

TCC: ROBÓTICA MÓVEL

Prof. Mario F. Montenegro Campos

Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais

©1998 Mario Campos

1

Ementa

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

©1998 Mario Campos

2

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

©1998 Mario Campos

3

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!

©1998 Mario Campos

4

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

©1998 Mario Campos

5

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.

©1998 Mario Campos

6

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

©1998 Mario Campos

7

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

©1998 Mario Campos

8

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.

©1998 Mario Campos

9

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.

©1998 Mario Campos

10

Introdução — Histórico

- ♦ 1921 – **ROBOTA**
 - » palavra checa que significa “trabalhador forçado”, usada por Karel Capek em um drama, em 1921, entitulado *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.

©1998 Mario Campos

11

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.

©1998 Mario Campos

12

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

©1998 Mario Campos

13

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 – custa a costa EUA com 92% de autonomia

©1998 Mario Campos

14

Robótica e Automação

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">♦ Automação<ul style="list-style-type: none">– Robôs de produção– Ambientes estruturados– Possibilidade limitada de percepção e decisão– Células Integradas de Manufatura | <ul style="list-style-type: none">♦ Robótica<ul style="list-style-type: none">– Robôs de exploração– Ambientes não estruturados– Dotados de múltiplos-sensores– Utilização em ambientes hostis/perigosos |
|---|--|

©1998 Mario Campos

15

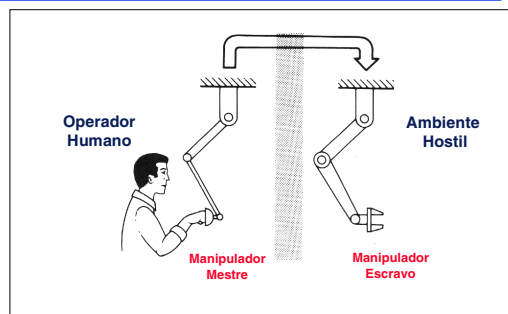
Caracterização de Manipuladores

- ♦ **Origem**
 - Telem manipuladores – Mestre/Escravo
 - Máquinas de controle numérico

©1998 Mario Campos

16

Mestre-escravo



©1998 Mario Campos

17

Caracterização de Manipuladores

- ♦ Adaptabilidade
 - ♦ Polivalência
 - ♦ Versatilidade ou flexibilidade
 - ♦ Grau de automatismo
- Ex.: *Telem manipuladores*: extremamente polivalentes, automatismo quase nulo
- Máquinas-ferramenta*: alto grau de automatismo, polivalência quase nula

©1998 Mario Campos

18

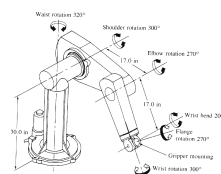
Caracterização de Manipuladores

- ♦ 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”.

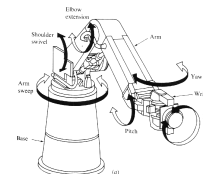
(RIA - 1989) “... máquinas estas equipadas com sistemas de visão e/ou outras modalidades de dispositivos sensores.”

* RIA - Robotic Institute Association

Exemplos Manipuladores



PUMA 560



Milacron T3

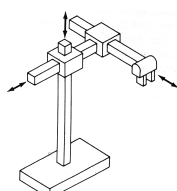
Caracterização de Manipuladores

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

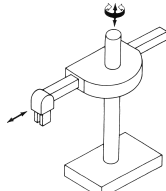
Tipos e Manipuladores

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

Tipos de Manipuladores

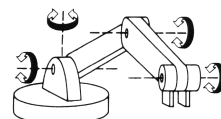


Cartesiano

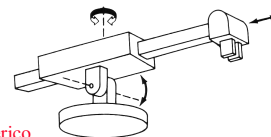


Cilíndrico

Tipos de Manipuladores



Revóluto



Esférico

Robótica na Automação Industrial

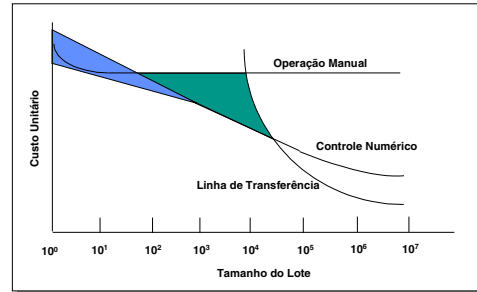
♦ Sete operações básicas:

- Estudos e concepção
- Preparação e Métodos
- Fabricação
- Controle de Qualidade
- Acondicionamento
- Estocagem
- Venda e Manutenção

©1998 Mario Campos

25

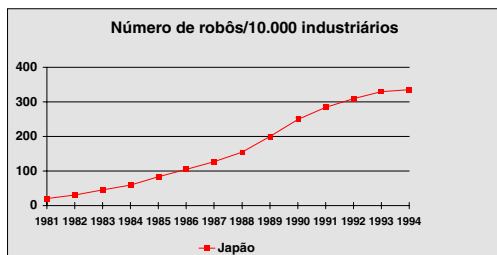
Robótica na Automação Industrial



©1998 Mario Campos

26

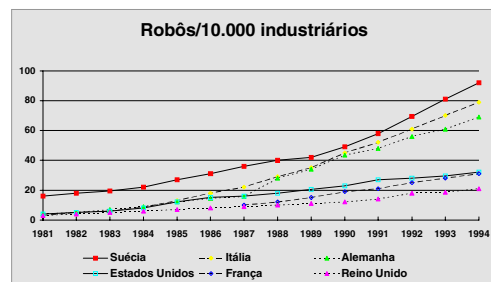
Densidade de robôs na indústria



©1998 Mario Campos

27

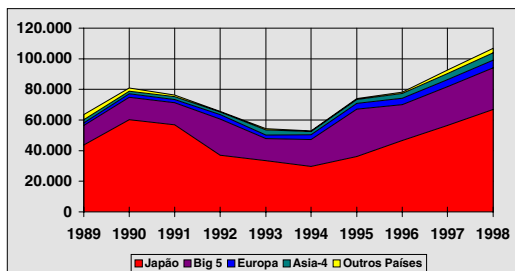
Densidade de robôs na indústria



©1998 Mario Campos

28

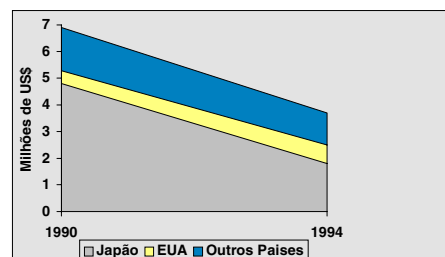
Suprimento de robôs mundialmente



©1998 Mario Campos

29

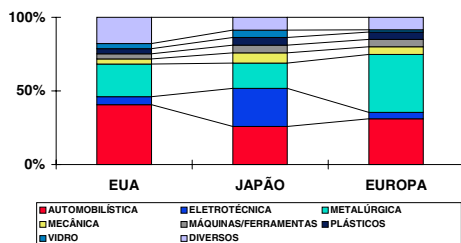
Mercado Mundial



©1998 Mario Campos

30

Aplicações Industriais



©1998 Mario Campos

31

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 estampa
- 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

©1998 Mario Campos

32

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

©1998 Mario Campos

33

Aplicações por tipos de robôs

Manipuladores Inteligentes

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

©1998 Mario Campos

34

Linhas de Pesquisa em Robótica

♦ Representação e modelagem

- Objetos, sistemas
- Leis da natureza
- Processos

♦ Sensores

- Hardware
- Interpretação
- Interação
- Fusão

©1998 Mario Campos

35

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

©1998 Mario Campos

36

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

©1998 Mario Campos

37

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

©1998 Mario Campos

38

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.

©1998 Mario Campos

39

DESCRIÇÃO DE POSIÇÃO E ORIENTAÇÃO

©1998 Mario Campos

40

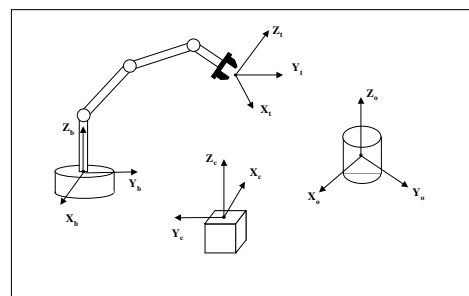
Descrição: Posição e Orientação

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

©1998 Mario Campos

41

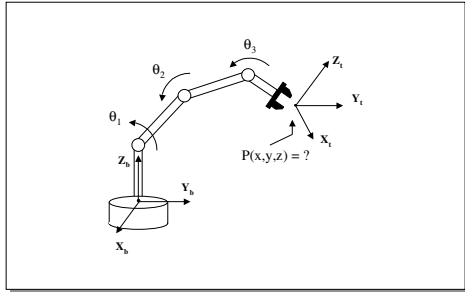
Referenciais (Frames)



©1998 Mario Campos

42

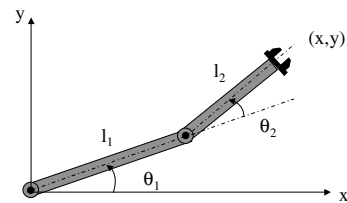
Cinemática Direta



©1998 Mario Campos

43

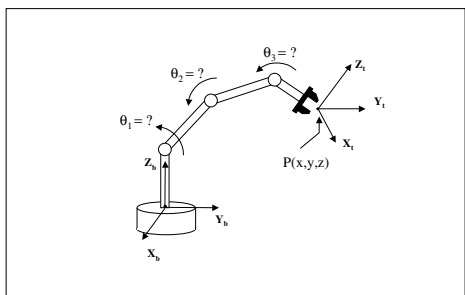
Cinemática Direta



©1998 Mario Campos

44

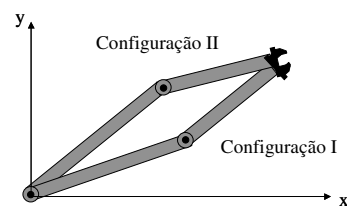
Cinemática Inversa



©1998 Mario Campos

45

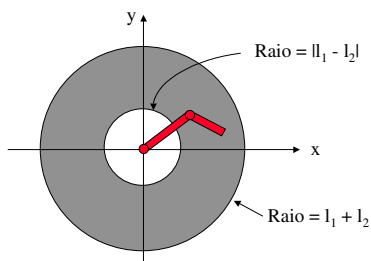
Cinemática Inversa



©1998 Mario Campos

46

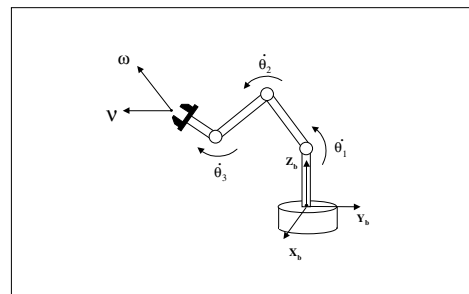
Espaço de Trabalho



©1998 Mario Campos

47

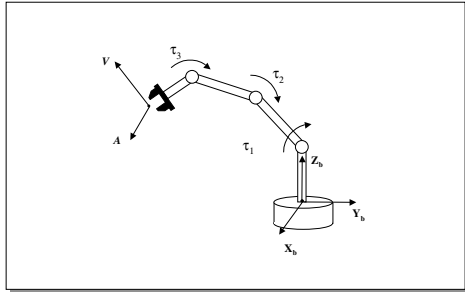
Velocidades, forças estáticas, singularidades



©1998 Mario Campos

48

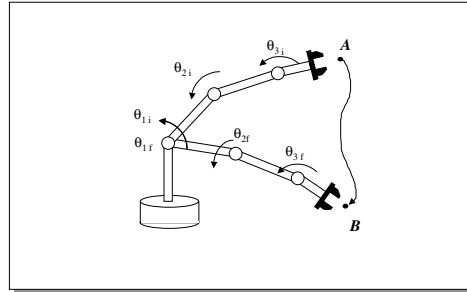
Dinâmica de Manipuladores



©1998 Mario Campos

49

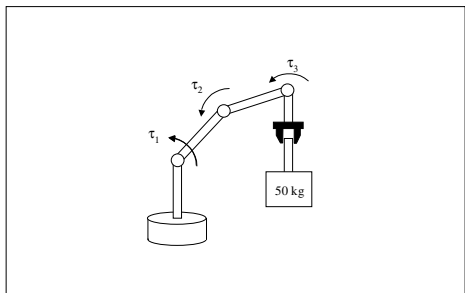
Geração de Trajetória



©1998 Mario Campos

50

Projeto de Manipuladores



©1998 Mario Campos

51

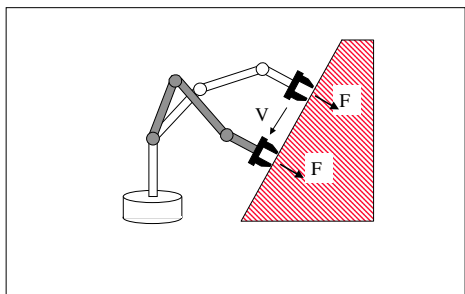
Controle de Posição

- ♦ linear
- ♦ não-linear

©1998 Mario Campos

52

Controle de Força



©1998 Mario Campos

53

Programação de Robôs

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

©1998 Mario Campos

54

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

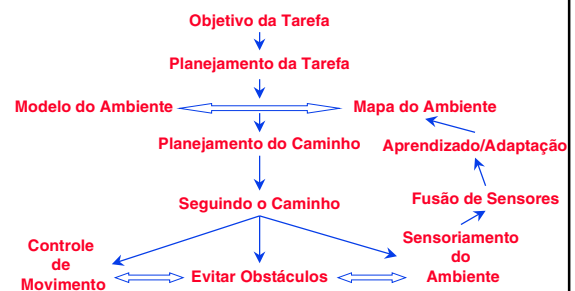
Robôs Móveis

- ◆ 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

©1998 Mario Campos

67

Sensores

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

©1998 Mario Campos

68

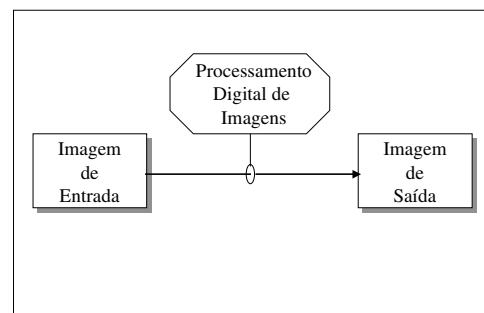
Visão Computacional

- ♦ 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

©1998 Mario Campos

69

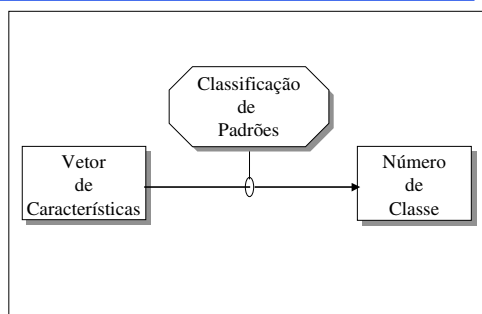
Processamento Digital de Imagens



©1998 Mario Campos

70

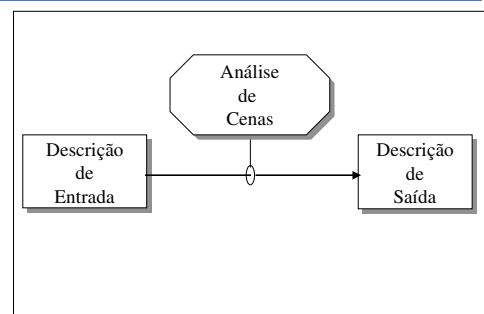
Classificação de Padrões



©1998 Mario Campos

71

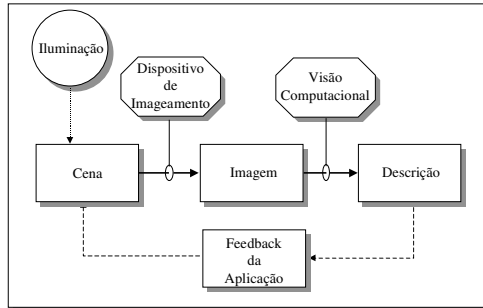
Análise de Cenas



©1998 Mario Campos

72

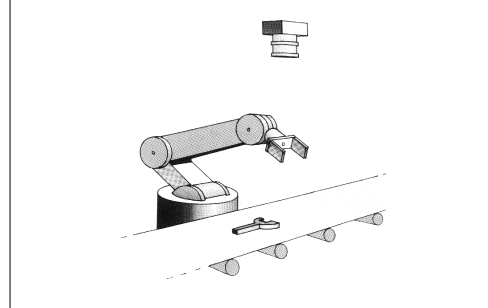
Sistema de Visão Computacional



©1998 Mario Campos

73

Sistema de Visão Computacional



©1998 Mario Campos

74