
TCC: ROBÓTICA MÓVEL

Prof. Mario F. Montenegro Campos

Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais

Ementa

- ◆ Introdução à Robótica
 - Motivação
 - Introdução
 - Descrições espaciais e transformações
 - Cinemática Direta
 - Cinemática Inversa
- ◆ Robôs Móveis
- ◆ Sensores
- ◆ Visão Computacional

Motivação

- ◆ Máquinas inteligentes
 - Tecnologia estratégica na era da globalização
 - Quatro grandes desafios (EUA):
 - » Viabilização rápida de máquinas inteligentes
 - » Viabilização de altos ganhos em flexibilidade
 - » Sistemas robóticos com desempenho humano quanto a mobilidade, relação força/peso e dexteridade
 - » Sistemas de Visão Computacional com desempenho similar ao humano

Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Indústria eletro-eletrônica
 - Segmento com o maior número de empregos
 - US\$ 36 bilhões é o tamanho do mercado americano de VCR, Camcorder, Áudio, Disk Drivers
 - » Produtos eletro-mecânicos e eletro-ópticos de precisão.
 - » 95% da produção fora dos EUA
 - » Não há companhias nos EUA que tenham o know-how para produzir um VCR que tem cerca de 2000 componentes, a um custo inferior a US\$ 100,00!

Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Aplicações militares(EUA):
 - Altíssimo custo
 - Tecnologias e designs atrasados de mais de duas décadas.
- ◆ Indústria Automotiva
 - Segundo maior empregador nos EUA
 - US \$300 bi/ano
 - Em 1992 perdeu 28% do mercado para a indústria estrangeira

Viabilização Rápida da Automação

- ◆ EUA não possui:
 - Mão de obra altamente qualificada e barata como a de Cingapura
 - Infra-estrutura de manufatura tecnológica forte como a do Japão
 - Custo da mão de obra tão cara quanto a do Japão
- ◆ Japão utiliza automação de precisão para fabricar seus produtos, principalmente robôs.

Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Aumento da miniaturização:
 - Vários produtos possuem dimensões tão reduzidas que somente robôs podem monta-los:
 - » VCR, HD's, Guias de Micro-ondas, camcorders,...
- ◆ Aumento no rendimento:
 - Sony - 0,1% de defeitos em montagens manuais 3 meses após o lançamento de um novo produto. Essa taxa era de 20% nos EUA.
 - Sony - 20ppm a 0,01% na linha automatizada

Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Reutilização do capital
 - Linha de walkman da Son”:
 - » Redução de novo capital de 17% para 1,5%
 - » Tempo para troca de produto de 45 para 6 dias
 - » Número de engenheiros de 5 para 0,5

Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Em 1991
 - Japão - 22000 dos 50000 robôs instalados naquele ano eram utilizados em montagem (assembly)
 - EUA - 900 dos 4500 robôs instalados naquele ano eram utilizados em montagem.
- ◆ Japão aplica 70% dos montante de P&D em melhoria de processos
- ◆ EUA aplica 70% do montante de P&D em melhoria do produto.

Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Robótica
 - Redução no custo de 5-8% a.a.
 - Aumento no custo de mão de obra de 5% a.a.
- ◆ Tecnologia de Sensores
 - Ganho em preço/desempenho de 10-15% a.a.
- ◆ Tecnologia de Controle
 - Melhoria de 15-20% a.a.

Introdução — Histórico

- ◆ **1921 – ROBOTA**

» *palavra checa que significa “trabalhador forçado”, usada por Karel Capek em um drama, em 1921, intitulado R.U.R. (Rossum’s Universal Robots)*

- ◆ **1926 – Elektro e Sparko no filme alemão *Metrópolis***

- ◆ **1942 – ROBÓTICA**

» *Palavra inventada por Issac Asimov (1942), para denominar a ciência que lida com robôs.*

Introdução — Histórico

- ◆ **As “Três Leis da Robótica” de Asimov:**

1. Um robô não deve ferir um ser humano, ou por negligência em suas ações, permitir que um ser humano venha a ser ferido;
2. Um robô deve obedecer as ordens dadas por seres humanos, exceto quando essas ordens forem conflitantes com a Primeira Lei.
3. Um robô deve sempre garantir sua própria existência, somente enquanto tal proteção não contrariar a Primeira ou a Segunda Leis.

Introdução — Histórico

- ♦ **1940** - Oak Ridge e Argonne National Labs manipuladores mecânicos remotos para materiais radioativos
- ♦ **1950** - Handyman (General Electric) e Minotaur I (General Mills) com atuação elétrica e pneumática
- ♦ **1954** - George C. Devol — “programmed articulated transfer device”
- ♦ **1959** - George C. Devol e Joseph F. Engelberger — Unimate – primeiro robô industrial
- ♦ **1962** - H.A. Ernst - *MH-1* - mão mecânica com sensores táteis, controlada por computador

Introdução — Histórico

- ♦ **1968** - *Shakey* – Robô móvel desenvolvido no SRI (Stanford Research Institute)
- ♦ **1973** - *WAVE* – primeira linguagem de programação para robôs (SRI).
- ♦ **1978** - *PUMA* – Programmable Universal Machine for Assembly)
- ♦ **1981** - Direct-Drive Robot – CMU
- ♦ **1987** - Subsumption Architectures – Rodney Brooks (MIT)
- ♦ **1995** - AGV – Autonomous Guided Vehicle – costa a costa EUA com 92% de autonomia

Robótica e Automação

◆ Automação

- Robôs de produção
- Ambientes estruturados
- Possibilidade limitada de percepção e decisão
- Células Integradas de Manufatura

◆ Robótica

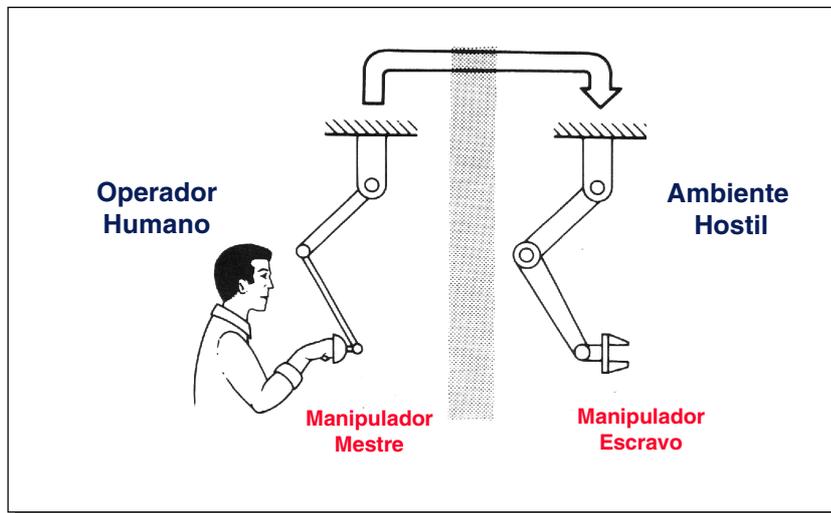
- Robôs de exploração
- Ambientes não estruturados
- Dotados de múltiplos-sensores
- Utilização em ambientes hostis/perigosos

Caracterização de Manipuladores

◆ Origem

- Telemanipuladores – Mestre/Escravo
- Máquinas de controle numérico

Mestre-escravo



©1998 Mario Campos

17

Caracterização de Manipuladores

- ◆ Adaptabilidade
- ◆ Polivalência
- ◆ Versatilidade ou flexibilidade
- ◆ Grau de automatismo

Ex.: Telemanipuladores: extremamente polivalentes, automatismo quase nulo

Máquinas-ferramenta: alto grau de automatismo, polivalência quase nula

©1998 Mario Campos

18

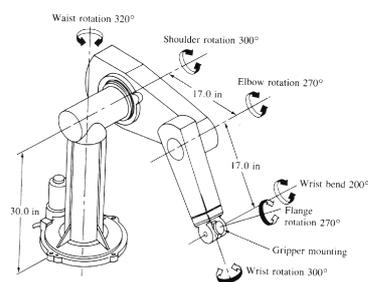
Caracterização de Manipuladores

- ♦ Definição (RIA - 1979) - “um manipulador multifuncional reprogramável projetado para mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos programados para o cumprimento de tarefas variadas”.

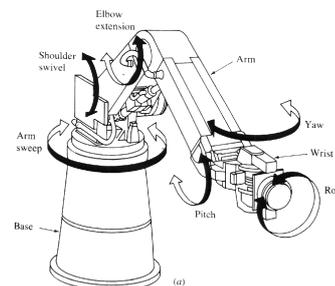
(RIA - 1989) “... máquinas estas equipadas com sistemas de visão e/ou outras modalidades de dispositivos sensores.”

* RIA - Robotic Institute Association

Exemplos Manipuladores



PUMA 560



Milacron T3

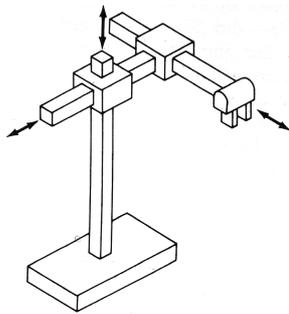
Caracterização de Manipuladores

- ◆ Robôs Sequenciais (2 a 4 d.o.f.)
 - Sequência Fixa
 - Sequência Variável
- ◆ Robôs Programáveis (4 a 8 d.o.f.)
 - Playback
 - Linguagem
- ◆ Robôs Inteligentes

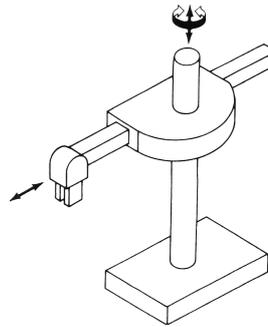
Tipos e Manipuladores

- ◆ Articulado ou Rotacional
- ◆ Cilíndrico
- ◆ Esférico ou Polar
- ◆ Cartesiano ou Retangular
- ◆ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm)
- ◆ Spine
- ◆ Pórtico
- ◆ Móveis

Tipos de Manipuladores

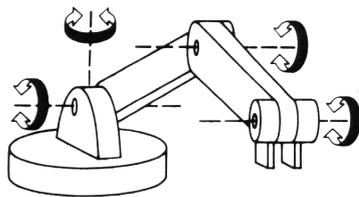


Cartesiano

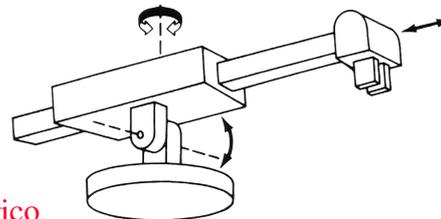


Cilíndrico

Tipos de Manipuladores



Revóluto

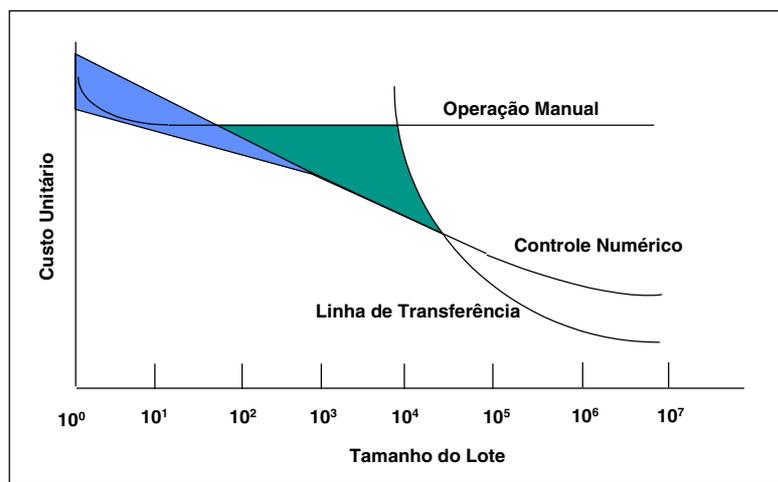


Esférico

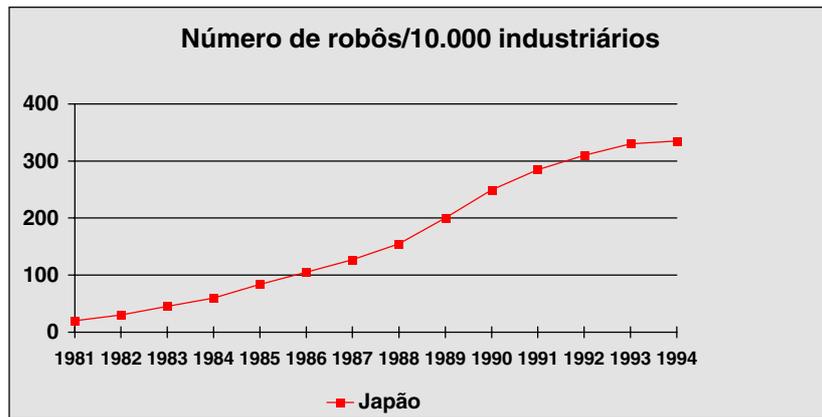
Robótica na Automação Industrial

- ◆ Sete operações básicas:
 - Estudos e concepção
 - Preparação e Métodos
 - Fabricação
 - Controle de Qualidade
 - Acondicionamento
 - Estocagem
 - Venda e Manutenção

Robótica na Automação Industrial



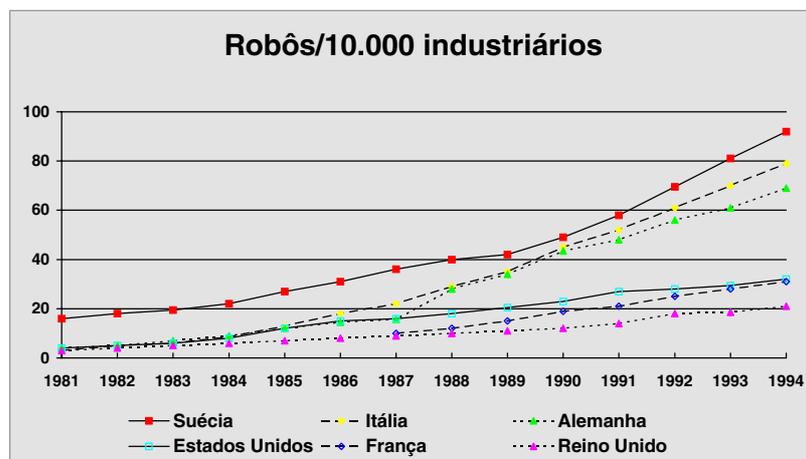
Densidade de robôs na indústria



©1998 Mario Campos

27

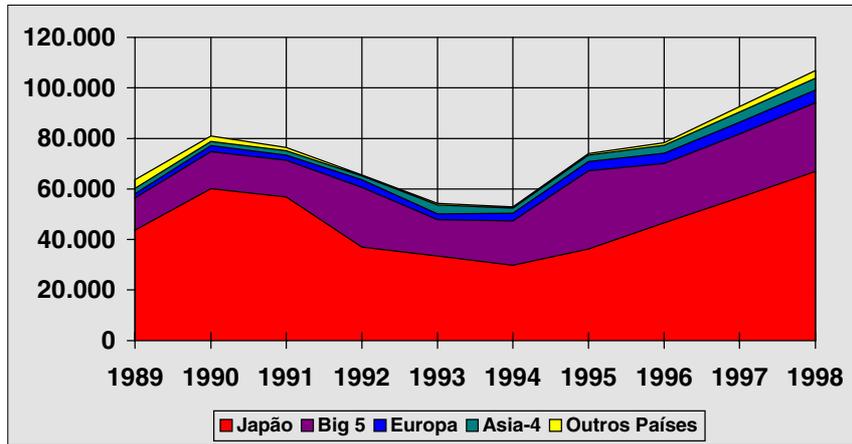
Densidade de robôs na indústria



©1998 Mario Campos

28

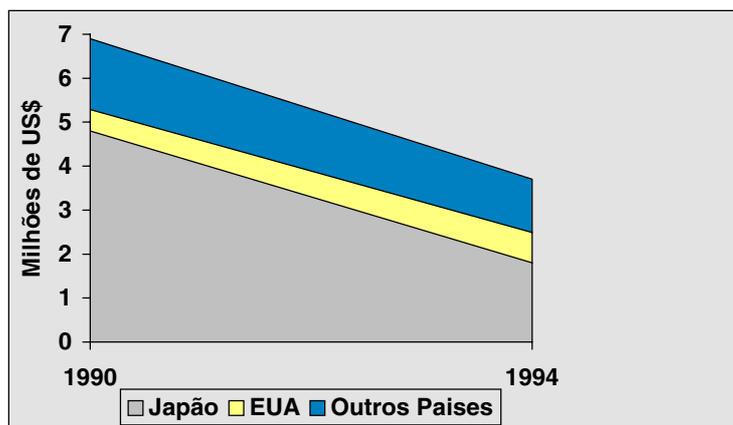
Suprimento de robôs mundialmente



©1998 Mario Campos

29

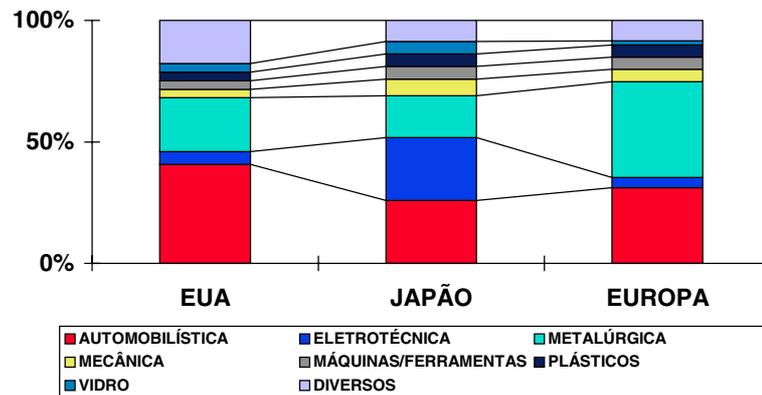
Mercado Mundial



©1998 Mario Campos

30

Aplicações Industriais



Aplicações por tipos de robôs

Manipuladores Sequenciais

- Serviços de prensas
- Serviços de máquinas-ferramenta
- Transferência de peças para montagens
- Micromanipulação de circuitos
- Manipulação de micromecânica
- Montagens repetitivas (enroscar peças)
- Serviço de prensas de estamperia
- Alimentação de máquinas de moldar (injeção sob pressão)
- Extração de moldes de máquinas de moldar
- Serviço de fornos e forjas
- Manipulação de cargas pesadas
- Pintura de objetos especiais

Aplicações por tipos de robôs

Manipuladores Programáveis

- Solda (a arco ou ponto)
- Pintura
- Montagens
- Serviço de máquinas-ferramenta
- Controle de qualidade
- Serviço de fornos, forjas e fundições
- Rebitagem
- Paletização
- Acabamento de peças
- Posicionamento de peças para solda
- Manipulação de cargas pesadas

Aplicações por tipos de robôs

Manipuladores Inteligentes

- Montagem e inserção de peças
- Manipulação com controle visual (laser)
- Soldagem com controle visual (câmera)

Linhas de Pesquisa em Robótica

♦ **Representação e modelagem**

- Objetos, sistemas
- Leis da natureza
- Processos

♦ **Sensores**

- Hardware
- Interpretação
- Interação
- Fusão

Linhas de Pesquisa em Robótica

♦ **Manipulação e locomoção**

- Hardware
- Otimização de modelos geométricos, cinemáticos e dinâmicos
- Identificação de parâmetros
- Controle e coordenação de movimentos
- Desempenho, destreza, precisão

♦ **Inteligência**

- Hardware
- Organização
- Linguagens
- Aquisição de conhecimento
- Resolução de problemas

Linhas de Pesquisa em Robótica

♦ Percepção

- Coordenação percepção/ação
- Sensores (hápticos, visão, força/torque, proximidade, etc.)
- Fusão de sensores

♦ Móvel

- Controle
- Agentes múltiplos
- Coordenação
- Comunicação
- Planejamento
- Evitar colisões
- Tempo-real

Robótica e a Sociedade

♦ Enquete no Japão:

- | | |
|----------------------------------|--------|
| – Economizar mão-de-obra | 44,5% |
| – Melhorar condições de trabalho | 25,0 % |
| – Aumentar flexibilidade | 13,5 % |
| – Melhorar controle de qualidade | 8,0 % |
| – Outros | 9,0 % |

♦ Segunda revolução industrial

♦ Adequação da mão-de-obra

♦ Utilização em ambientes hostis/perigosos

Robótica no Brasil

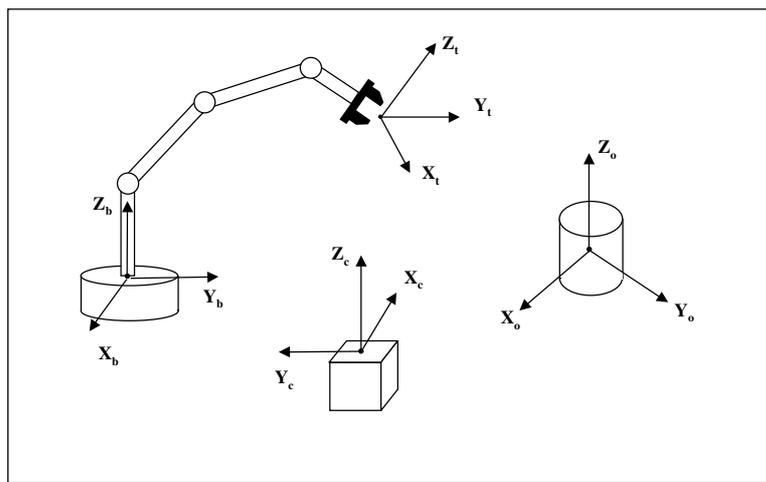
- ◆ 1983 – SEI - Secretaria Especial de Informática cria CEAM - Comissão Especial para a Automação da Manufatura;
- ◆ Qualificação de 16 empresas para desenvolvimento, fabricação, integração e comercialização de sistemas em robótica;
- ◆ Mão-de-obra barata;
- ◆ Poucos robôs (< 200) concentram-se principalmente na indústria automotiva.

DESCRIÇÃO DE POSIÇÃO E ORIENTAÇÃO

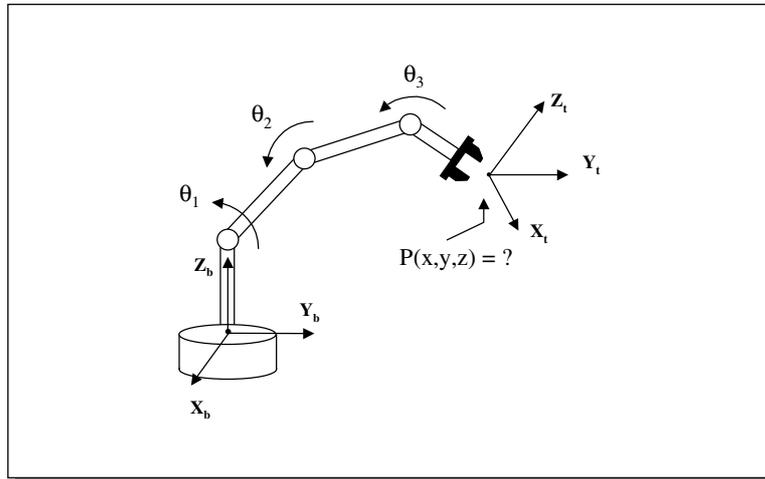
Descrição: Posição e Orientação

- ◆ Localizar objetos no espaço 3D;
- ◆ Relacionar a posição e orientação relativas entre objetos;
- ◆ Transformar ou mudar a descrição de atributos;

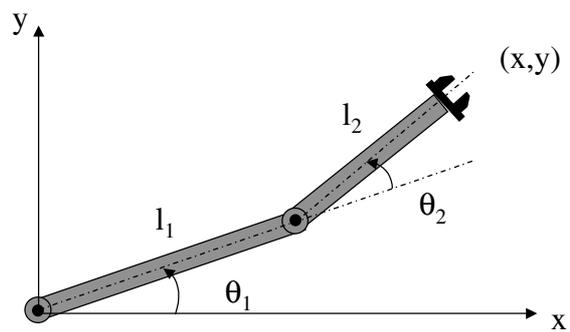
Referenciais (Frames)



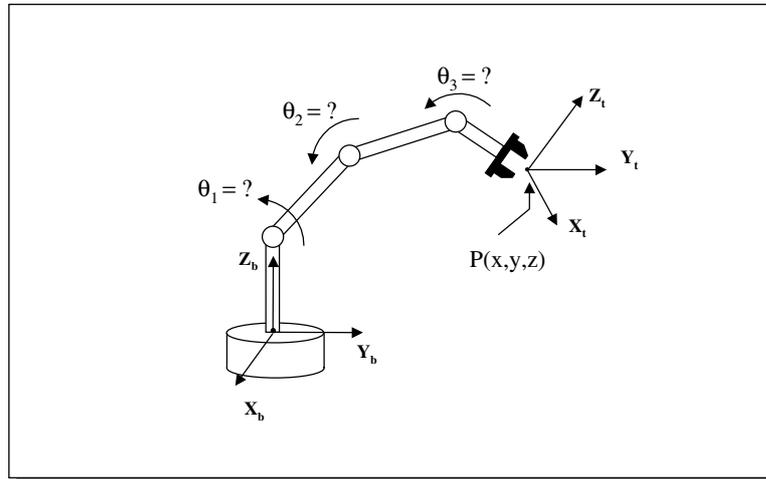
Cinemática Direta



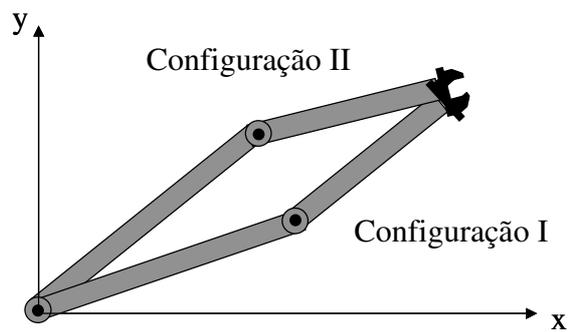
Cinemática Direta



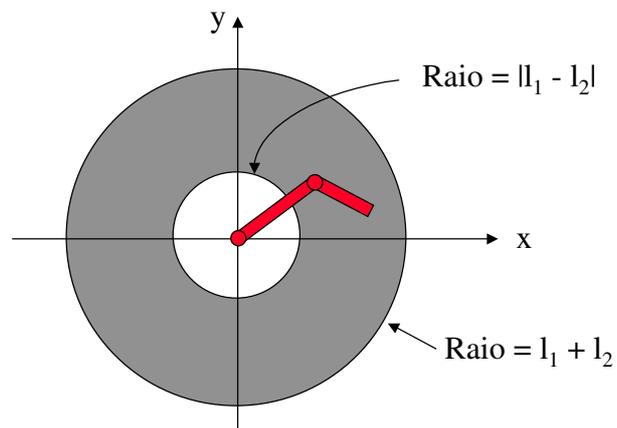
Cinemática Inversa



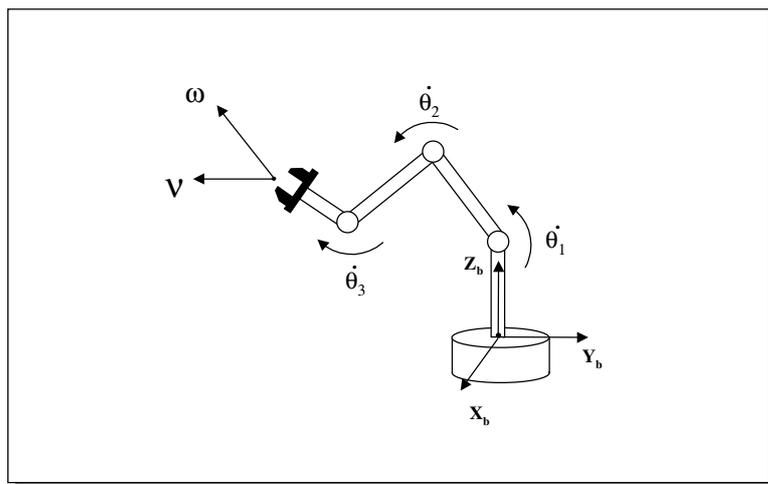
Cinemática Inversa



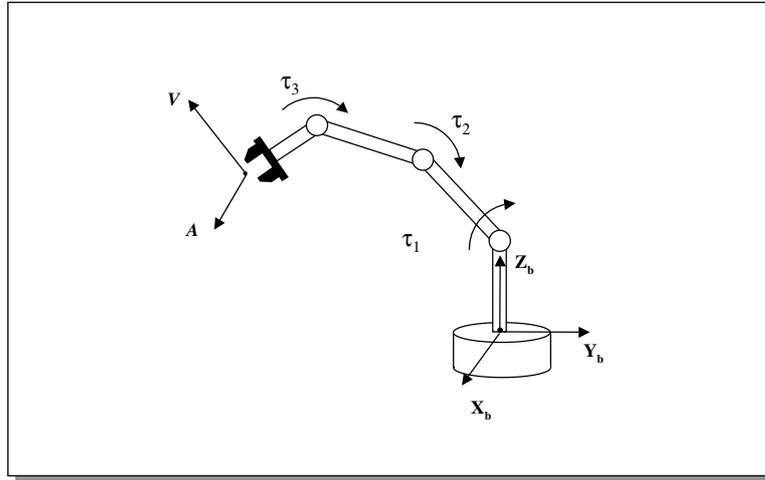
Espaço de Trabalho



Velocidades, forças estáticas, singularidades



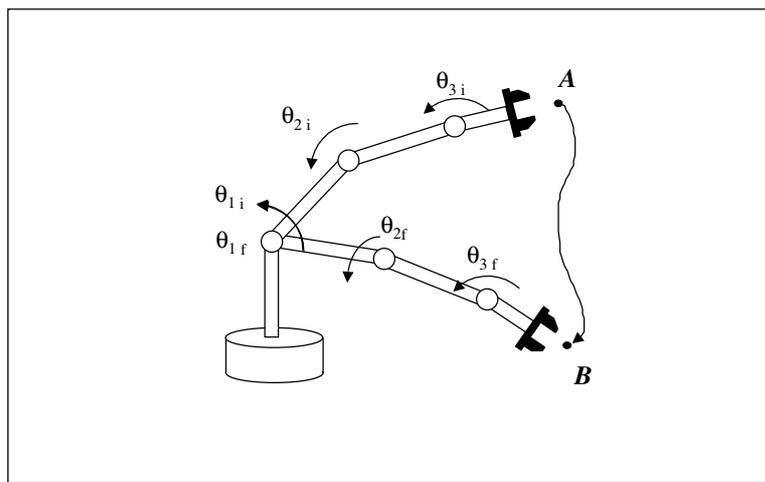
Dinâmica de Manipuladores



©1998 Mario Campos

49

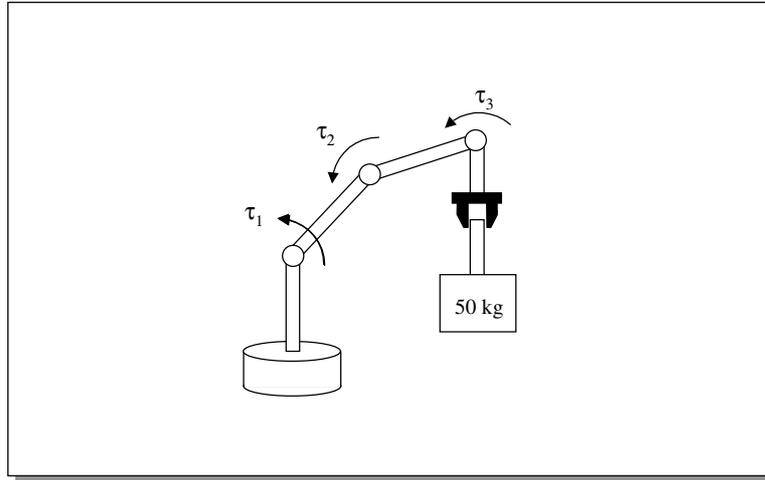
Geração de Trajetória



©1998 Mario Campos

50

Projeto de Manipuladores



©1998 Mario Campos

51

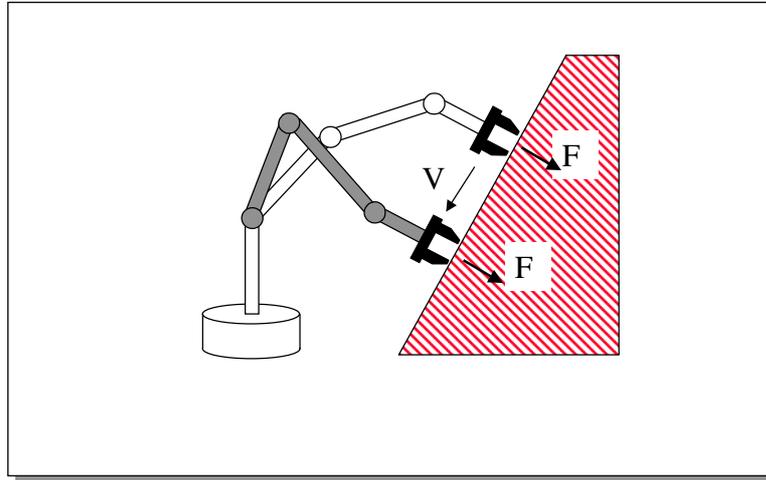
Controle de Posição

- ◆ linear
- ◆ não-linear

©1998 Mario Campos

52

Controle de Força



Programação de Robôs

- ◆ Programação off-line e simulação
- ◆ Teach-and-play
- ◆ Linguagens
- ◆ Tempo-real
- ◆ Múltiplos robôs

Robôs Móveis

- ◆ Submarinos (**u**nderwater)
- ◆ Aéreos (**a**erial)
- ◆ Terrenos (**g**round)

Robôs Móveis

- ◆ Telecontrolados
- ◆ Semi-autônomos
- ◆ Autônomos

Robôs Móveis

- ◆ Aéreos
 - Empuxo por flutuação
 - Empuxo aerodinâmico
- ◆ Terrenos
 - Rodas
 - Pernas

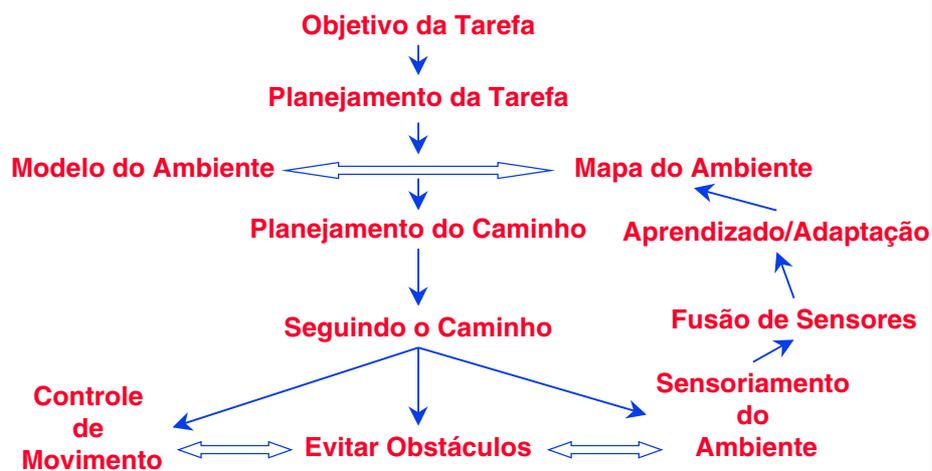
Robôs Móveis

- ◆ Missão
- ◆ Planejamento
- ◆ Navegação
- ◆ Controle

Navegação

- ◆ Dirigir o curso de um robô móvel durante o seu deslocamento em um ambiente (subaquático, sobre a terra ou no ar)
- ◆ Envolve três tarefas:
 - Mapeamento
 - Planejamento
 - Direcionamento

Hierarquia de Controle



Processo de Navegação

- ◆ Medidas
- ◆ Modelagem
- ◆ Percepção
- ◆ Planejamento
- ◆ Ação

Medidas

- ◆ Sentir o ambiente
- ◆ Detectar objetos
- ◆ Odometria
- ◆ Entrada de comandos do usuário

Modelagem

- ◆ Mapear o ambiente
- ◆ Extrair características
- ◆ Modelar objetos
- ◆ Mapear caminhos

Percepção

- ◆ Encontrar caminhos
- ◆ Detectar situações de colisão
- ◆ Aprendizado do mapa

Planejamento

- ◆ Decompor a tarefa em sub-alvos
- ◆ Selecionar um caminho
- ◆ Escolher alternativas quando um caminho estiver obstruído

Ação

- ◆ Navegar
- ◆ Percorrer o caminho evitando colisões
- ◆ Controle baseado nos modelos cinemático e dinâmico do robô

Sensores

- ◆ Sensores de “range”
 - Triangulação
 - Luz estruturada
 - “Tempo-de-vôo”
- ◆ Sensores de Proximidade
 - Indutivos
 - Capacitivos
 - Efeito Hall
 - Ultrasônicos
 - Ópticos

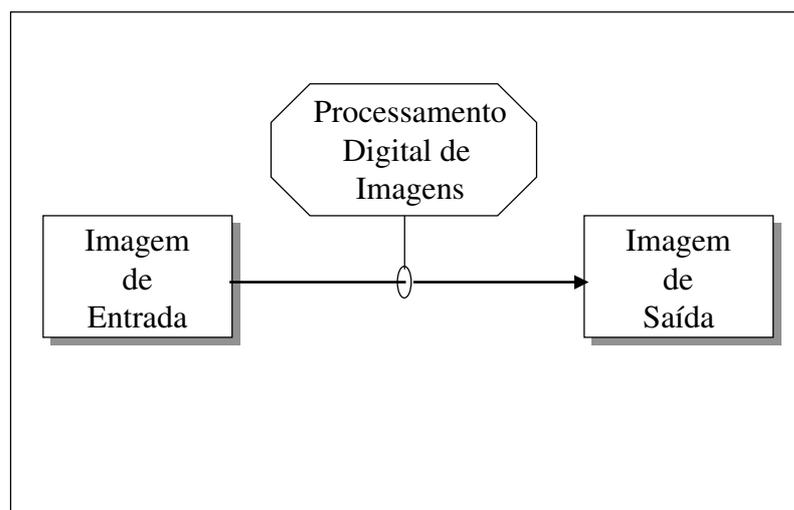
Sensores

- ◆ Sensores de Toque
 - Binários
 - Analógicos
- ◆ Sensores de Posição
 - Resolvers
 - Encoders
 - Potenciômetros
- ◆ Calibração

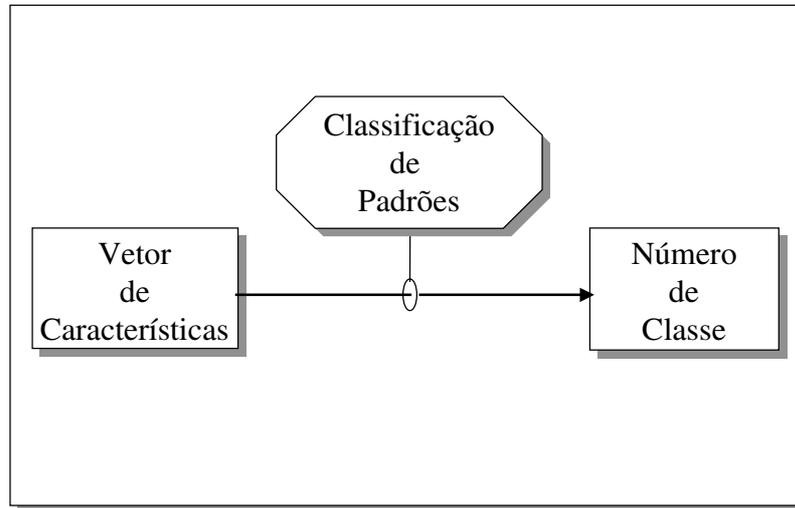
Visão Computacional

- ♦ Seres Vivos
 - Sentido mais poderoso
 - O mais complexo
- ♦ Visão Computacional
 - Objetivo – produzir descrição (modelo 3D) de objetos a partir de imagem(s).
- ♦ Áreas relacionadas
 - Processamento Digital de Imagens - PDI
 - Classificação de Padrões
 - Análise de cenas

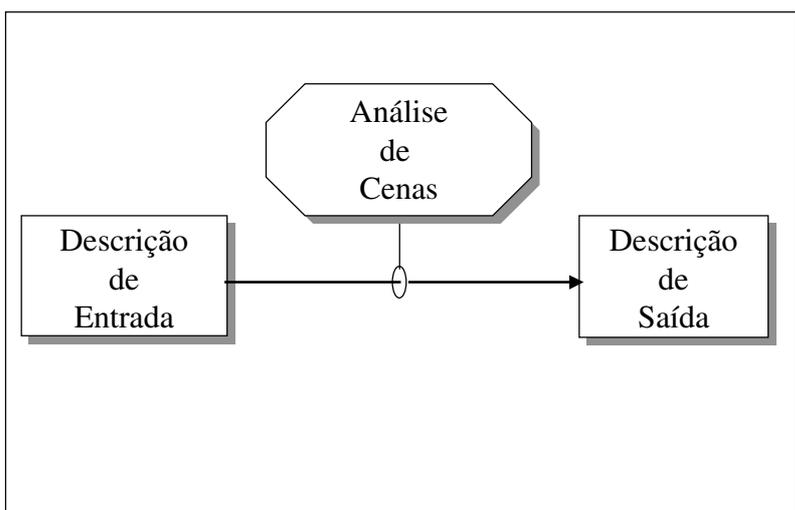
Processamento Digital de Imagens



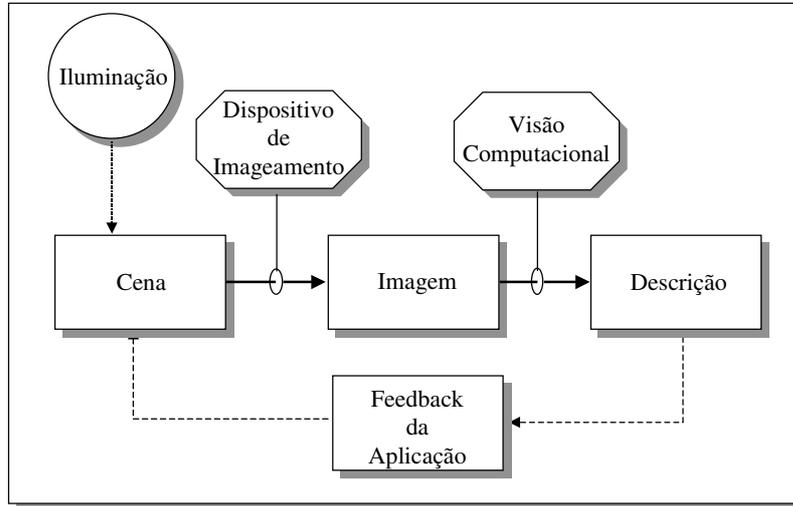
Classificação de Padrões



Análise de Cenas



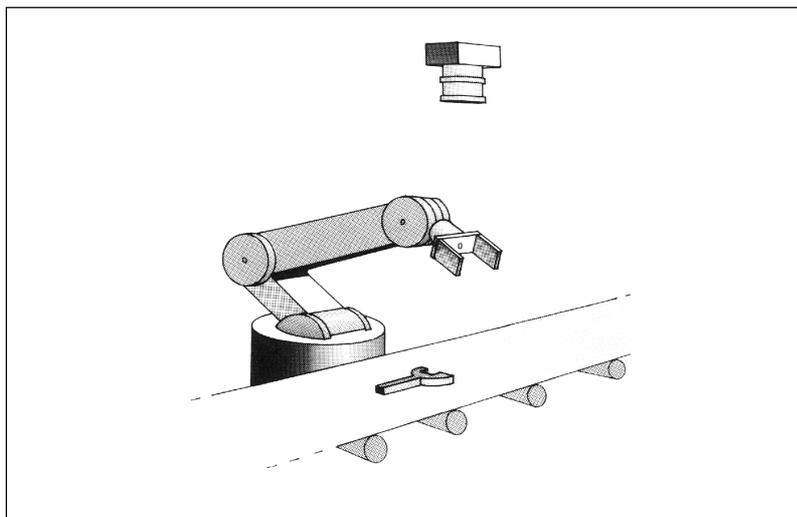
Sistema de Visão Computacional



©1998 Mario Campos

73

Sistema de Visão Computacional



©1998 Mario Campos

74