GDL, 2 GDM - implementação de X
- 2 eixos lineares ortogonais: 2 GDL, 2 GDM - implementação de X e Y
- 2 eixos rotativos paralelos: 2 GDL, 2 GDM - implementação de X e Y ou implementação de X e  $\theta$  ou implementação de  $\theta$  e  $\phi$
- 2 eixos rotativos ortogonais: 2 GDL, implementação de  $\theta$  e  $\phi$



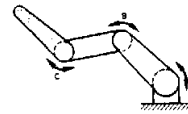
PA ©



## ***Graus de Liberdade e Graus de Movimento (V)***

### ■ sistemas com 3 eixos

- 3 eixos lineares ortogonais entre si: 3 GDL, implementação de X e Y e Z
- 3 eixos rotativos paralelos: 3 GDL, 3 GDM, implementação de X e Y e  $\theta Z$



PA ®



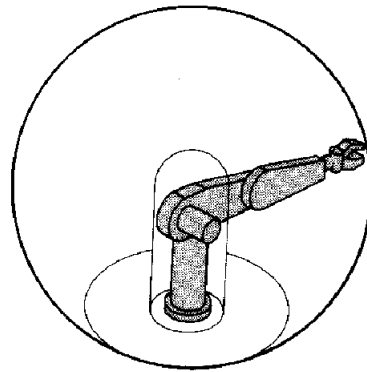
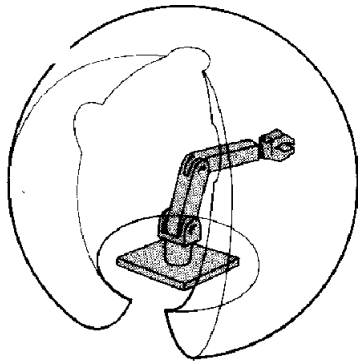
## ***Volume de trabalho***

- Forma e volume do espaço de trabalho
- Espaço de trabalho não acessível
- Alcance em direcções preferencias
- Identificação de zonas potencialmente perigosas
- Definição do *layout*
- Interacção com outros equipamentos

PA ®



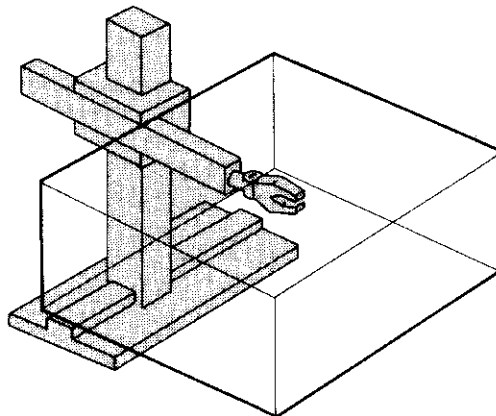
## ***Estrutura Revoluta***



PA ®



## ***Estrutura Cartesiana***

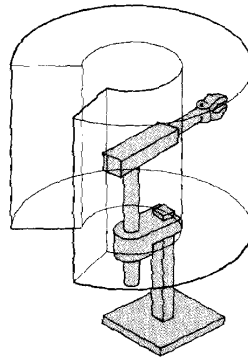


PA ®





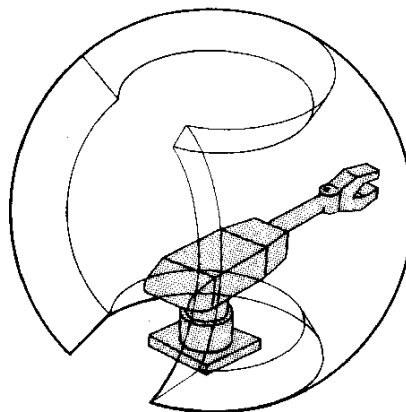
## ***Estrutura Cilíndrica***



PA ©



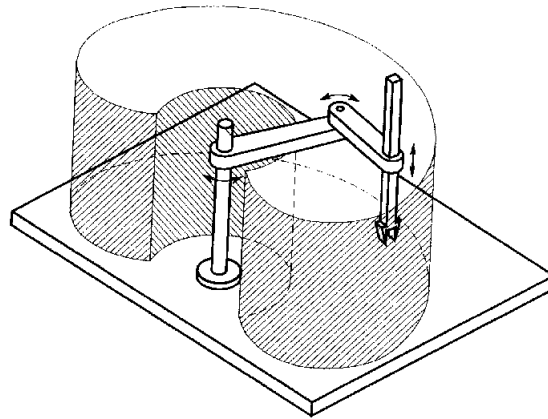
## ***Estrutura Polar***



PA ©



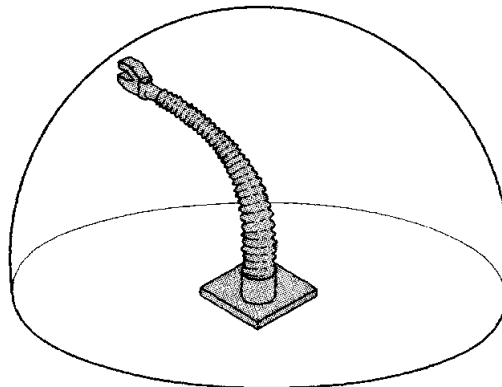
## ***Estrutura SCARA***



PA ©



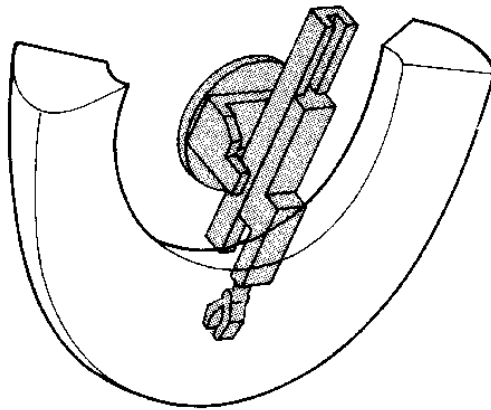
## ***Estrutura SPINE***



PA ©



## ***Estrutura Pendular***



PA ©



## ***Montagem de robôs***

### ■ Fixa

- no solo “free standing”
- na parede
- no tecto (invertida)

### ■ Móvel

- em rail no solo
- em rail na parede
- em rail no tecto

PA ©



## ***Capacidade de Carga***

- Definida sem consideração do peso das ferramentas / garras a montar no robô
- Factores que condicionam a capacidade de carga
  - configuração da estrutura física do robô
  - dimensões e rigidez do robô
  - velocidade, precisão e repetibilidade
  - tipo de actuadores
- Classes típicas de capacidade de carga
  - ate 15 Kg
  - de 15 a 40 Kg
  - mais de 40 kg

PA ®



## ***Sensores***

- Posição
- Velocidade
- Aceleração
- Medição de força e binário
- Proximidade

PA ®



## ***Sensores***

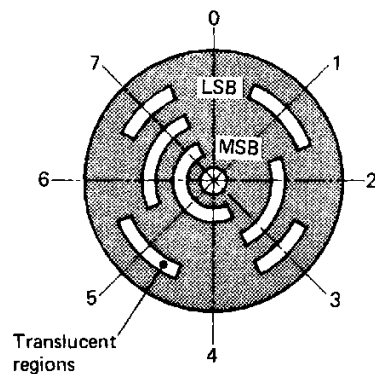
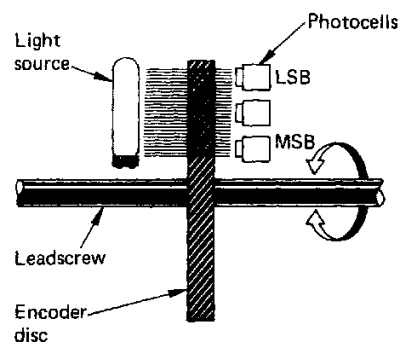
### ■ Medição de posição angular

- Encoders absolutos (digitais)
  - » *single radial grating*
  - » *radial Moiré fringe gratings - optical magnification*
- Resolvers (analógicos)
  - » synchro - tensão proporcional a posição angular
  - » synchro resolver - diferença de fase proporcional a posição angular
- Potenciômetros (analógicos)
  - » volta única
  - » multi-volta

PA ®



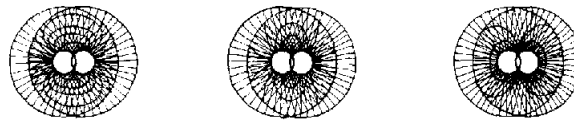
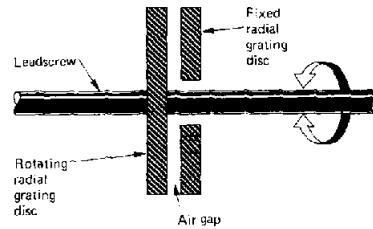
## ***Encoder Absoluto***



PA ®



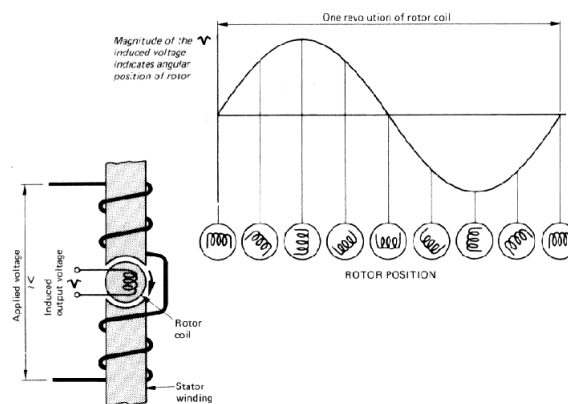
## Encoder rotativo -Moiré Gratings



PA ®



## Synchro



PA ®



## ***Sensores***

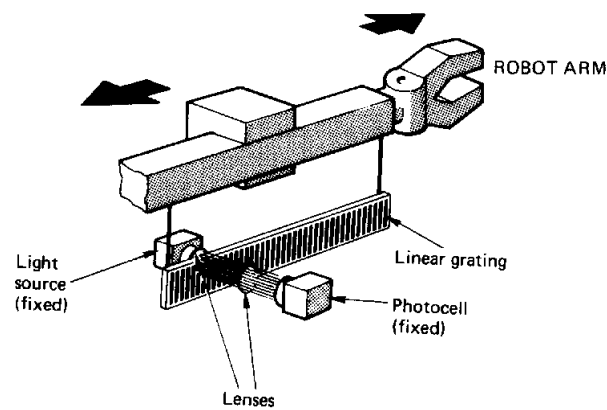
### ■ Medição de posição linear

- Régua incremental - *linear grating* e *linear Moiré fringe gratings*
- *Inductosyn* - princípio de funcionamento similar ao synchro resolver
- Potenciômetros
- LVDTs

PA ®



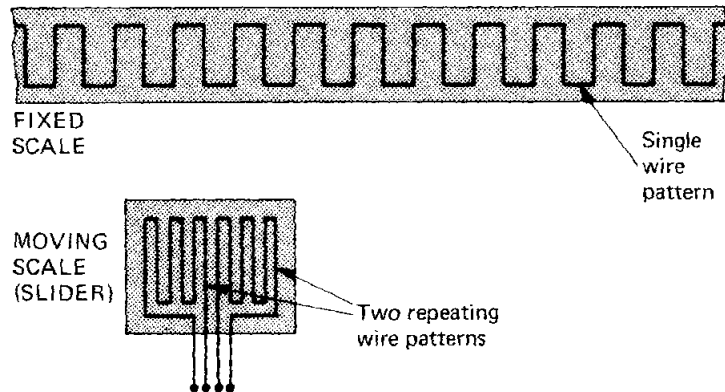
## ***Régua incremental***



PA ®



## ***Inductosyn***



PA ®



## ***Sensores***

- Medição de velocidade
  - tachos - geradores DC - tensão de saída proporcional a velocidade
  - tachos - geradores AC
- Medição de aceleração
  - Acelerómetros
- Medição de força e binário
  - uso de dispositivos mecânicos equipados com extensómetros

PA ®





## ***Sensores***

- **Sensores de proximidade**
  - sensores indutivos
  - sensores de efeito de Hall
  - sensores capacitivos
  - sensores ultra-sónicos
  - sensores ópticos
  - Indutivos
  - Célula Reed
  - Ópticos
- **Sensores electro-mecânicos**
  - De contacto - “fins de curso”
- **Sensores de tacto**

PA ®



## ***Actuadores***

- **Pneumáticos**
  - Cilindros e motores
- **Hidráulicos**
  - Cilindros e motores
- **Eléctricos**
  - Motores AC, DC e passo a passo
- **Características**

– Potencia	- Velocidade
– Controlabilidade	- Binário
– Peso e volume	- Custo
– Precisão	- Manutenção

PA ®



## ***Actuadores***

### ■ Principais requisitos

- baixa inércia
- elevada aceleração
- gama de velocidade alargada
- boa relação peso - potência
- manutenção simples
- eficiência energética

PA ®



## ***Actuadores***

### ■ Motores eléctricos

- Motores DC- de íman permanente
- Motores AC (Brushless)
- Motores DC Brushless
  - rotor é um íman permanente, estator é bobinado, comutação electrónica requer uso de encoder
- Motores passo a passo

PA ®



## ***Elementos Mecânicos em Robótica***

### ■ PROJECTO MECÂNICO DE ROBÔS

- Configuração da estrutura
  - » Número de eixos
  - » Tipo de eixos
  - » Volume de trabalho
  - » Rigidez estrutural
- Capacidade de carga
- Tipo de Accionamento
- Velocidade e aceleração
- Precisão e Repetibilidade
- Custo

PA ©



## ***Componentes fundamentais no design mecânico de Robôs***

### ■ Juntas (articulações):

- de translação
- de rotação

### ■ Transmissões

### ■ Braços (Elos ou *Links*)

PA ©



## ***Componentes Mecânicos num Robô***

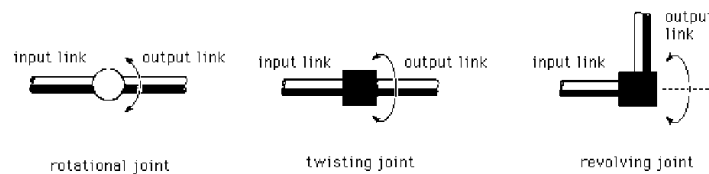
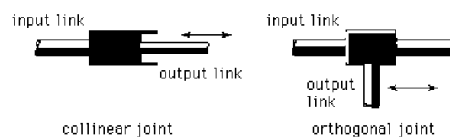
### ■ REQUISITOS

- Elevada Rigidez
- Baixa inércia
- Baixo atrito

PA ©



## ***Juntas***



©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

PA ©



## ***Juntas Prismáticas***

- Recurso a juntas que utilizam componentes com “rolling friction” (atrito rolante)
- Vantagens
  - Baixo atrito (praticamente independente da velocidade)
  - Dimensões reduzidas
  - Precisões elevadas
  - Sistemas de lubrificação simples
  - Disponíveis em construções standard
- Inconvenientes
  - elevada sensibilidade a contaminação por partículas
  - baixo amortecimento

PA ®



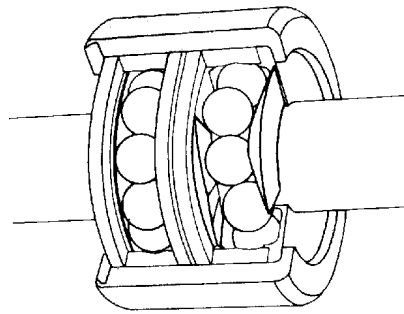
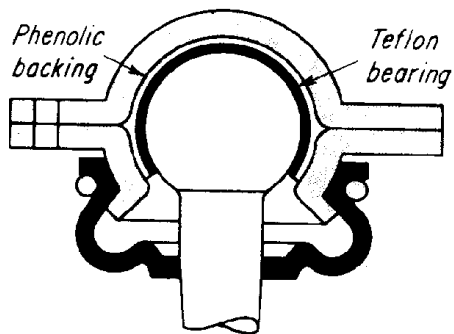
## ***Juntas Prismáticas***

- Juntas com esferas
- Juntas com rolos/agulhas

PA ®



## ***Juntas Rotativas***



PA ®



## ***Sistemas de Transmissão***

### ■ Justificação

- Redução do momento de inércia
- Conversão de movimentos lineares – circulares e vice-versa

### ■ Requisitos

- Tamanho reduzido
- Baixo peso e momento de inércia
- Eliminação de “backlash”
- Elevada rigidez
- Relação de transmissão precisa e constante
- Eficiência energética e baixo atrito

PA ®



## ***Sistemas de Transmissão***

- Redutores de engrenagens planas
- Redutores planetários
- Redutores “harmonic drives”
- Correias e Correntes
- Sistemas de Tracção e de Fricção
- Veios
- Cabos
- Bandas

PA ®



## ***Engrenagens***



**spur gears**



**rack and pinion**



**bevel gears**



**Hypoid gears**



**helical gears**

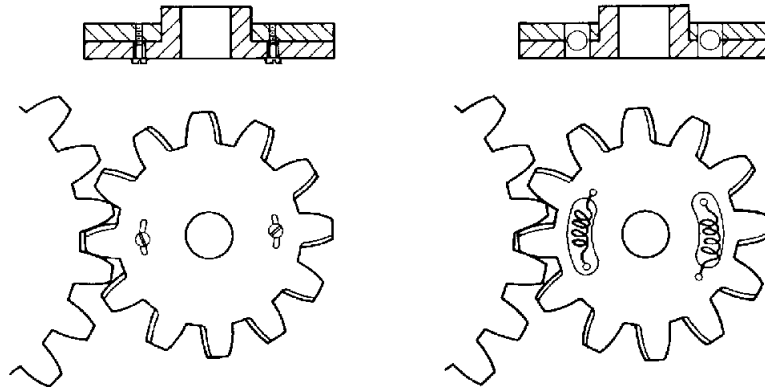


**worm and worm wheel**

PA ®



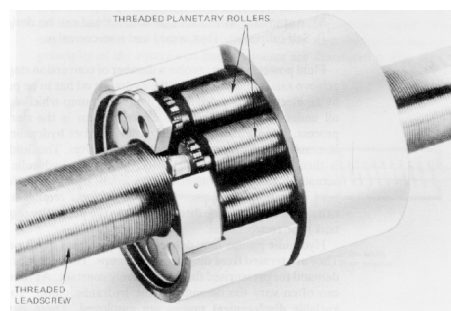
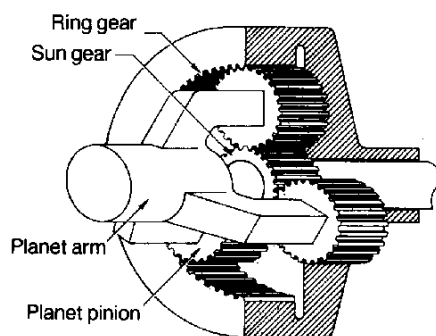
## ***Engrenagens Com Sistema Anti-backlash***



PA ®



## ***Redutor Planetário***



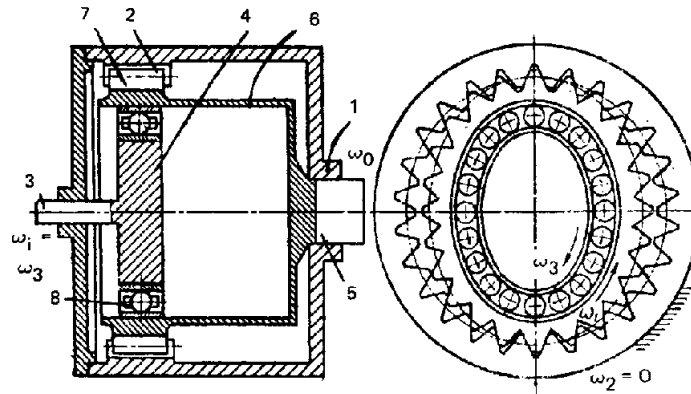
*Reprinted from Machine Design copyright © 1985,  
Penton Publishing, Inc.*

PA ®





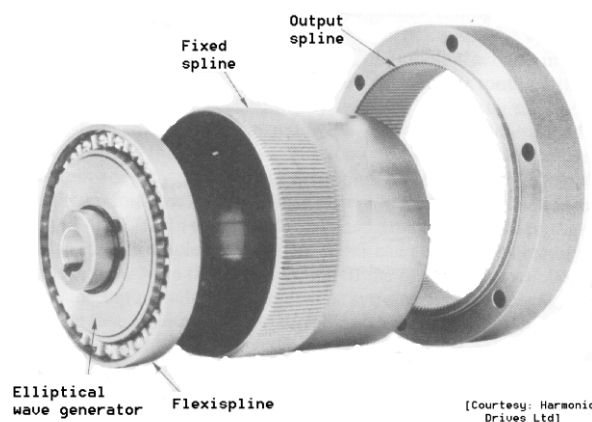
## Harmonic Drive



PA ©



## Harmonic Drive

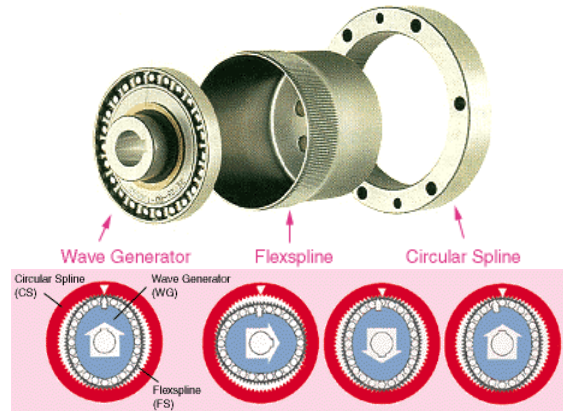


[Courtesy: Harmonic Drives Ltd]

PA ©



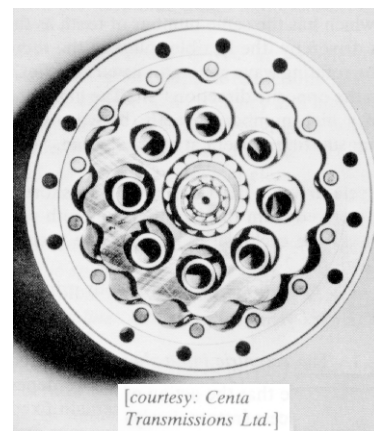
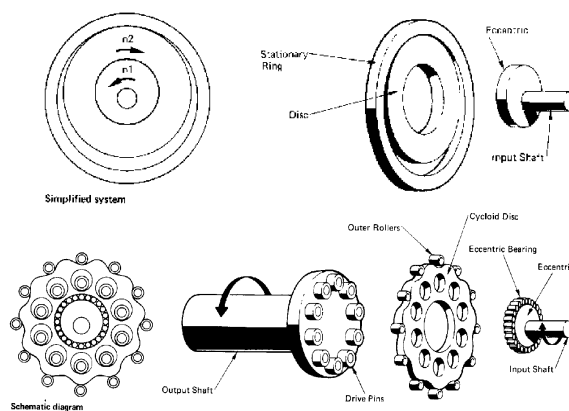
## Harmonic Drive



PA ®



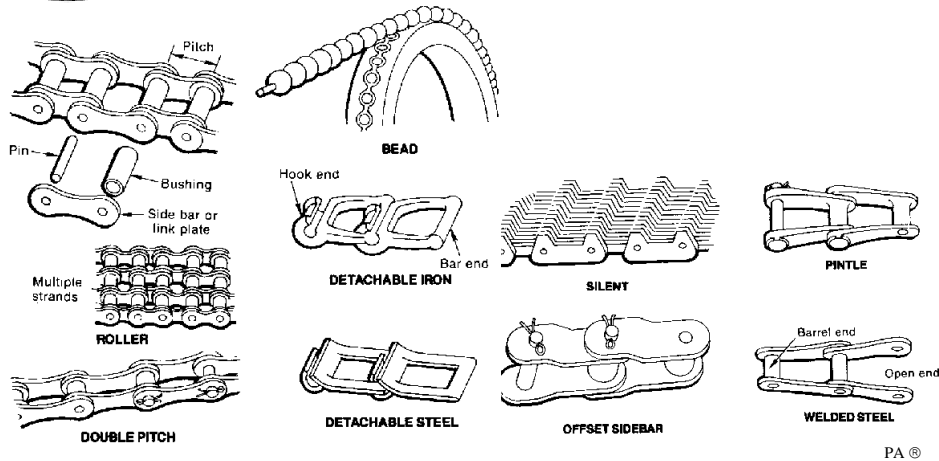
## Cycloide



PA ®



## ***Correntes***



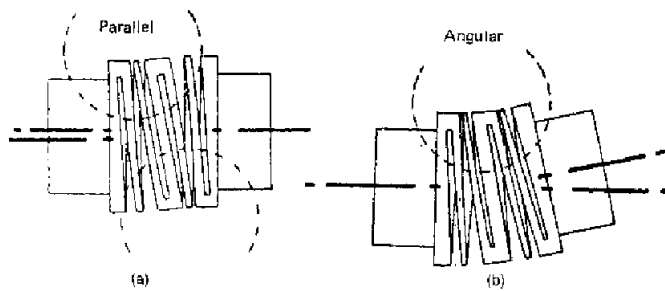
## ***Componentes de Ligação para Transmissões***

- Acoplamentos flexíveis
- Acoplamentos rígidos

PA ®

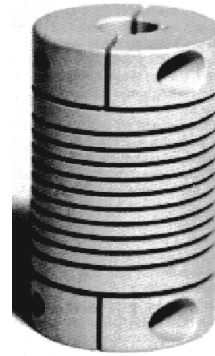


## ***Acoplamiento Flexível Helicoidal***



Helical coupling compensating parallel (a) and angular (b) misalignment

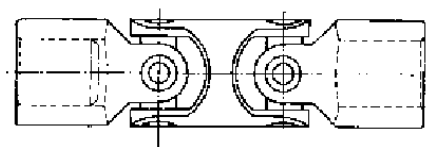
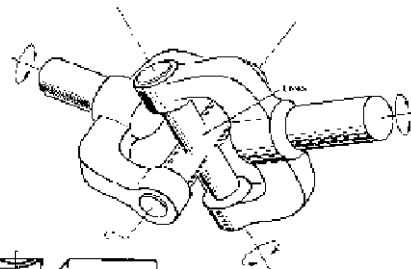
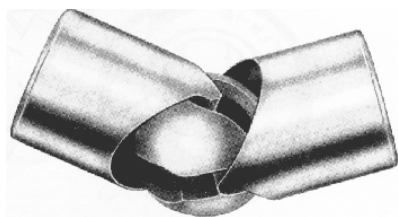
(Source: Helical Products Company).



PA ©



## ***Acoplamentos rígidos***



PA ©



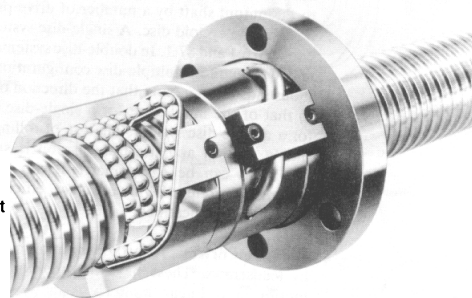
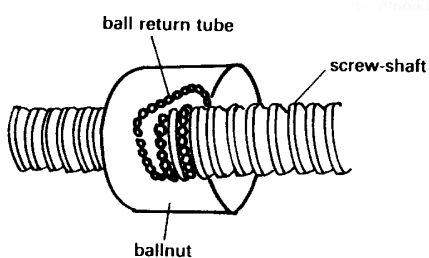
## ***Conversão de Movimentos de Rotação em Movimentos Lineares***

- Fusos de esferas
- Sistemas de Pinhão-cremalheira

PA ®



## ***Fuso de Esferas***



PA ®