

Robôs: Características e Aplicações

Prof. Teodiano Freire Bastos Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
(UFES)
Vitória-ES

Aplicações de Robôs

Robótica Industrial:

- Montagem de peças
- Pintura
- Soldagem
- Inspeção de defeitos em peças
- Cirurgias

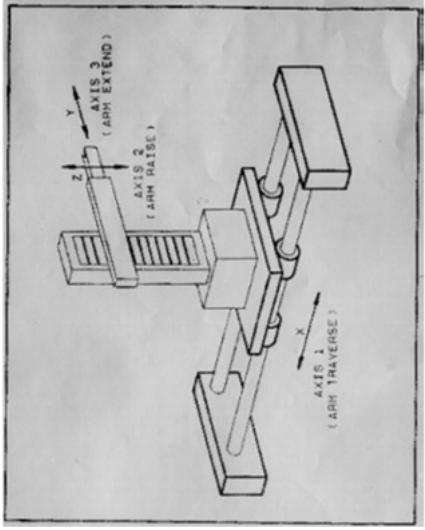
Robótica de Reabilitação:

- Cirurgias
- Próteses
- Cadeira de Rodas Robótica

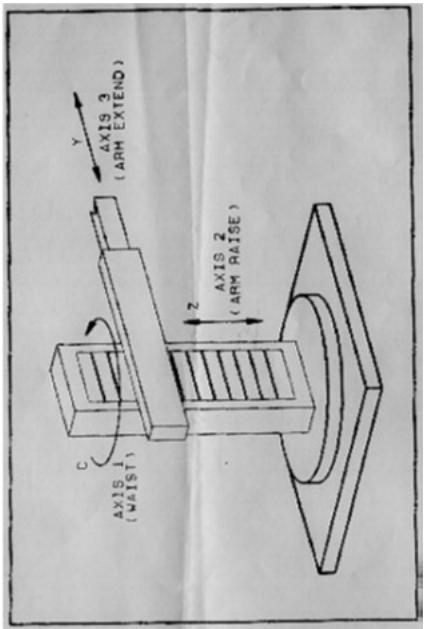
Robótica Móvel:

- Transporte de peças
- Substituir o homem em locais arriscados:
 - Águas profundas
 - Desarmes de explosivos
 - Áreas radioativas
 - Exploração de crateras de vulcões
 - Exploração espacial, etc.
- Cadeira de Rodas Robótica

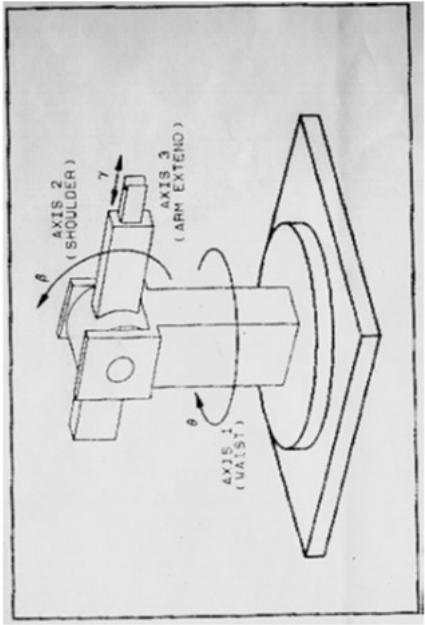
Robôs Manipuladores (Industriais)



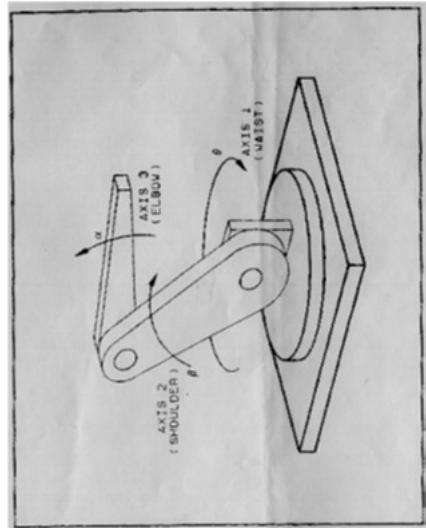
Robô de Coordenadas
Cartesianas



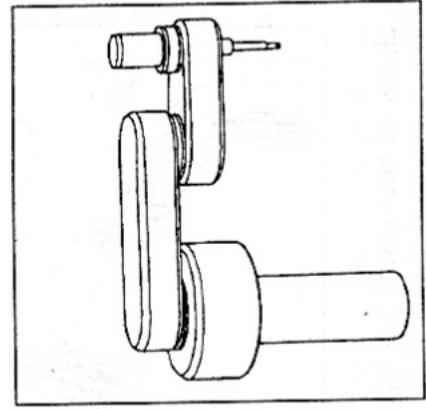
Robô de Coordenadas
Cilíndricas



Robô de Coordenadas
Polares ou Esféricas



Robô de Coordenadas de
Revolução ou Articulado



Robô SCARA

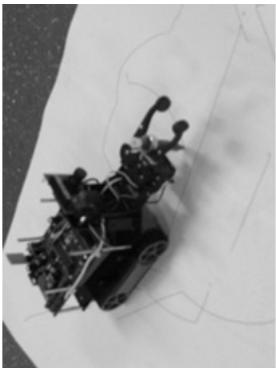
Robótica de Reabilitação



Sensores Ultrassônicos para
Pessoas Cegas



Prótese Multisensorial de
Membro Superior



Robot Móvel Comandado por
Crianças com Deficiência



Cadeira de Rodas Robótica em
Modo Autônomo



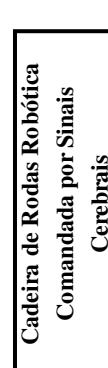
Cadeira de Rodas Robótica
Comandada por Sopro/Succção



Cadeira de Rodas Robótica
Comandada por Piscadas
de Olhos

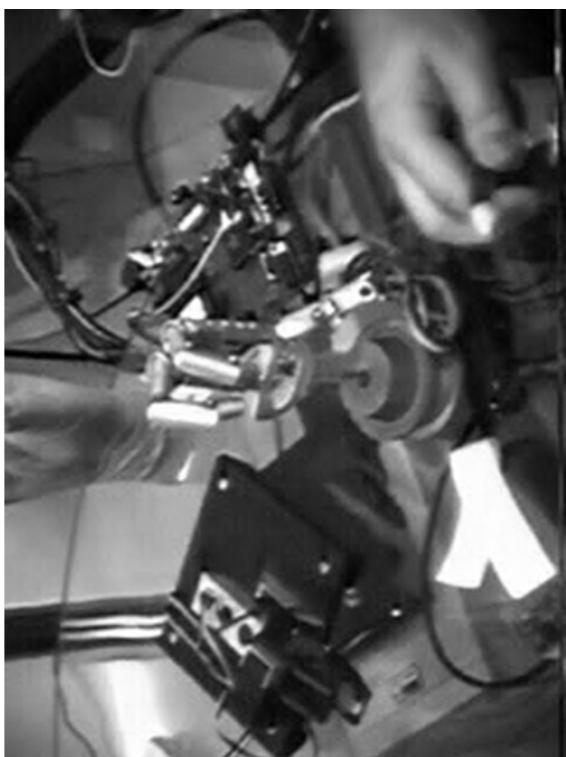
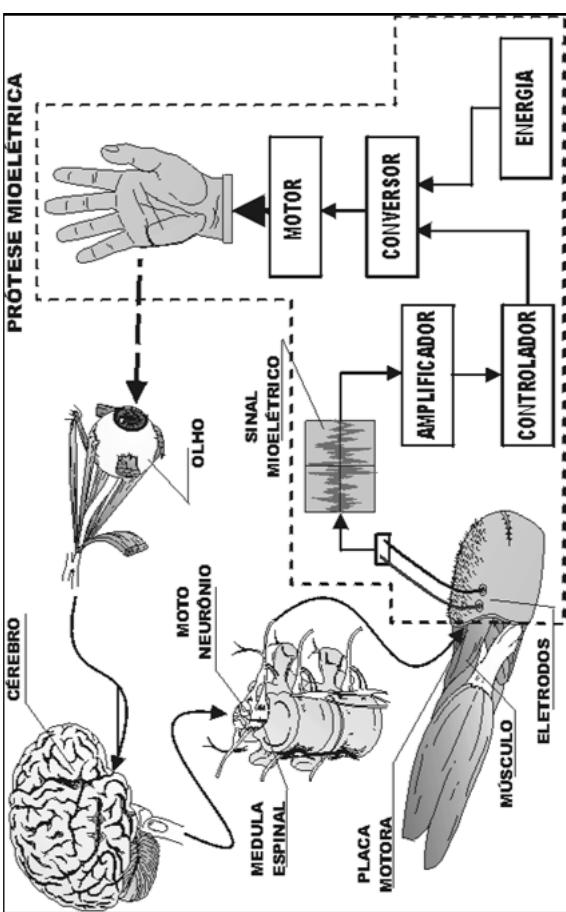


Cadeira de Rodas Robótica
Comandada por Sinais
Cerebrais



Andador Robótico de Ajuda
a Pessoas Idosas ou com
Deficiência

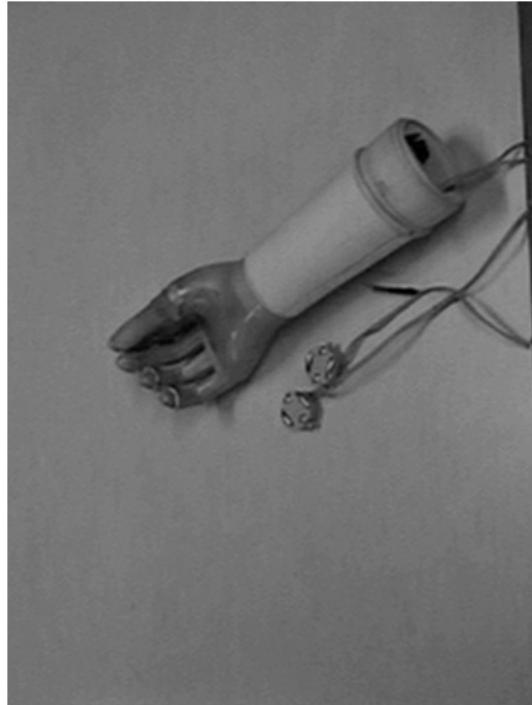
Prótese Mioelétrica



Software de Mão Virtual

Vídeo

Prótese Mioelétrica



- A prótese de membro superior construída possui um microcontrolador PIC, eletrônica de açãoamento da mão artificial, e os seguintes sensores:

- Mioelétrico

- Temperatura (sensores KTY e rede de linearização)

$$T = 84V - 144 (\text{m}^{\circ}\text{C})$$

- Força e Deslizamento (sensores FSR)

$$R = 1.3 \times 10^6 F^{-0.9} (\Omega)$$

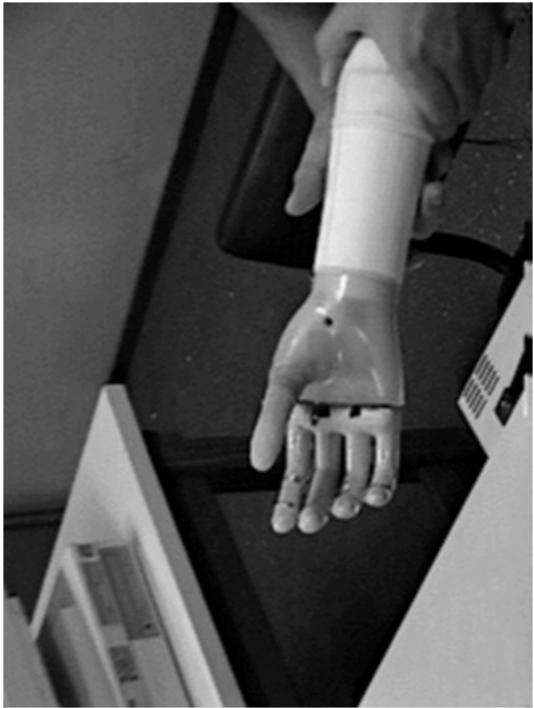
- Nível de Bateria (rede de resistores)

Prótese Mioelétrica

- Microcontrolador PIC adquire informações dos sensores e controla a mão artificial
- Se a temperatura estiver acima de 45°C, o usuário é alertado (por vibradores). Se a temperatura estiver acima de 60°C, o controlador não permite o fechamento da mão artificial

- Se o objeto começar a deslizar ao ser levantado pela mão artificial, o controlador exerce mais força sobre o objeto até que ele deixe de deslizar

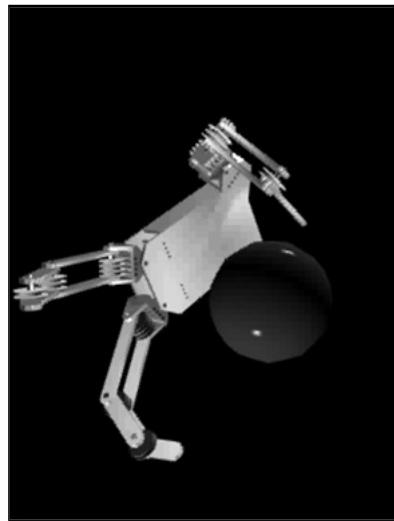
Video1



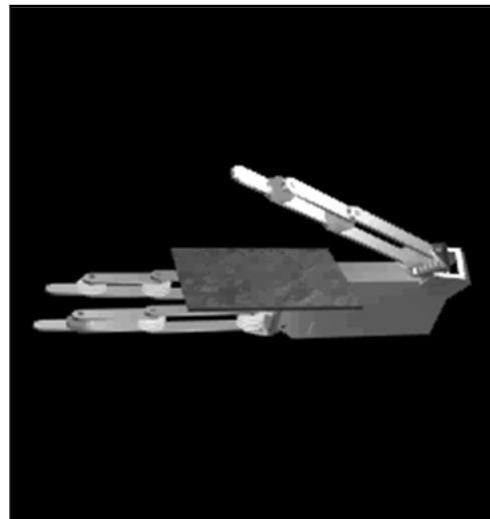
Video2



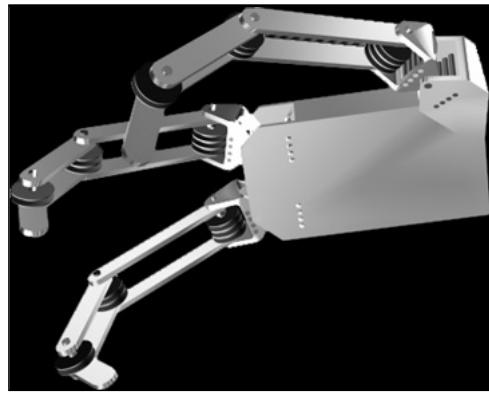
Sistemas Multi-Robôs (Mãos Multi-Dedos)



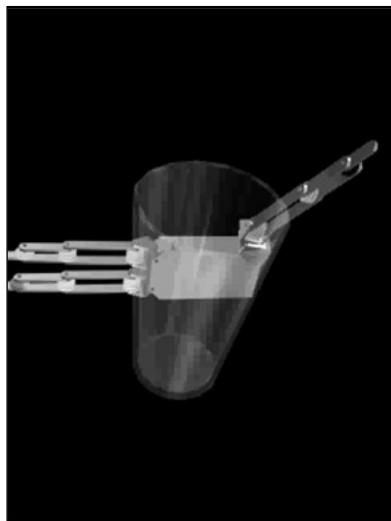
Pinça Tridigital



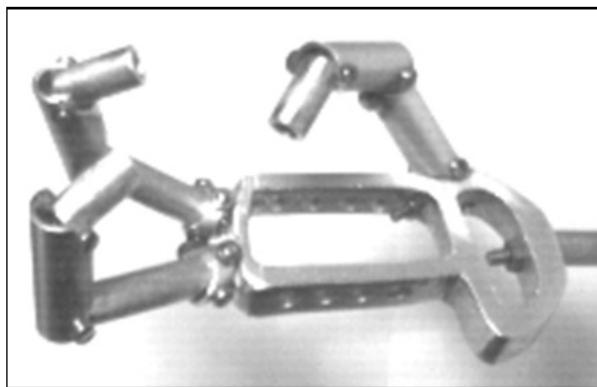
Garra Composta



Mão com 12 Graus de Liberdade

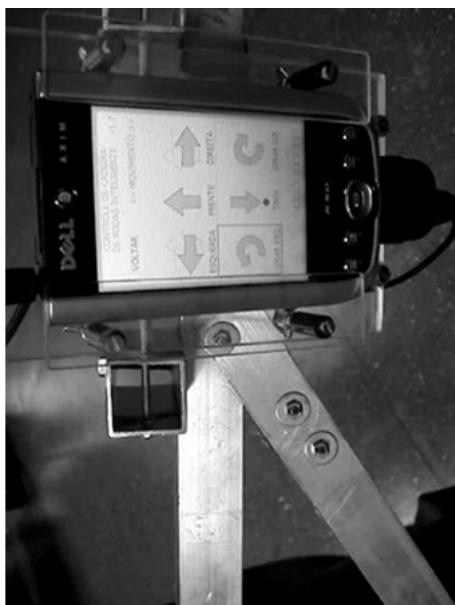
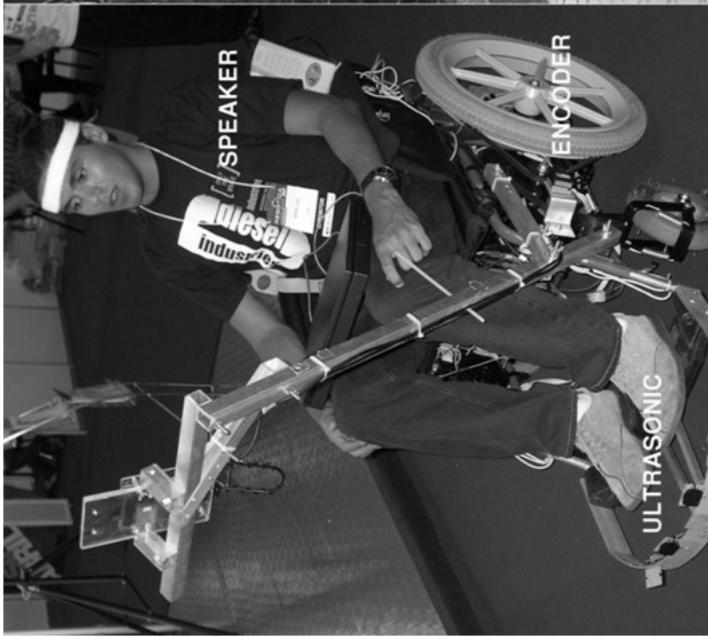
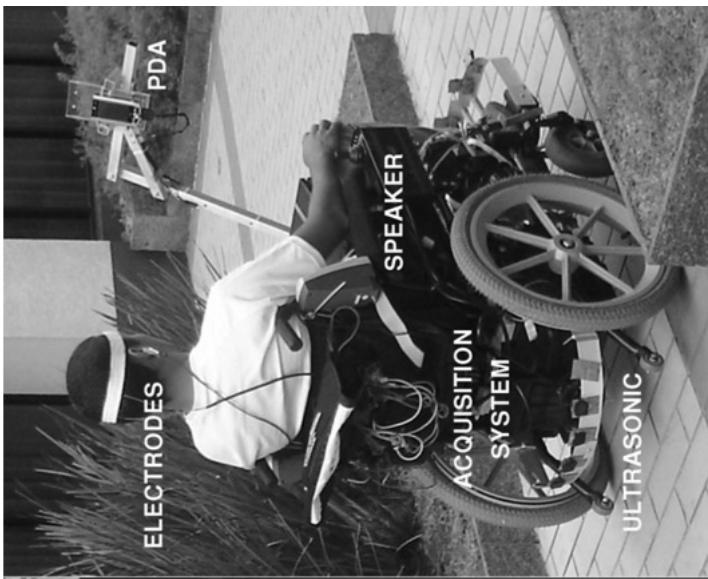
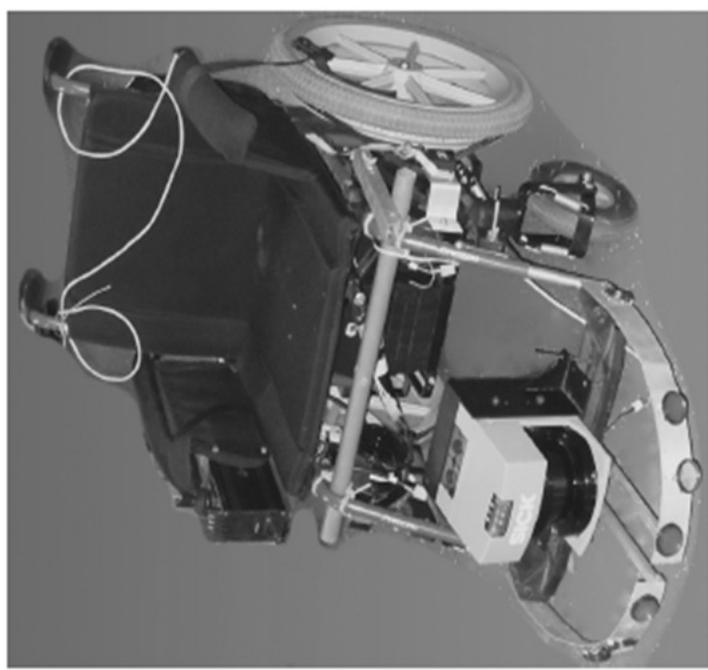


Garra de Força

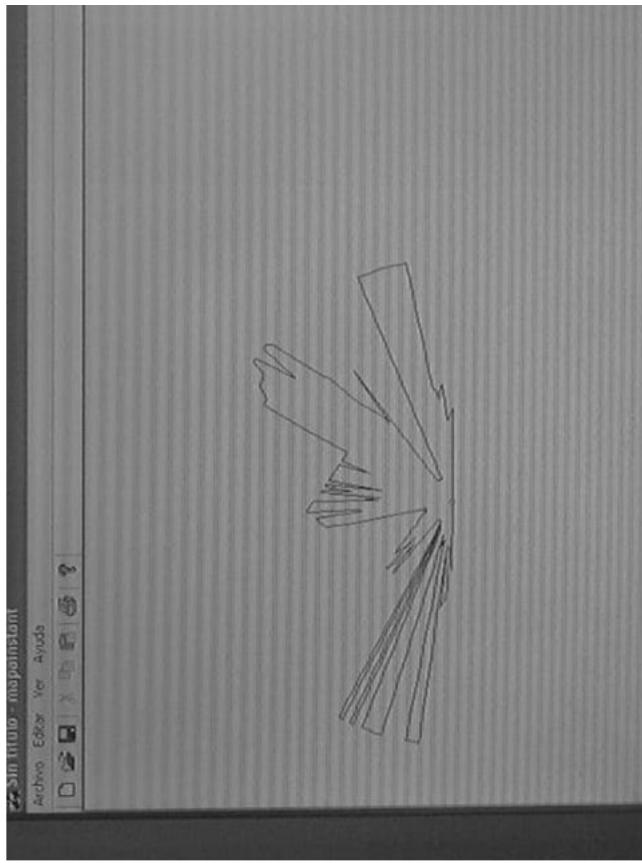


Mão com 13 Graus de Liberdade

Cadeira de Rodas Robótica



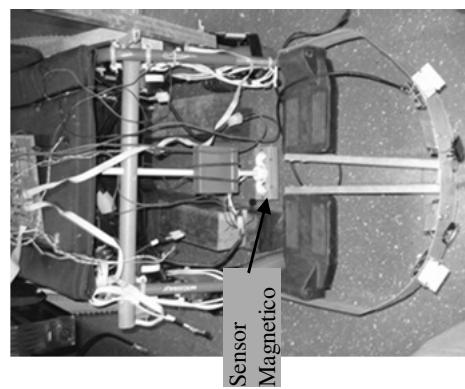
Cadeira de Rodas Robótica em Modo Autônomo (Usando Sensor Laser)



Cadeira de Rodas Robótica Auto-Guiada (Seguindo Lâminas Metálicas)

- A Cadeira de Rodas Robótica da UFES pode seguir trilhas metálicas instaladas no ambiente
- São utilizados sensores magnéticos existentes na cadeira de rodas
- O ambiente possui etiquetas RFID, e a cadeira possui um leitor de RFID que os identifica

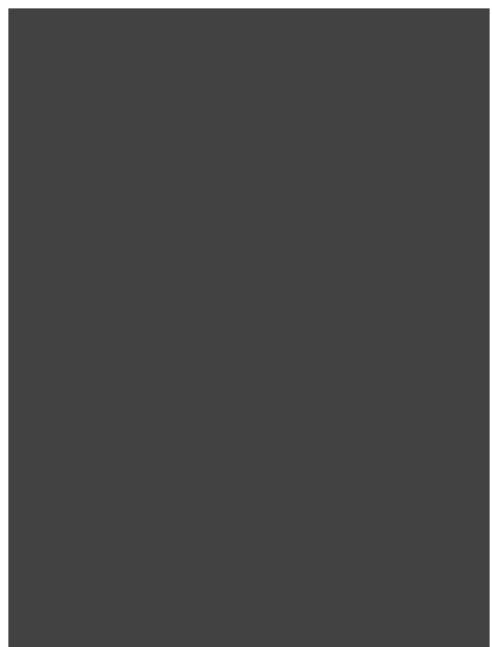
- Colocação de lâminas Metálicas e Etiquetas RFID no Ambiente Vídeo
- Testes com a Cadeira de Rodas Vídeo



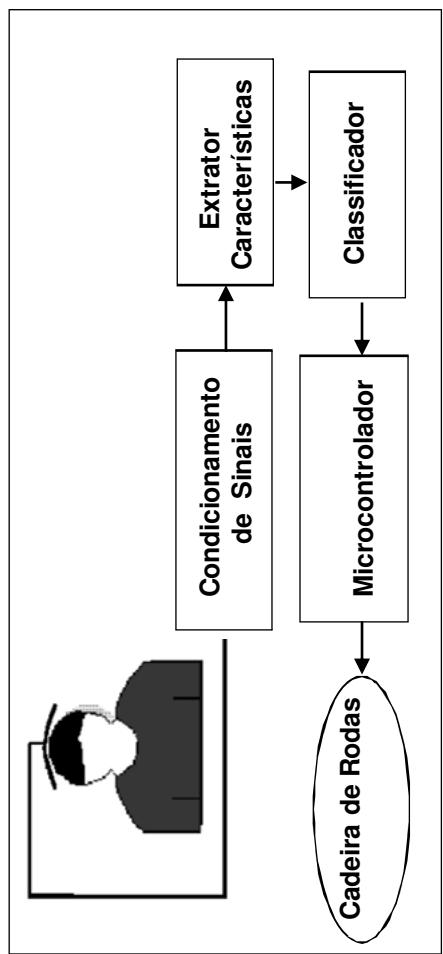
Cadeira de Rodas com Destino Definido



Robô Comandado por Sinais Biológicos



Robô Controlado por Piscadas de Olhos

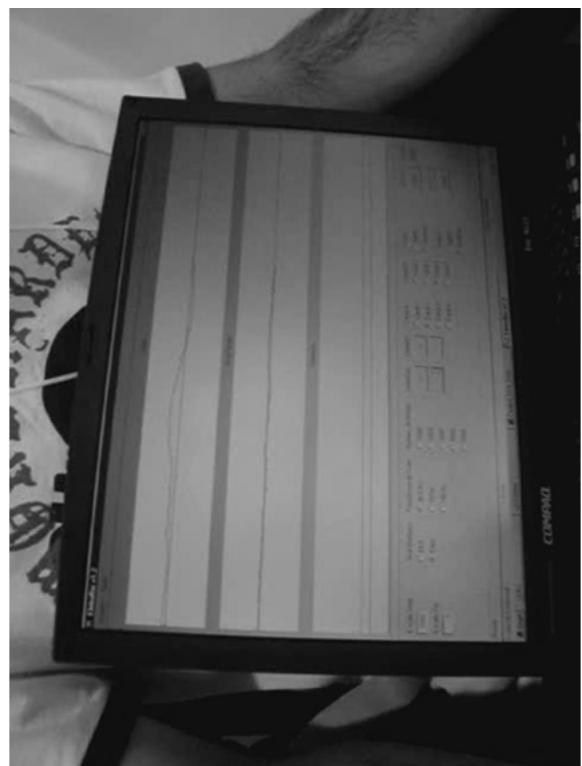
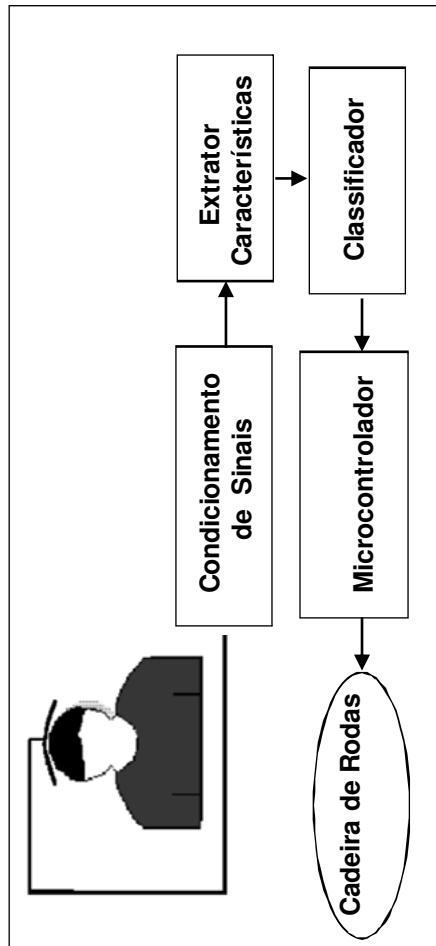


- Controle de um Robô Móvel a Rodas através do Processamento de Piscadas de Olhos: Sinais Mioelétricos (EMG)
- Necessidade de interação com ambiente de pessoas com alguns tipos de deficiência física:
 - Lesões na Medula Espinhal
 - Alguns tipos de Distrofia Muscular

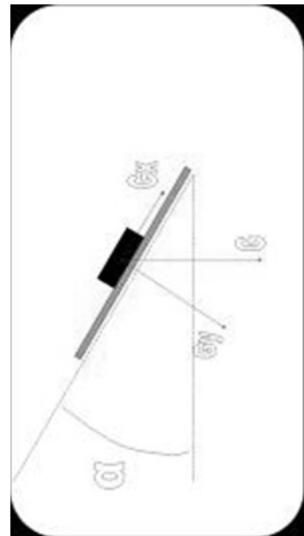
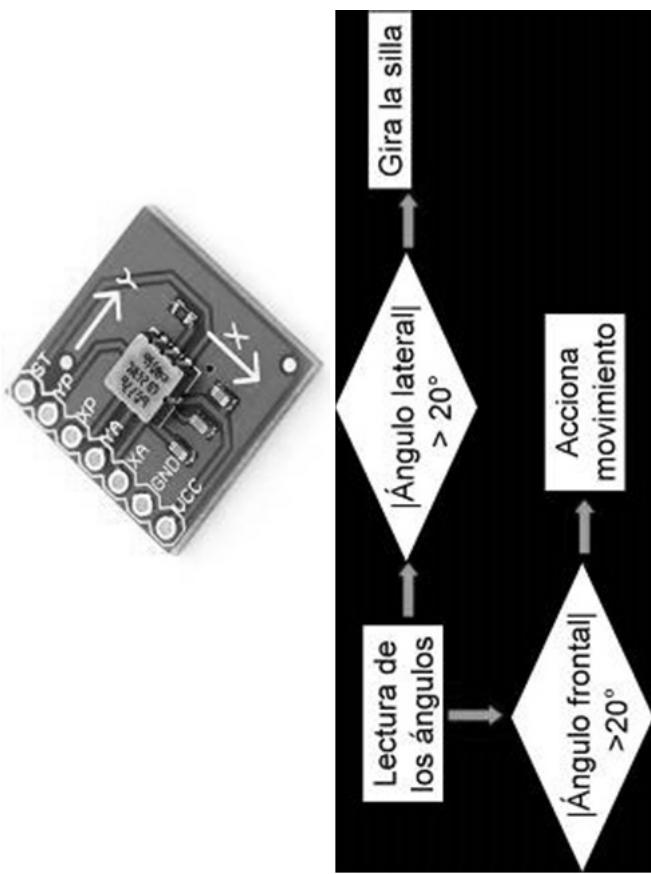


Cadeira de Rodas Controlada por Piscadas de Olhos

- Controle de uma Cadeira de Rodas Robótica através do Processamento de Piscadas de Olhos: Sinais Mioelétricos (EMG)



Cadeira de Rodas Controlada por Movimentos de Cabeça -Usando Acelerômetro-



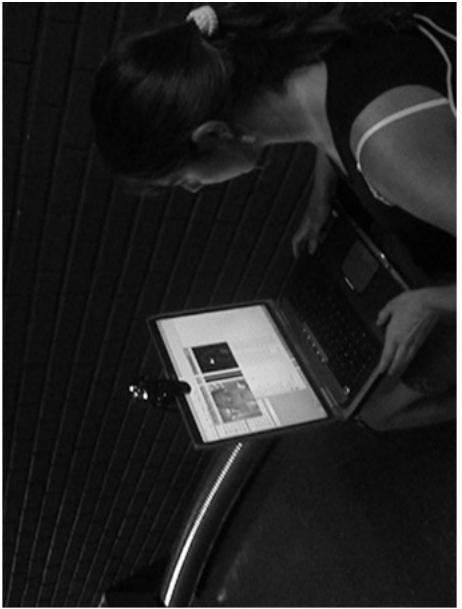
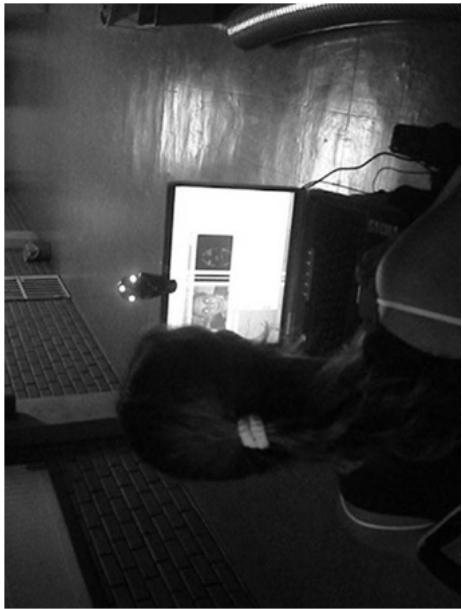
$$\alpha = \text{acos } (G_x/G)$$



- Experimentos realizados com cadeira de rodas comandada por movimentos de cabeça: [Vídeo](#)

Cadeira de Rodas Controlada por Movimentos de Cabeça

-Usando Visão: Extração de Características-



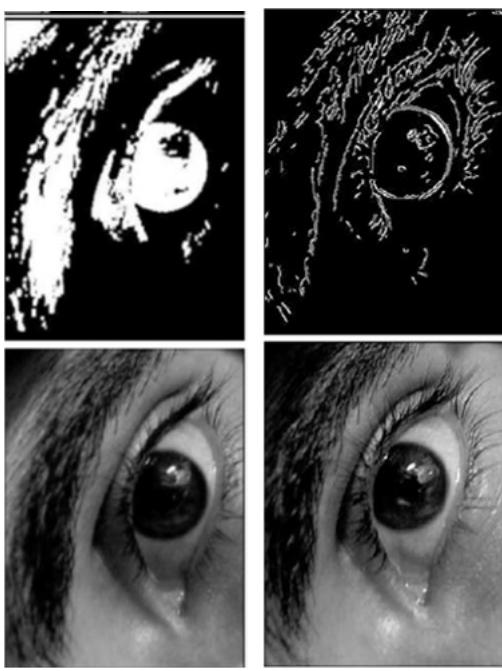
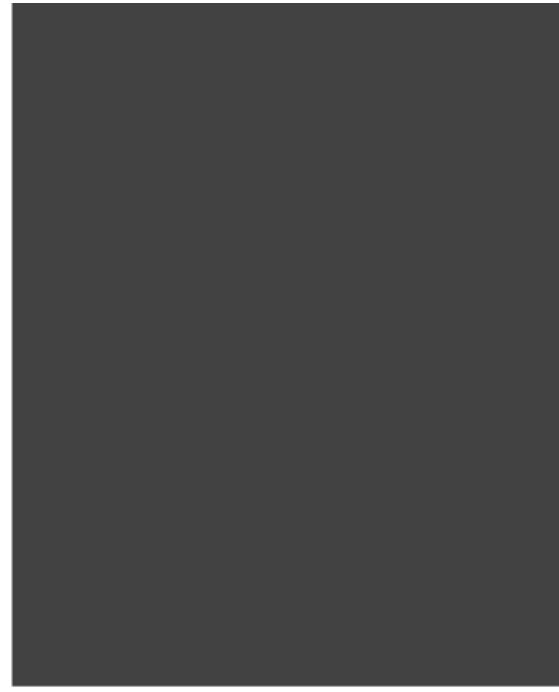
Cadeira de Rodas Controlada por Movimentos de Cabeça

-Usando Visão: Fluxo Óptico-

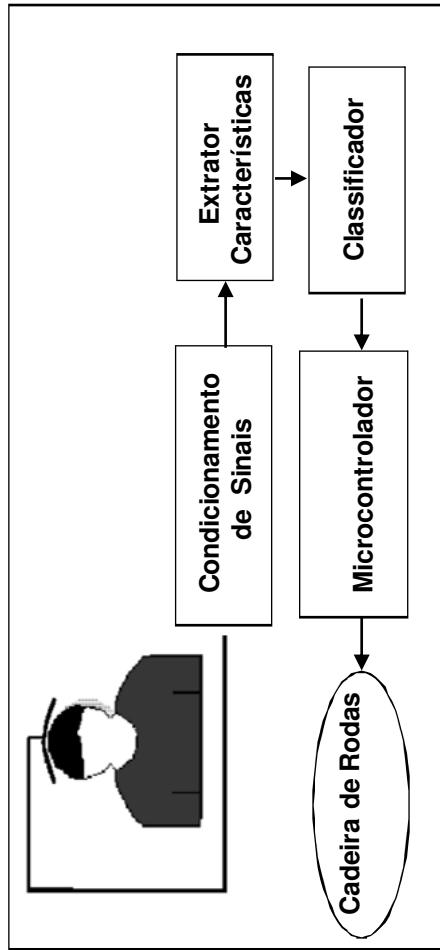


- Experimentos com a Cadeira de Rodas Comandada por Movimentos de Cabeça Obtidos por Fluxo Óptico: [Vídeo](#)

Cadeira de Rodas Controlada por Movimentos do Globo Ocular



Cadeira de Rodas Controlada por Sinais Cerebrais



- Controle de uma Cadeira de Rodas Robotizada através do Processamento de Sinais Eletroencefalográficos (EEG)
- Necessidade de interação com ambiente de pessoas com alguns tipos de deficiência física:



- Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA)
- Lesões na Medula Espinal
- Alguns tipos de Distrofia Muscular

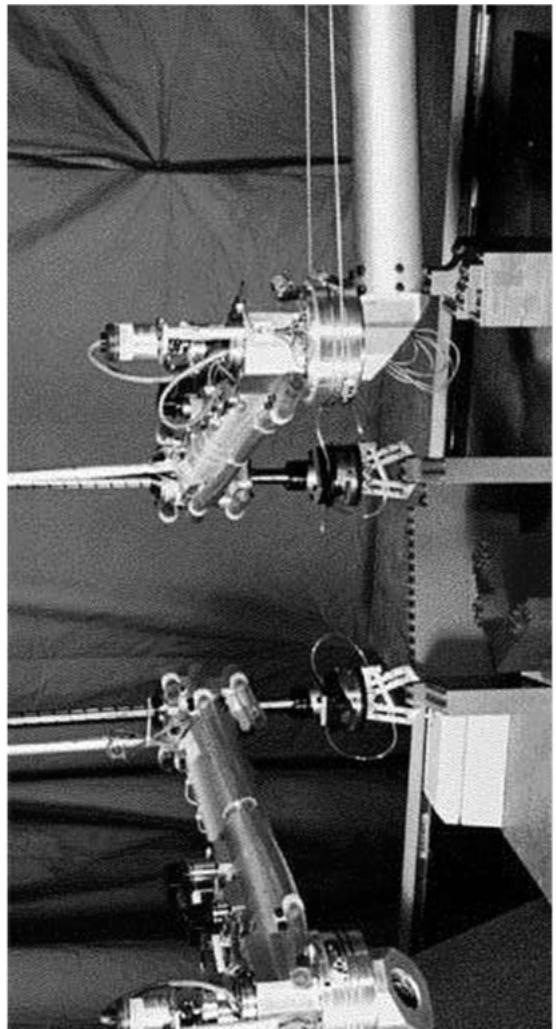
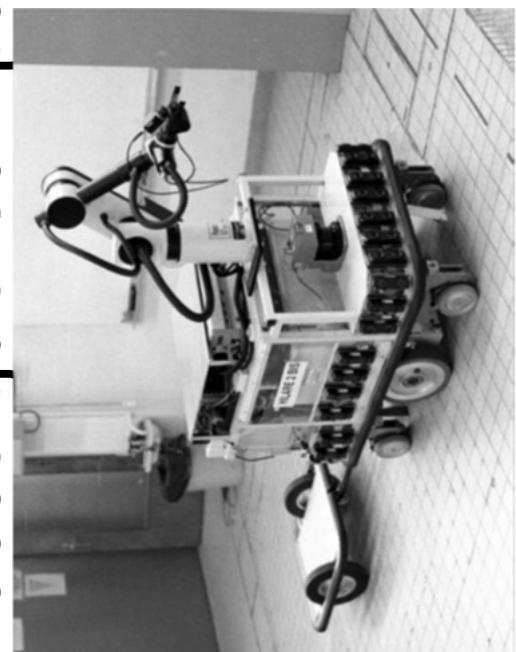
Controle da Cadeira de Rodas por Sinais Cerebrais



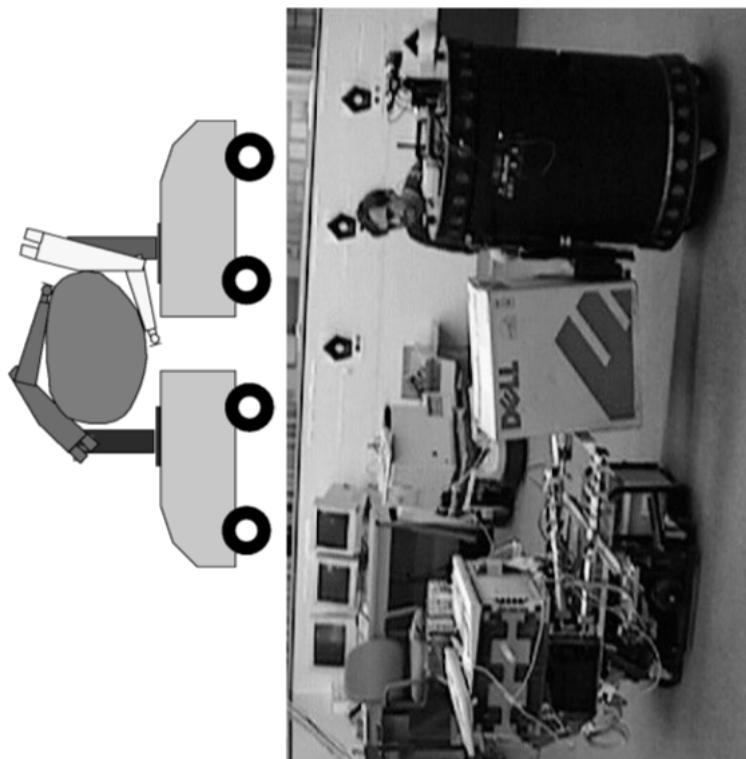
Robôs Híbridos

(Sistemas Multi-Robôs)

(Robôs que Compartilham o Mesmo Ambiente)

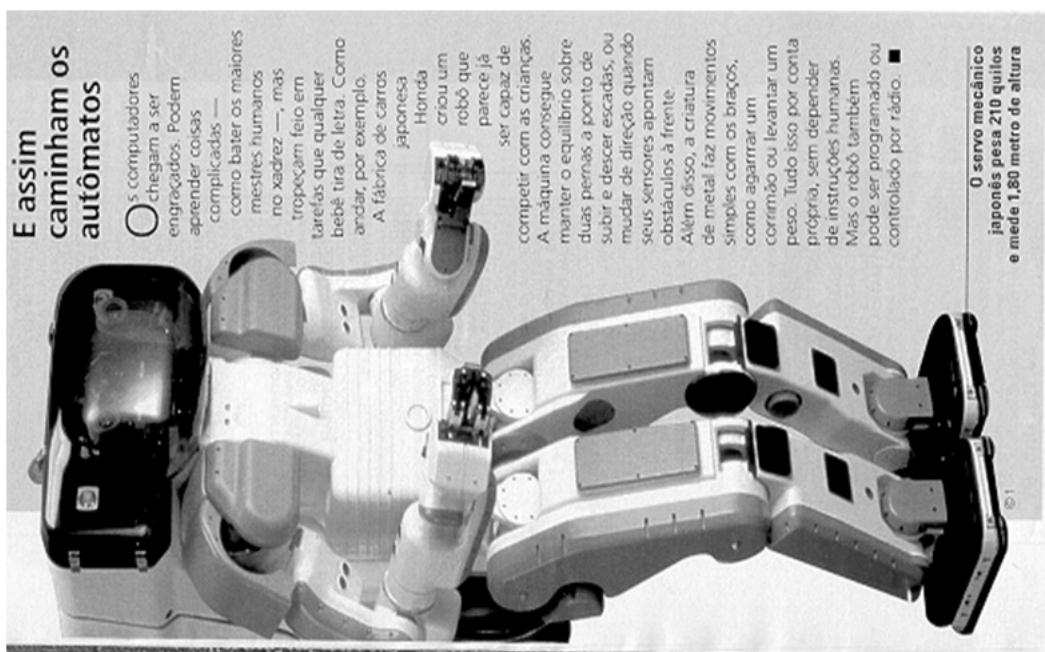


Robôs Híbridos (Sistemas Multi-Robôs) (Robôs que Compartilham a Mesma Carga)



Robô Humanóide da Honda

O robô humanoide da Honda, "Asimo" levou 10 anos para sua construção



E assim caminham os autômatos

Os computadores chegam a ser engenheiros. Podem aprender coisas complicadas — como bater os maiores mestres humanos no xadrez. —, mas tropeçam feio em tarefas que qualquer bebê tira de letra. Como andar, por exemplo.

A fábrica de carros

japonesa

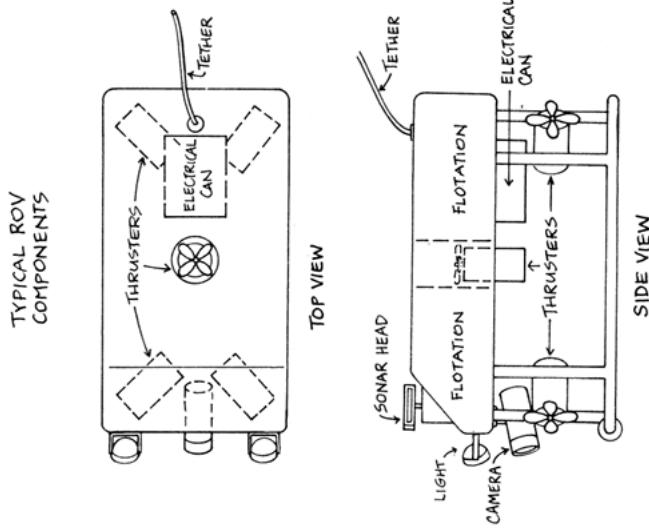
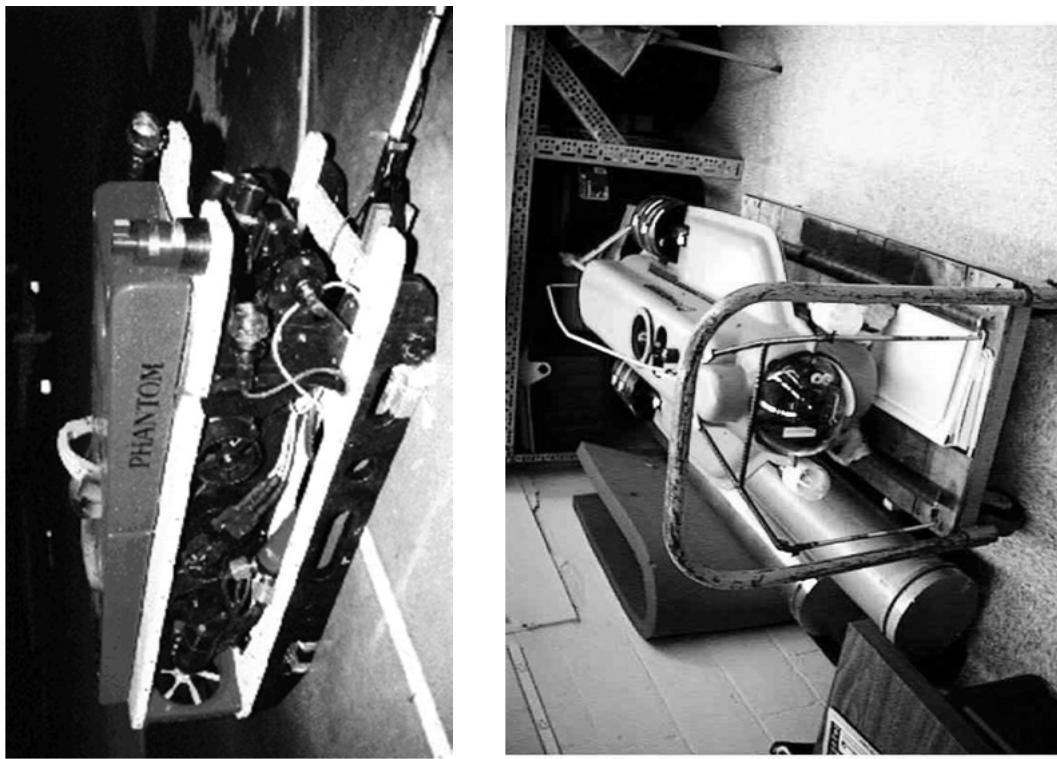
Honda criou um robô que parece lá ser capaz de competir com as crianças. A máquina consegue manter o equilíbrio sobre duas pernas a ponto de subir e descer escadas, ou mudar de direção quando seus sensores apontam obstáculos à frente. Além disso, a criatura de metal faz movimentos simples com os braços, como agarrar um corrimão ou levantar um peso. Tudo isso por conta própria, sem depender de instruções humanas. Mas o robô também pode ser programado ou controlado por rádio. ■

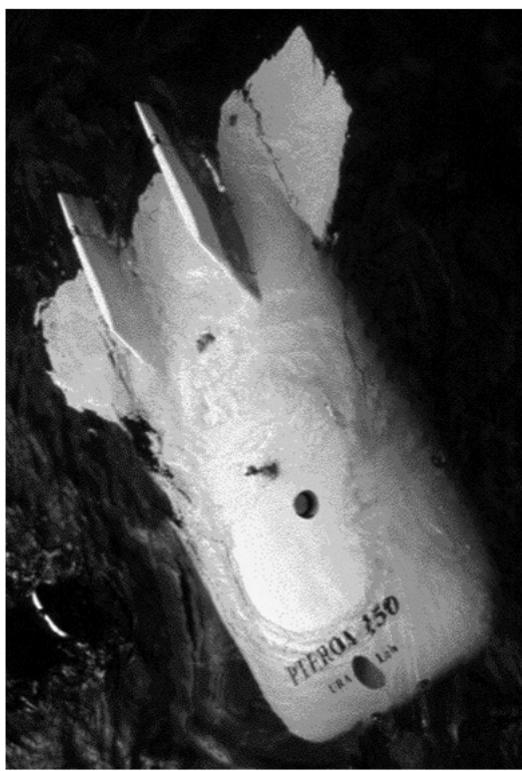
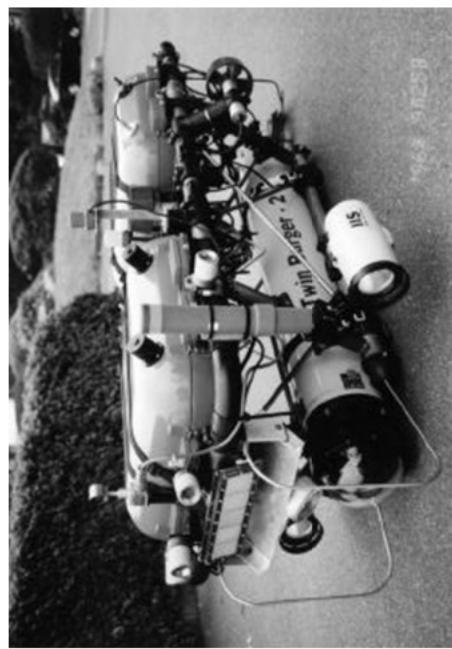
O servo mecânico japonês pesa 210 quilos e mede 1,80 metro de altura

Robô Humanóide da Sony

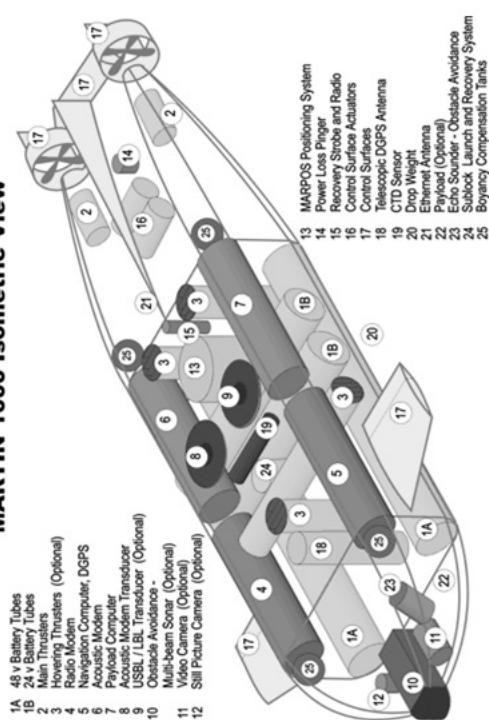
Robô "Qrio"

Robôs Submarinos





MARTIN 1000 Isometric View



Tipos de Robôs Submarinos

- ROV (Remote Operated Vehicle)
 - Controlado Remotamente
- AUV (Autonomous Underwater Vehicle)
 - Opera Autonomamente

Aplicações de Robôs Submarinos

Os robôs submarinos podem realizar diversos tipos de tarefas, utilizando para isto braços mecânicos e ferramentas especializadas:

- investigação visual das partes submersas de navios, pontes e plataformas
- monitoramento de colônias de peixes
- controle de poluição subaquática
- controle de devastação da vida marinha
- localização de depósitos de combustíveis nucleares
- execução de operações tecnológicas em plataformas off-shore
- inspeção visual de estruturas subaquáticas de oleodutos e gasodutos
- inspeção de barragens
- explorações marítimas para fins de pesquisa

ROV X AUV

■ ROVs

- São normalmente acionados por propulsores elétricos, que representam um conjunto constituído pelo motor e pelo hélice
- Operam conectados a uma embarcação de superfície através de um cabo umbilical
- Através do cabo recebe a energia necessária para sua operação e se comunica com a Unidade de Comando enviando sinais de vídeo e recebendo sinais de controle
- Problemas: o cabo limita a velocidade e o alcance do robô, além de que o cabo pode se enredar tanto com o robô quanto com um obstáculo

■ AUVs

- São de tecnologia mais recente e operam de forma autônoma, eliminando o uso de cabos umbilicais
- A autonomia é limitada pela duração de suas baterias, embora seja possível manter um navio de recarga de baterias próximo ao ponto onde o AUV realiza suas operações

Robô Submarino UFES/Vitória (Brasil)

■ ROV Híbrido

- Cinco graus de liberdade
- Seis propulsores elétricos
- Baterias a bordo
- Controle desde a superfície através de cabo de fibra ótica
- Dimensões: 150x70x50 cm
- Peso: 55 Kg
- Profundidade: 150 m
- Graus de liberdade: 5
- Propulsores: 6
- Controle: rede de microcontroladores



Site de Consulta na Internet

www.rov.org

Detalhes de Robôs Móveis

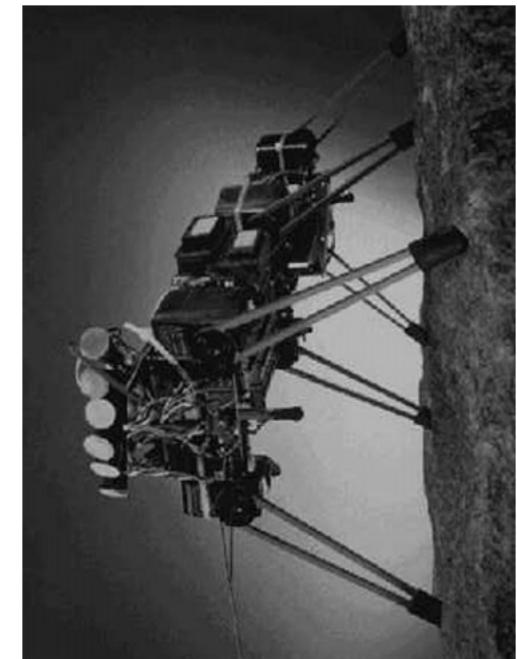
Cronologia dos Robôs Móveis

- Primeiros avanços ⇒ década de 70: robôs móveis sem autonomia: AGVs de caminho fixo (corrimãos, marcas contínuas ou espaçadas, pintadas sobre o solo, campos magnéticos)
- Década de 80 ⇒ robôs autônomos: AGVs de caminho indefinido (ambientes fechados e estruturados, até locais abertos, desconhecidos e dinâmicos)

Robôs Móveis Autônomos

- Não estão restringidos a um espaço de trabalho fixo ⇒ são mais versáteis
- Isso requer um sistema de sensoriamento mais sofisticado
- São necessários computadores de bordo mais poderosos, capazes de atender às exigências dos sistemas de sensoriamento, navegação e controle
 - São necessárias baterias com alta capacidade e com pequenas dimensões e peso

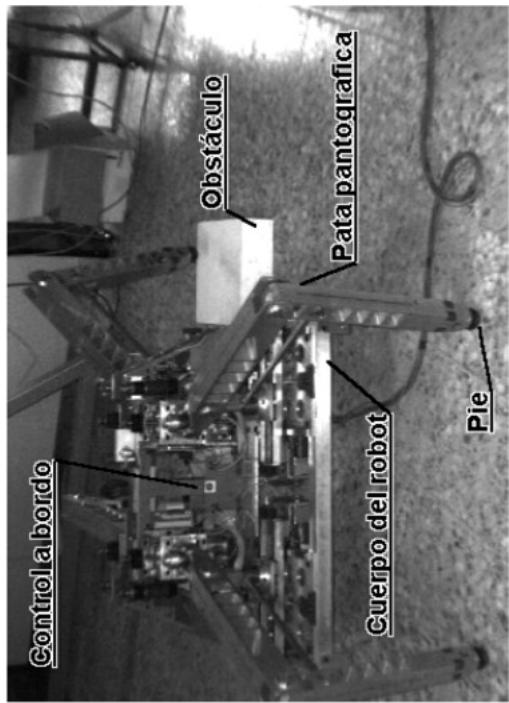
Exemplos de Robôs Móveis com Patas



Ghengis (MIT)



Roque (UFES)



Rhimo (IAI, ESPANHA)



Guará (UFES)

Robôs Móveis com Quatro Patas



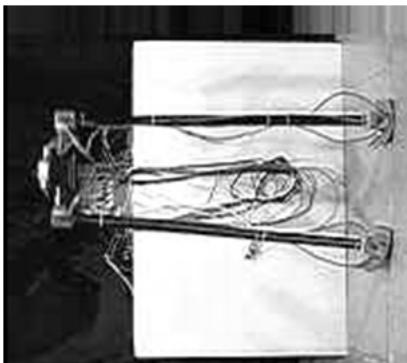
Vídeo



Robôs Móveis com Quatro Patas

“Big Dog”

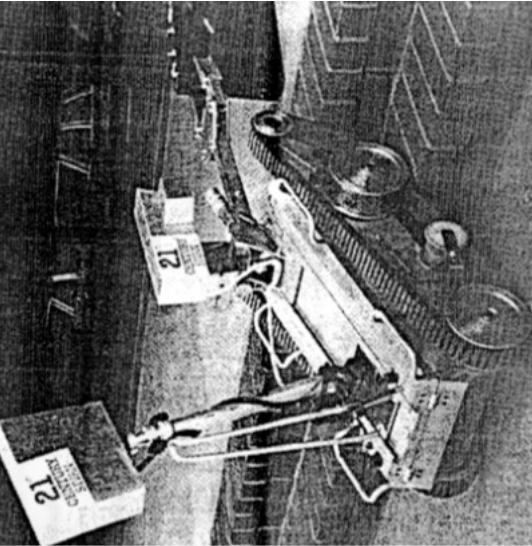
Robôs Móveis com Duas Patas



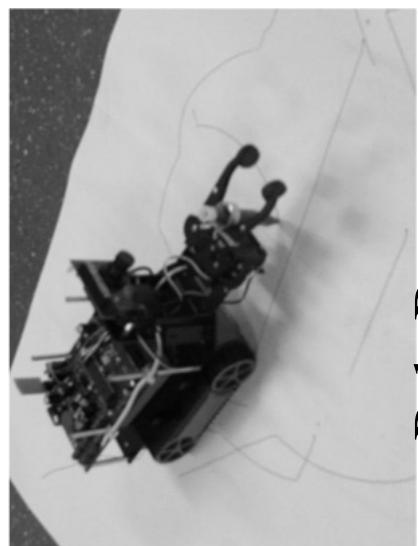
Robô Móvel com Uma Pata



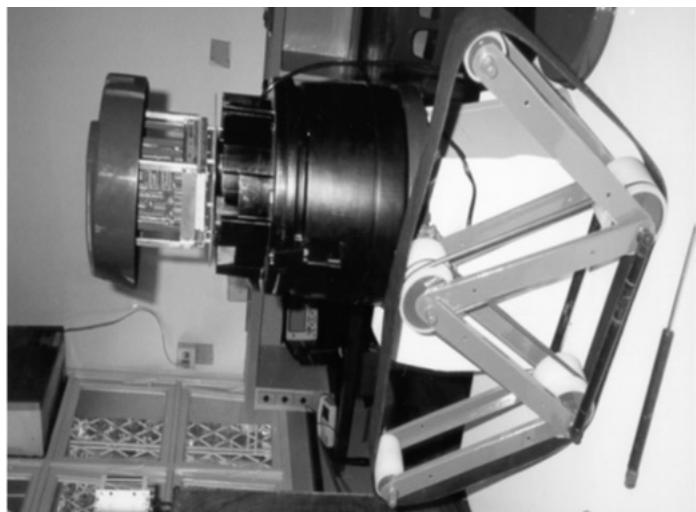
Exemplos de Robôs Móveis com Esteira



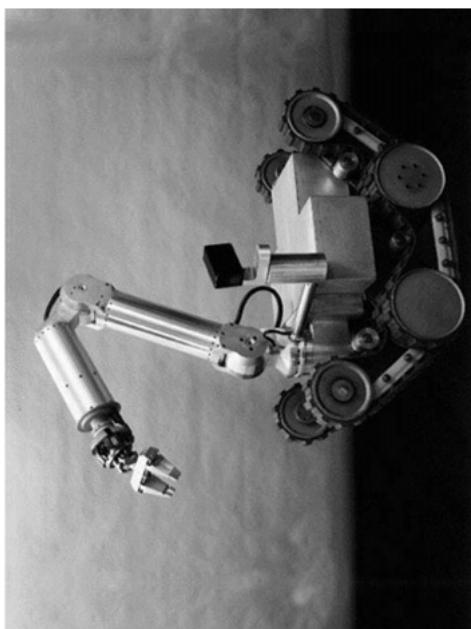
TSR-70



Pob-Bot



Lene 1 (UFES, BRASIL)

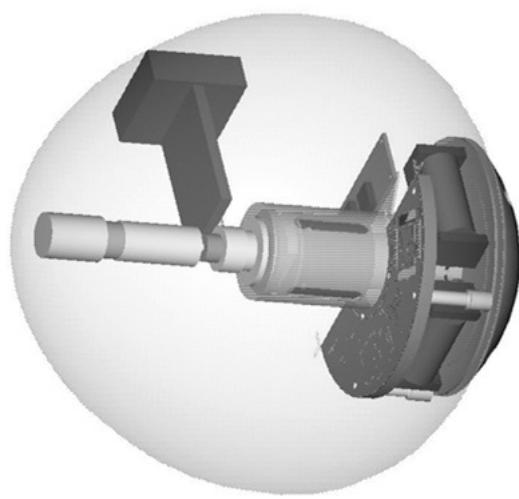


Hazbot (NASA)



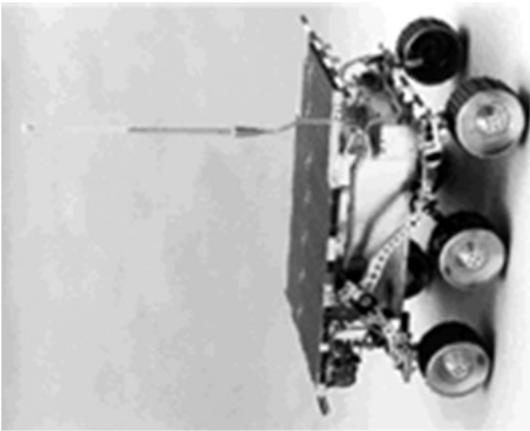
Urbie (JPL/NASA)

Robô de Exploração Planetária de Baixa Gravidade

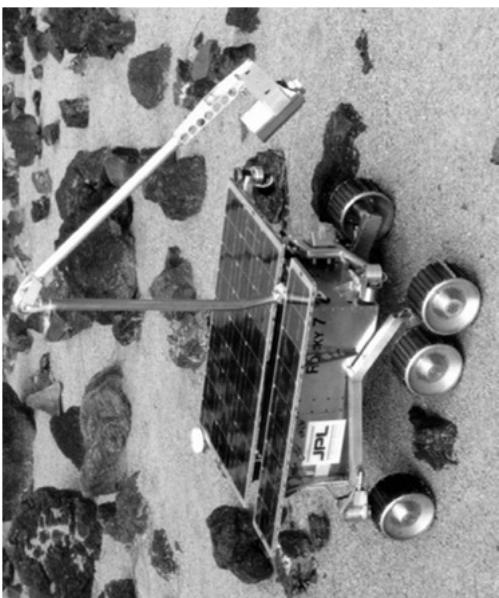


Hopping Robot (JPL)

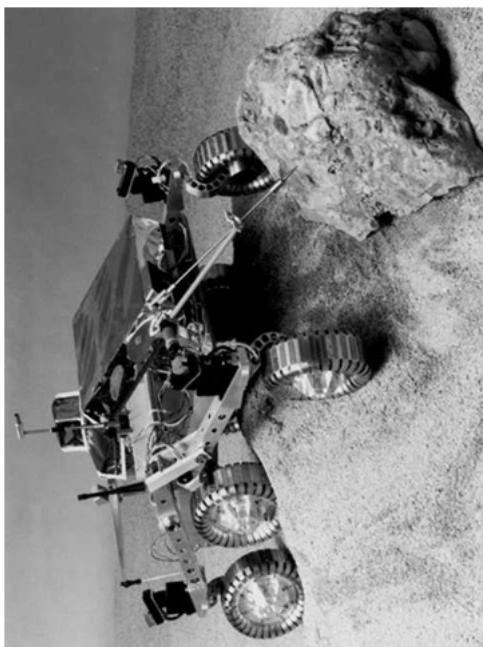
Robôs Móveis (rodas)



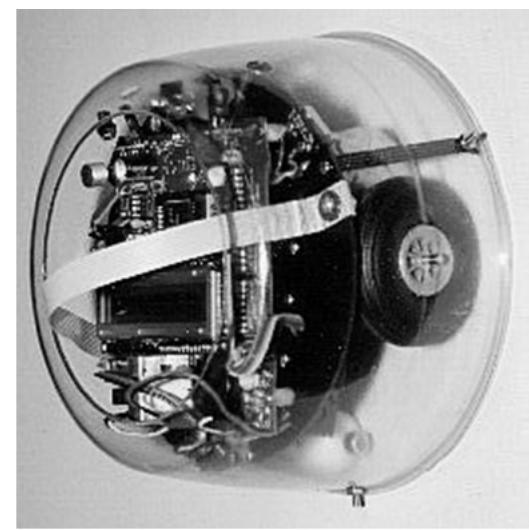
Sojourner (NASA)



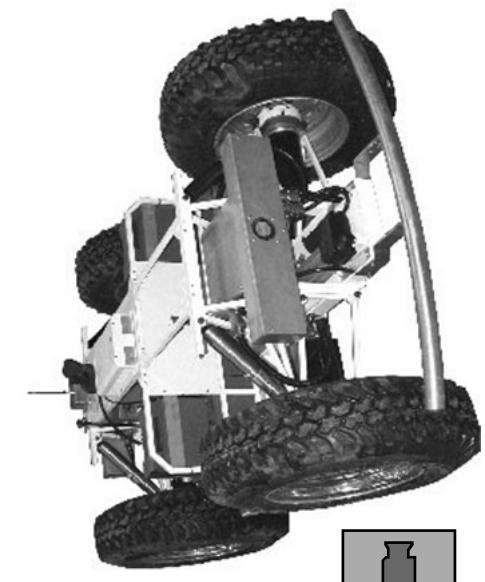
Rocky 7 (NASA)



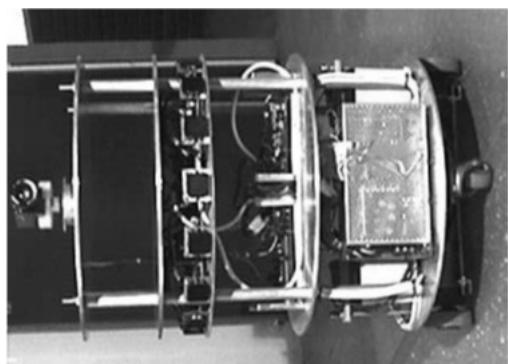
Rocky IV (NASA)



Rug Warrior (MIT)

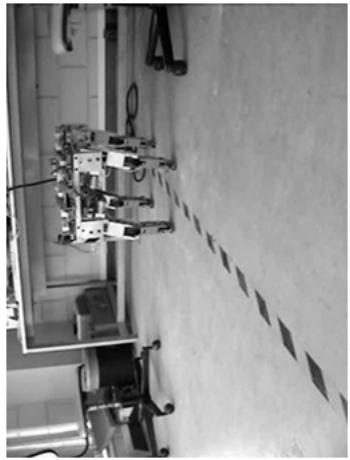


Robucar (França)



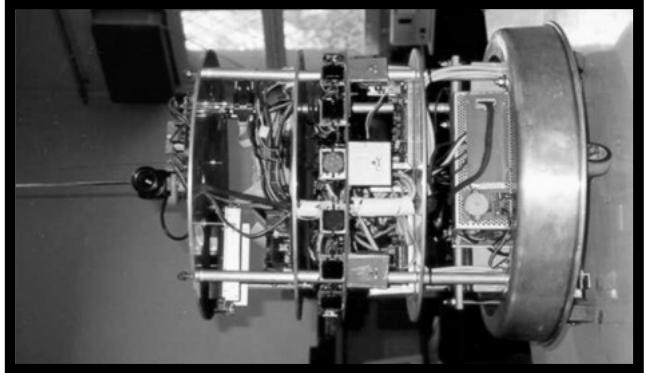
Brutus (UFES)

Robôs Móveis UFES/Vitória (Brasil)



Robô BRUTUS

- O Brutus é um robô móvel a rodas;
- 2 rodas livres e 2 rodas tracionadas;
- Tração Diferencial;
- 2 baterias;
- Plataforma Circular;
- Multisensorial (encoders, câmara de vídeo, Ultrassom, pária-choques, infravermelho, nível de bateria);
- Possui 4 processadores:
- Dois microcontroladores MC68HC11® ;
- Um PIC16F84®;
- Um Pentium® 233MHz MMX.
- Pode ser teleoperado por joystick, por voz e pela Internet, e navega autonomamente



Robô ROQUE



Vídeo

- Cada pata controlada por um microcontrolador INTEL 8096;
- Cada pata com dois graus de liberdade (dois motores);
- Caminha em linha reta;
- Um dos quatro microcontroladores controla o sincronismo entre as patas;
- Autonomia de cerca de 40 minutos (duas baterias de motocicleta).

Robô GUARÁ



- Rede CAN a bordo, onde cada pata controlada por três processadores: dois PICs e um microcontrolador INTEL 80196;
- Cada pata com quatro graus de liberdade (quatro motores);
- Caminha em retas e curvas;

Robô DELICATUS

- O Delicatus é um robô móvel a rodas comprado pelo LAI para estudos de Robótica;
- Tração Diferencial;
- Plataforma Circular;
- Multisensorial (encoders, câmara de vídeo, Ultrassom, pára-choques, infravermelho, células fotoelétricas, microfone, emissor piezelétrico para reprodução de som);
- Um microcontrolador MC68HC11®;
- Pode ser teleoperado, inclusive pela Internet, ou navegar autonomamente.



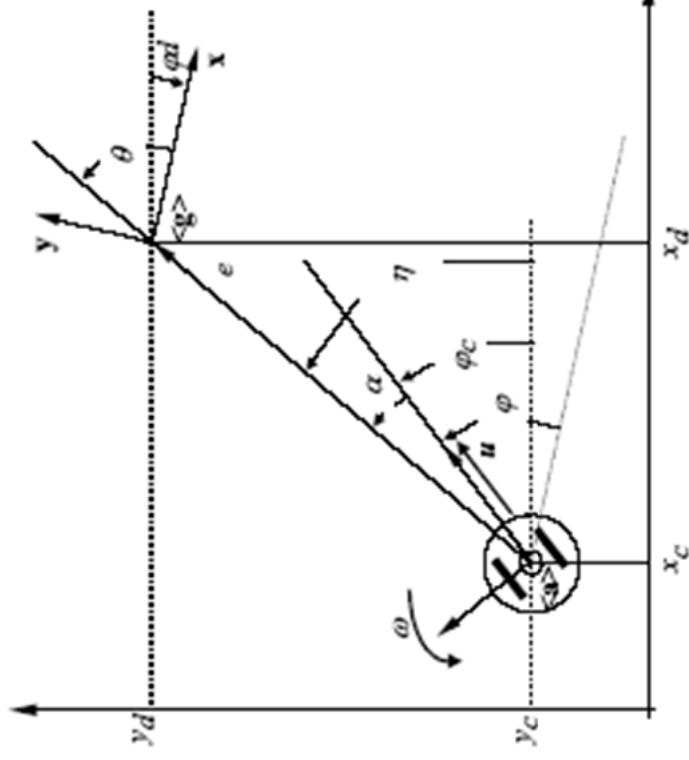
Vídeo

Robô PIONEER

- Robô móvel a rodas comprado pelo LAI para estudos em Robótica;
- Tração diferencial: duas rodas motorizadas e um livre;
- Pentium MMX 200 MHz a bordo do robô;
- 3 baterias;
- Multisensorial (encoders, Ultrassom, câmara de vídeo);
- Rádio Ethernet.



Sistema de Controle



Funções Candidatas de Lyapunov

$$V(\rho, \theta, \alpha) = \frac{1}{2} \lambda \rho^2 + \frac{1}{2} \alpha^2 + \frac{1}{2} \kappa \theta^2$$

$$v = K v \cdot \rho \cdot \cos \alpha$$

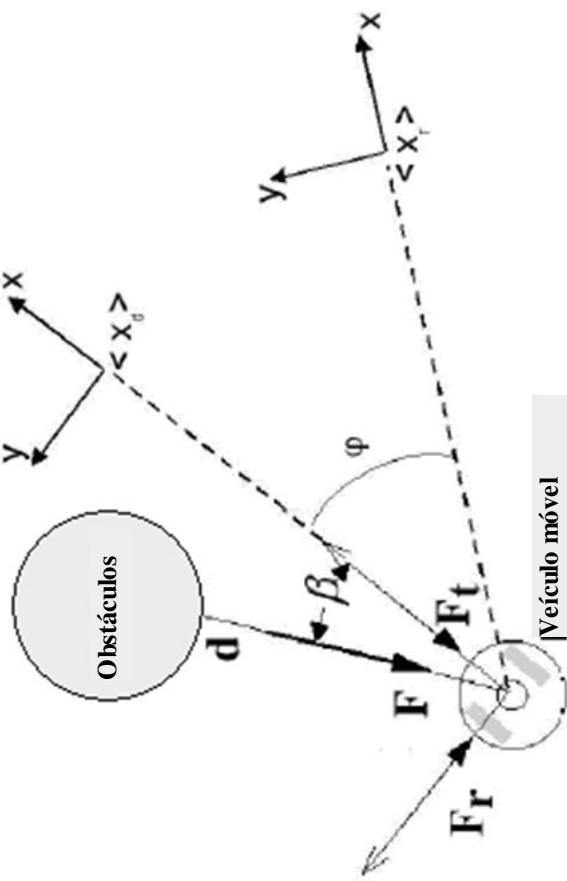
$$\omega = \alpha + k_{\alpha \theta} \cdot \frac{\theta^2}{\alpha} + h_\theta \cdot k v \cdot \theta \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha} \cdot \cos \alpha + k v \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

Modelo Cinemático
(Não Linear)

$$\left. \begin{array}{l} \dot{\rho} = -v \cos \alpha \\ \dot{\alpha} = -\omega + v \frac{\sin \alpha}{\rho} \\ \dot{\theta} = v \frac{\sin \alpha}{\rho} \end{array} \right\}$$

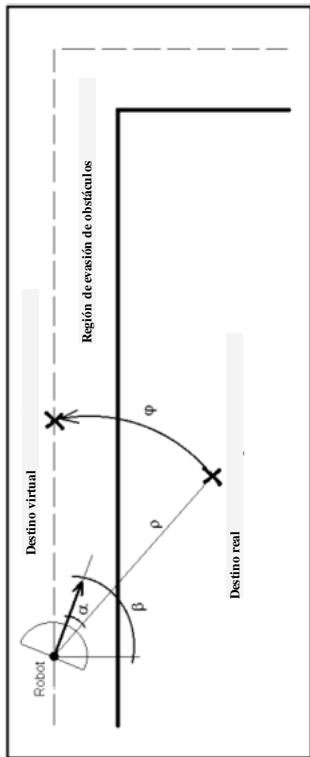
$$\dot{V} = -h_\rho \cdot k_v \cdot \rho^2 \cdot \cos^2 \alpha - \alpha^2 - k_{\omega \theta} \cdot \theta^2 \Rightarrow \begin{cases} \rho(t) \\ \alpha(t) \\ \theta(t) \end{cases} \rightarrow 0 \text{ cuando } t \rightarrow \infty$$

Controle com Desvio de Obstáculos

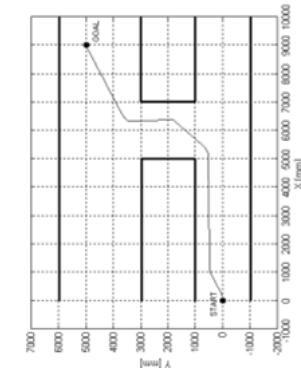
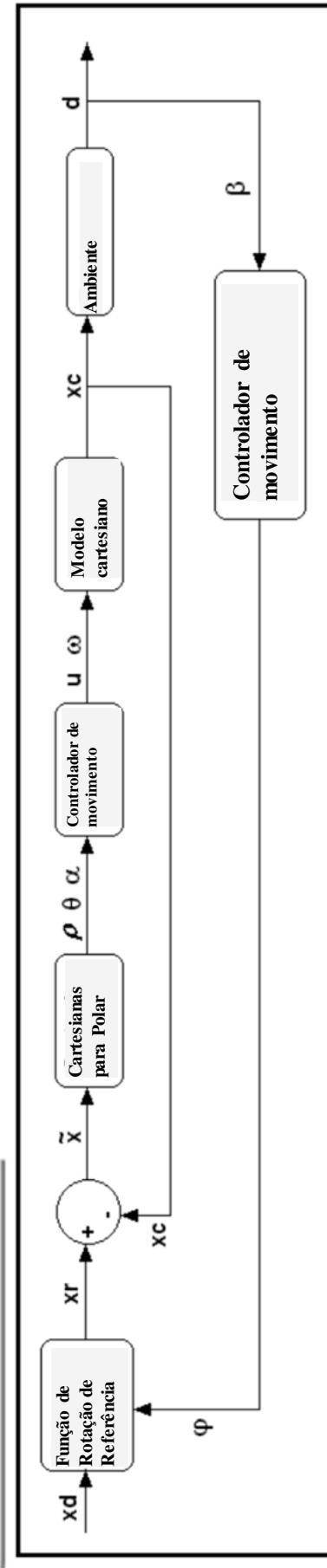


Véiculo móvel

Método de Impedância Modificado



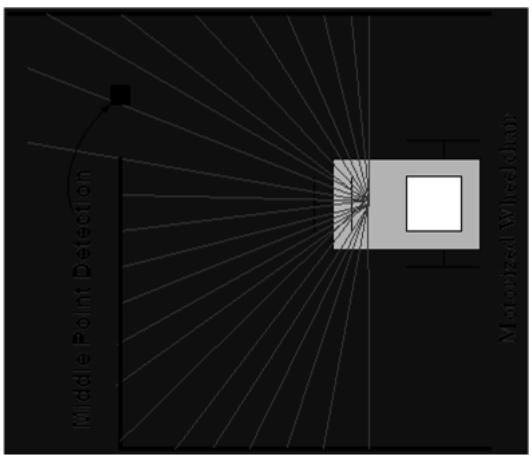
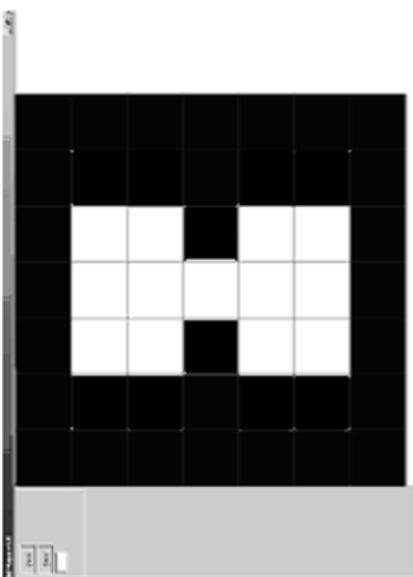
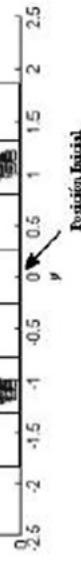
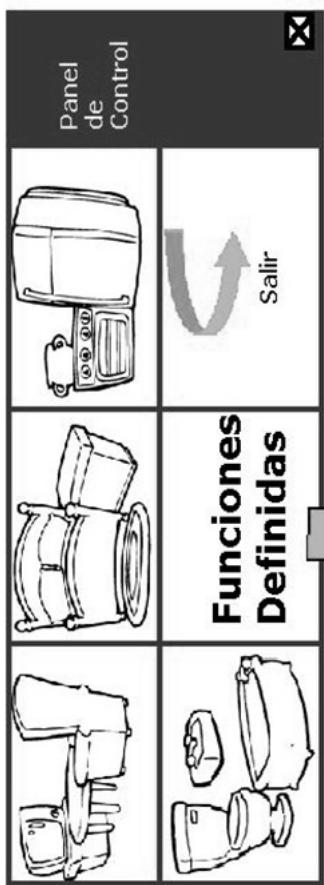
$$\varphi = \left(\frac{\pi}{2} - |\beta| \right) \text{reverseSign}(\beta) - \alpha$$



Navegação por Sensor Laser



Mapeamento Probabilístico e Localização Simultânea (SLAM)



Robôs Cooperativos: Futebol de Robôs

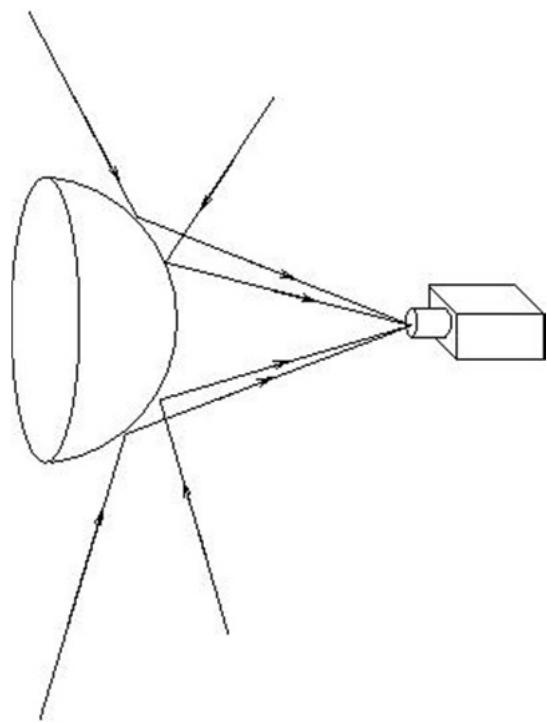


Vídeo

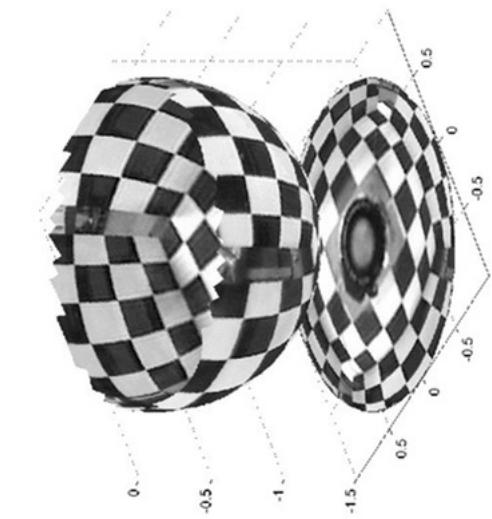
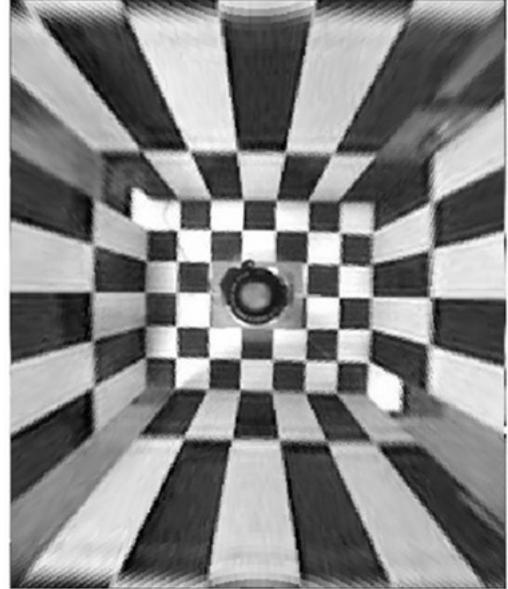


Robôs com Visão Omnidirecional

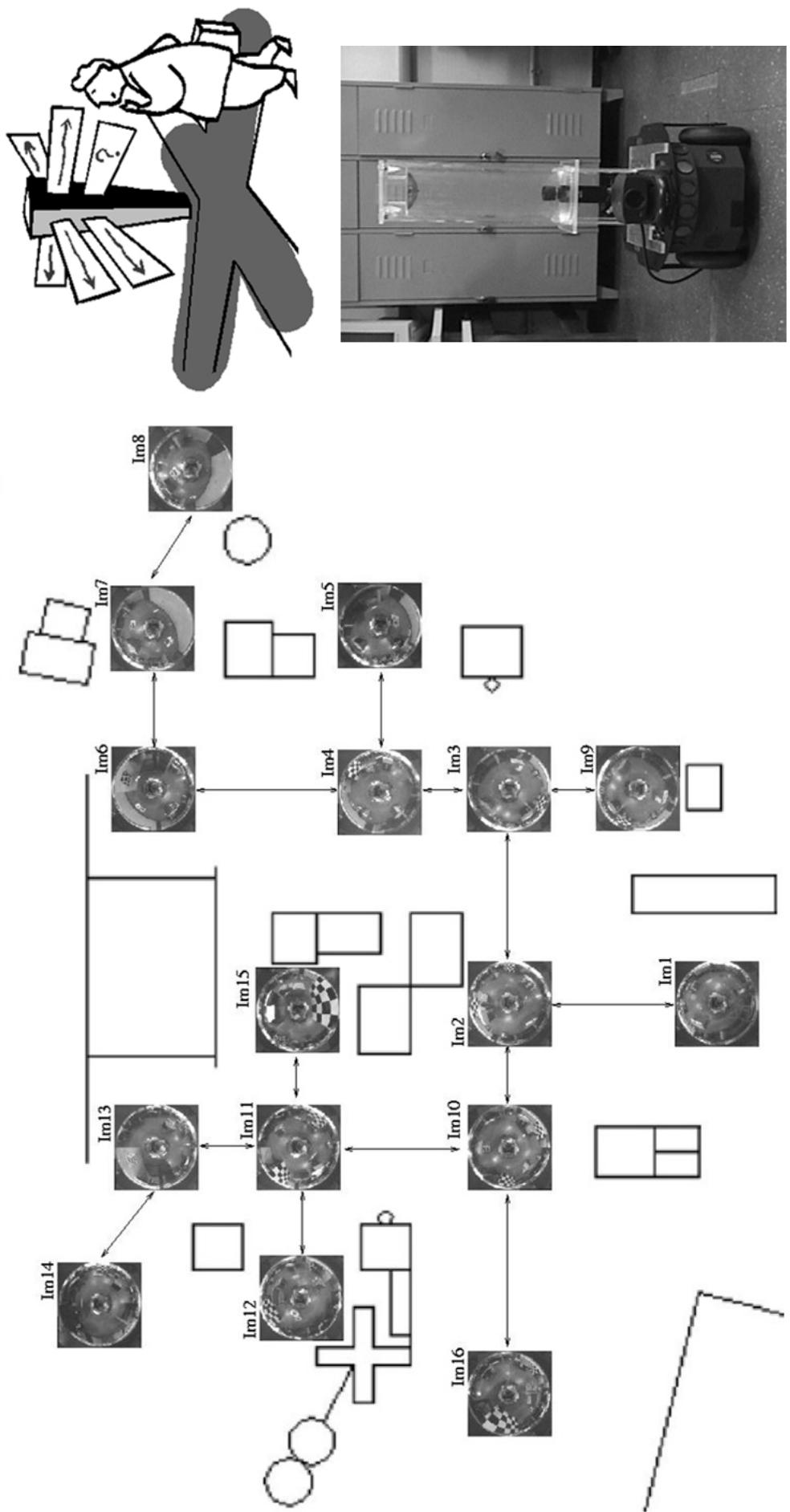
Câmera + Espelho



Visão de 360° em volta do robô



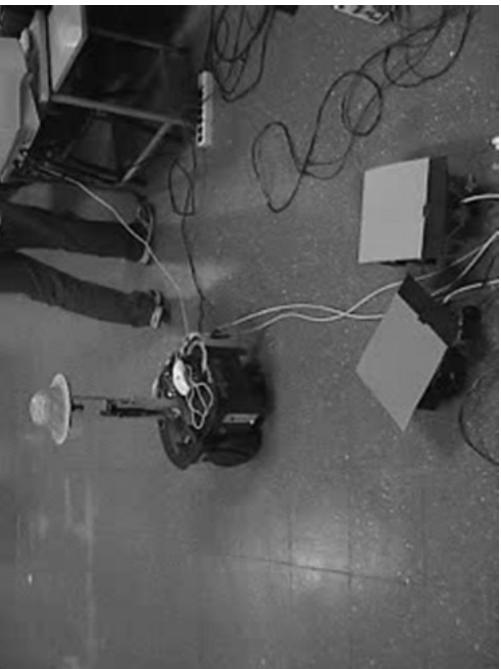
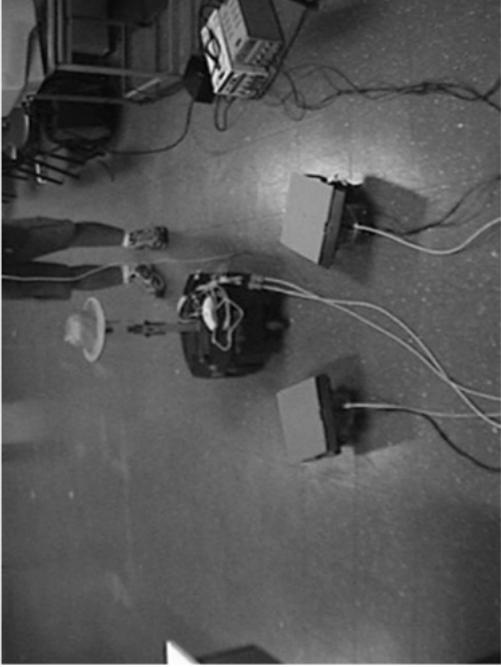
Navegação De Robôs: Mapas Topológicos



Experimentos com Robôs com Visão Omnidirecional



Experimentos com Robôs Cooperativos com Visão Omnidirecional



$$\dot{\xi}_{ci} = \|\dot{\xi}_{ri}\| \cos(\tilde{\alpha}_i)$$

onde $\tilde{\alpha}_i = \alpha_{ri} - \alpha_i$ é o erro de orientação do i-ésimo seguidor

$$f_{\tilde{\alpha}}(\tilde{\alpha}_i) = k_{\omega 1} \tanh^3(k_{\omega 2} \tilde{\alpha}_i)$$

$$\omega_{ci} = \dot{\alpha}_{ri} + f_{\tilde{\alpha}}(\tilde{\alpha}_i) + \omega_i$$

$y f_{\tilde{\alpha}}(\tilde{\alpha}_i)$ é uma função de saturação dada por:

Experimentos com Cooperação Flexível de Robôs Móveis

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CONTROLE DE FORMAÇÕES FLEXÍVEIS DE ROBÔS MÓVEIS COM
DESVIO DE OBSTÁCULOS

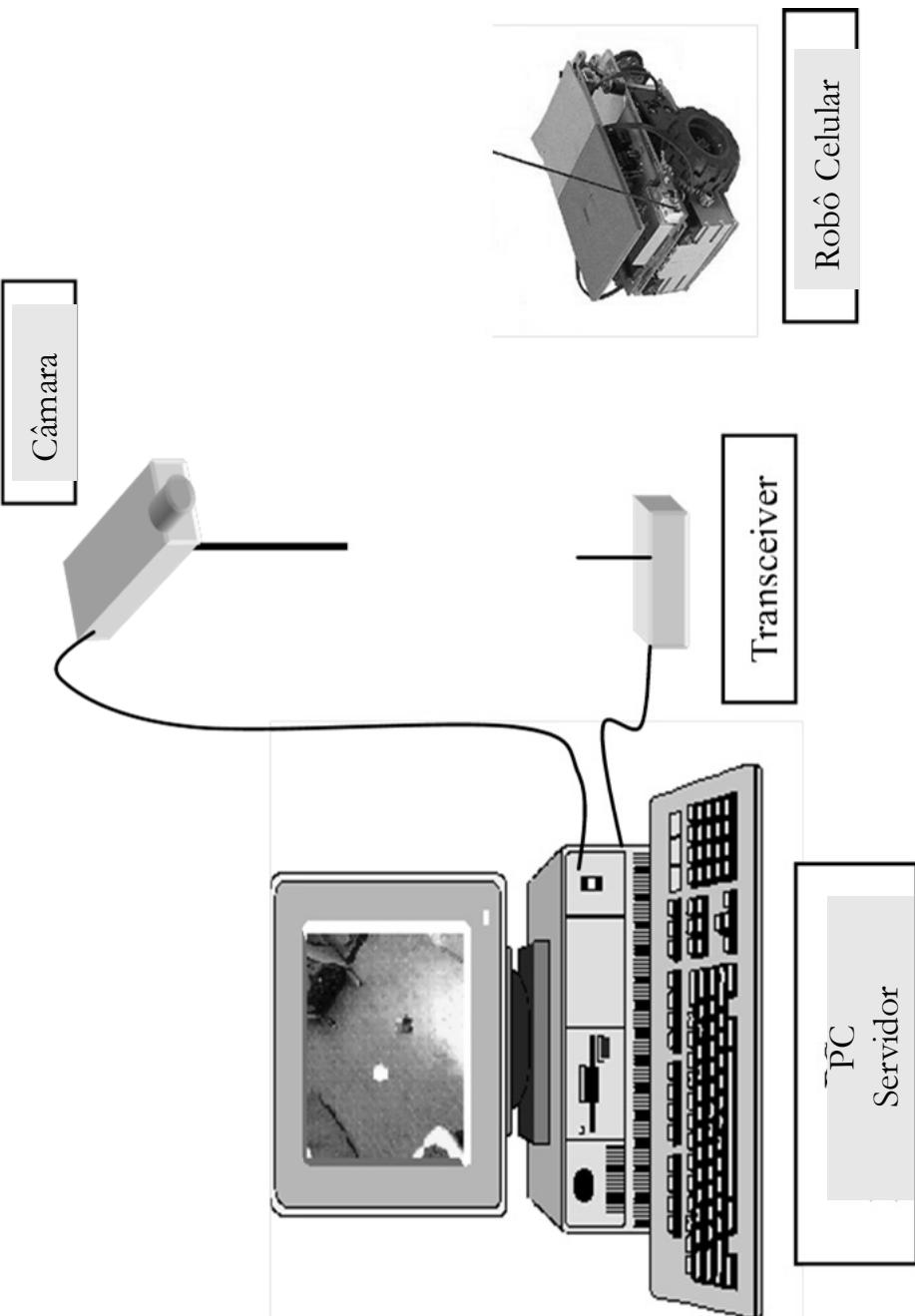
CONTROLE DE FORMAÇÕES FLEXÍVEIS DE ROBÔS MÓVEIS COM
DESVIO DE OBSTÁCULOS

Experimento: Seguimento de Trajetória com Desvio de Obstáculos

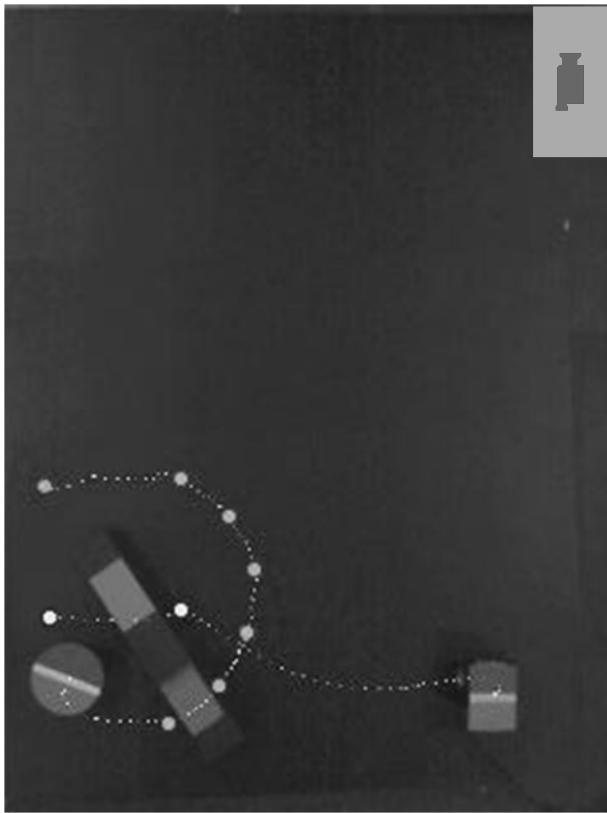
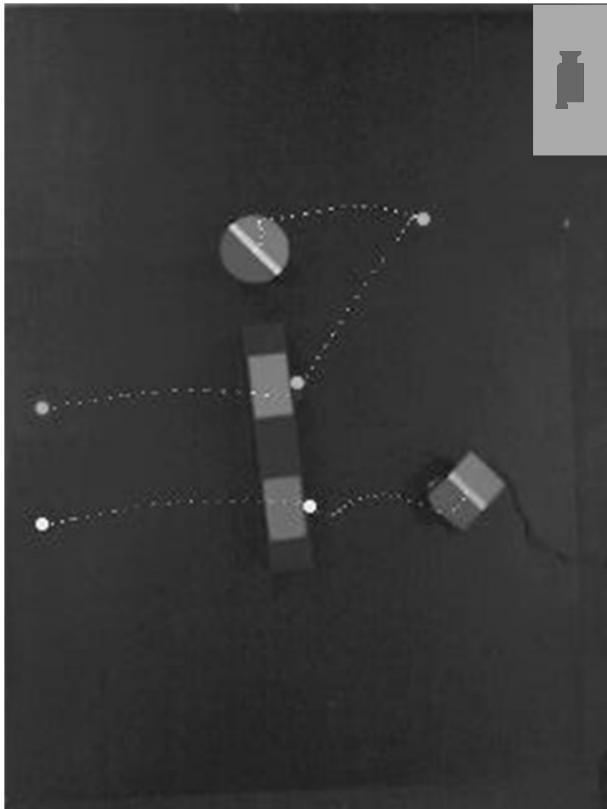
Experimento: Seguimento de Trajetória com Desvio de Obstáculos

Sistemas Multi-Robôs

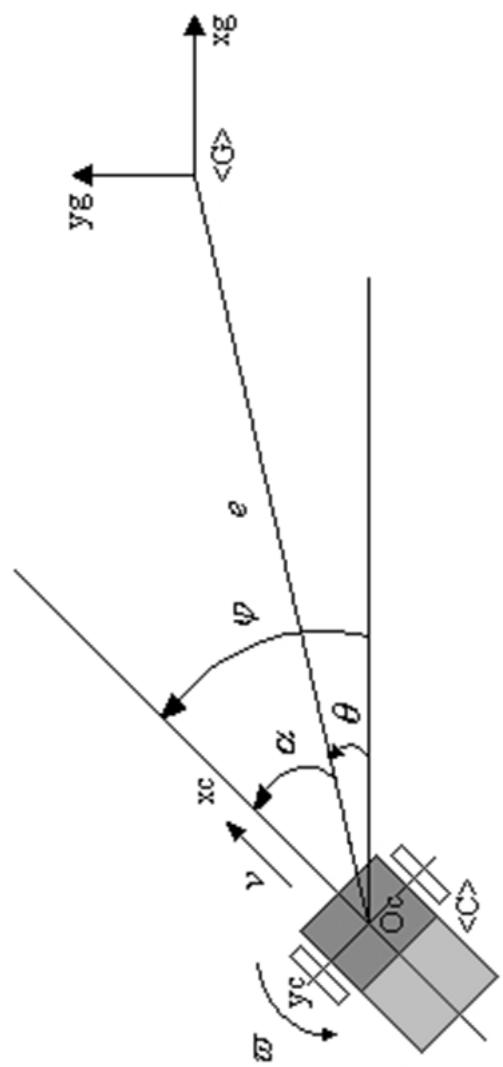
(Robôs Móveis Cooperativos)



Sistemas Multi-Robôs (Robôs Móveis Cooperativos)

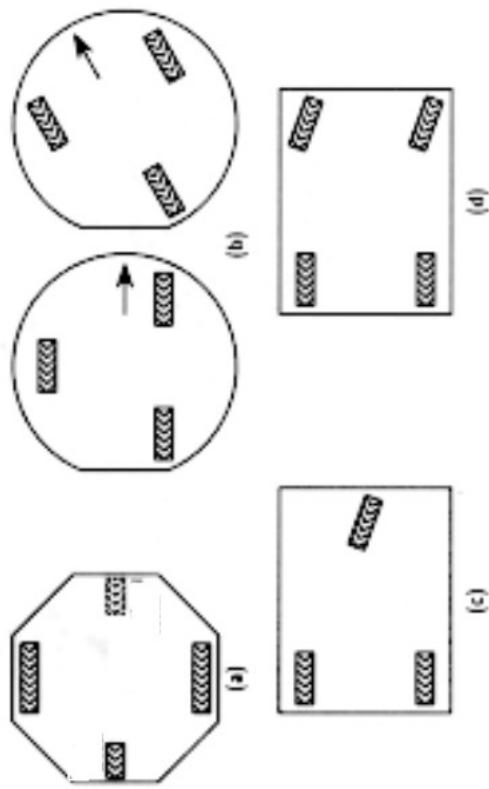


$$U_{dif} = \frac{\tau D}{KR} (k_a \alpha - k_b \omega)$$
$$U_{com} = \frac{2\tau}{KR} (k_c(e) e \cos \alpha - k_d v)$$
$$k_c(e) = \frac{k_c}{a + e} \quad , \quad k_d > 0$$



Detalhes de Robôs Móveis a Rodas

■ Tipos de arranjos de rodas

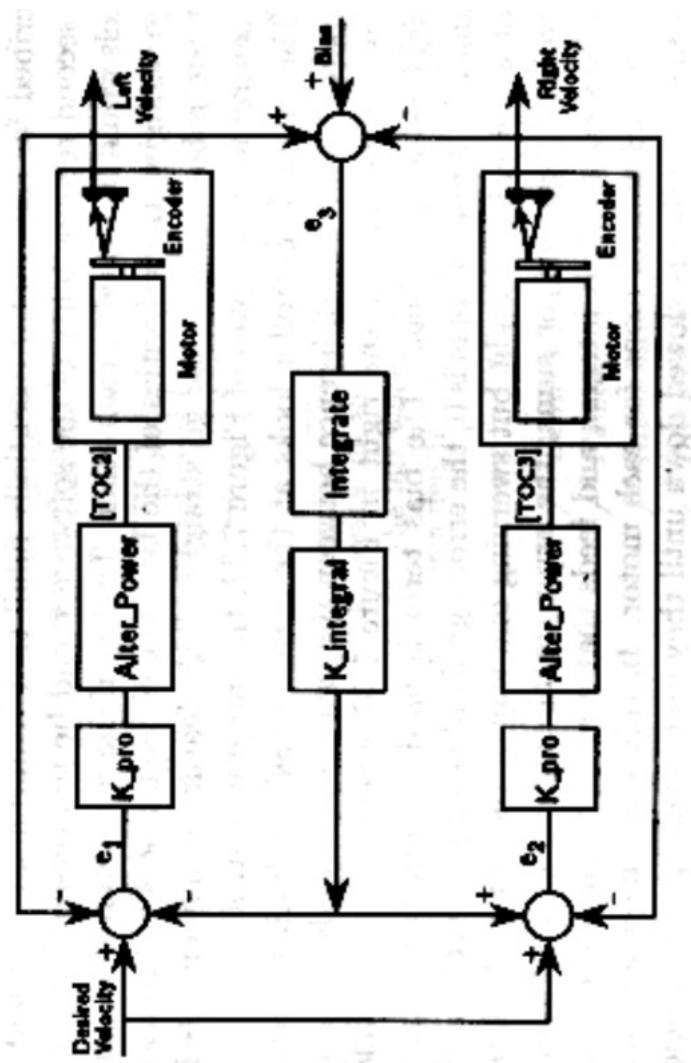
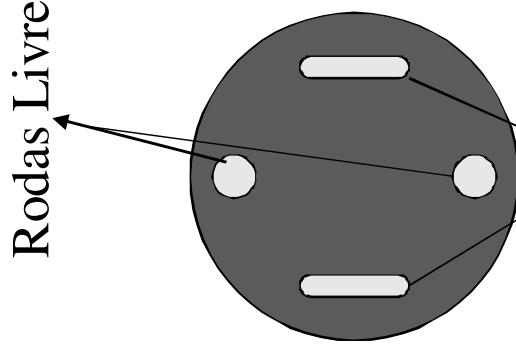


- a) tração diferencial (differential drive)
- b) tração sincro (synchro drive)
- c) tração triciclo (trycicle drive)
- d) tração carro (car drive ou Ackerman steering)

Robôs a Rodas (tração diferencial)

- Mais fáceis de construir e programar
- As rodas devem ser controladas para condução em linha reta

Rodas Livres



Rodas com tração
Diferencial

Robôs a Rodas (tração sincro)

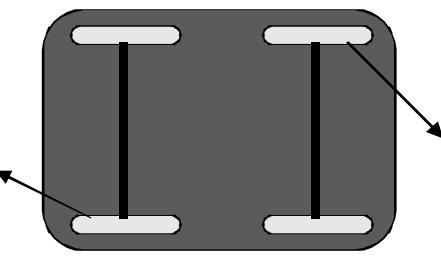
- Maior complexidade mecânica
- As rodas tracionam e guiam ao mesmo tempo



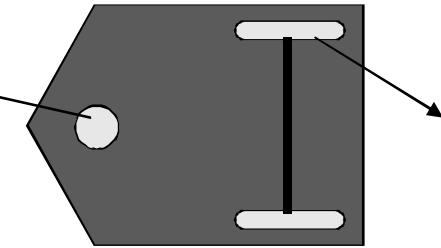
Robôs a Rodas (tração triciclo e carro)

- É necessário controlar as rodas para condução em linha reta
- Possuem três graus de liberdade no plano, mas unicamente dois parâmetros controláveis
- Sua orientação e posição estão acopladas

Eixo com rodas tracionadas

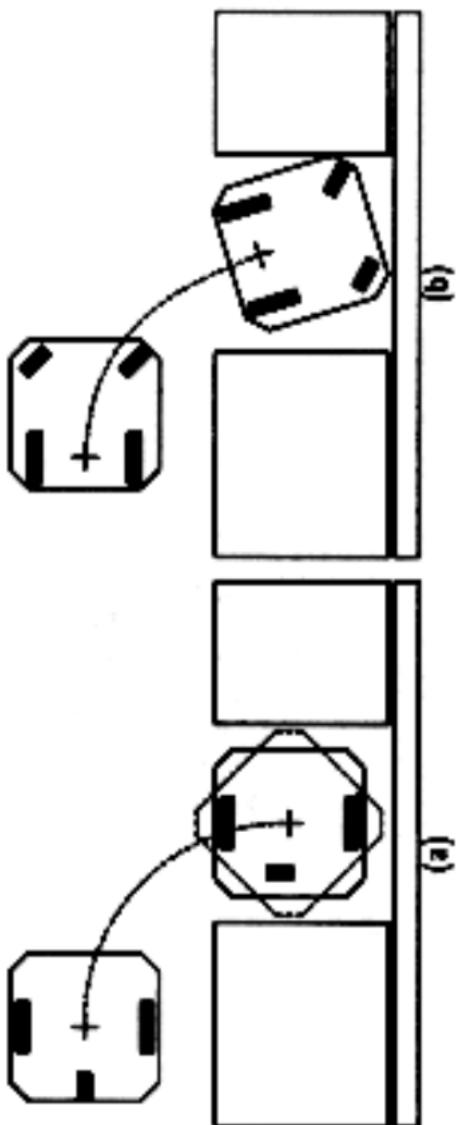
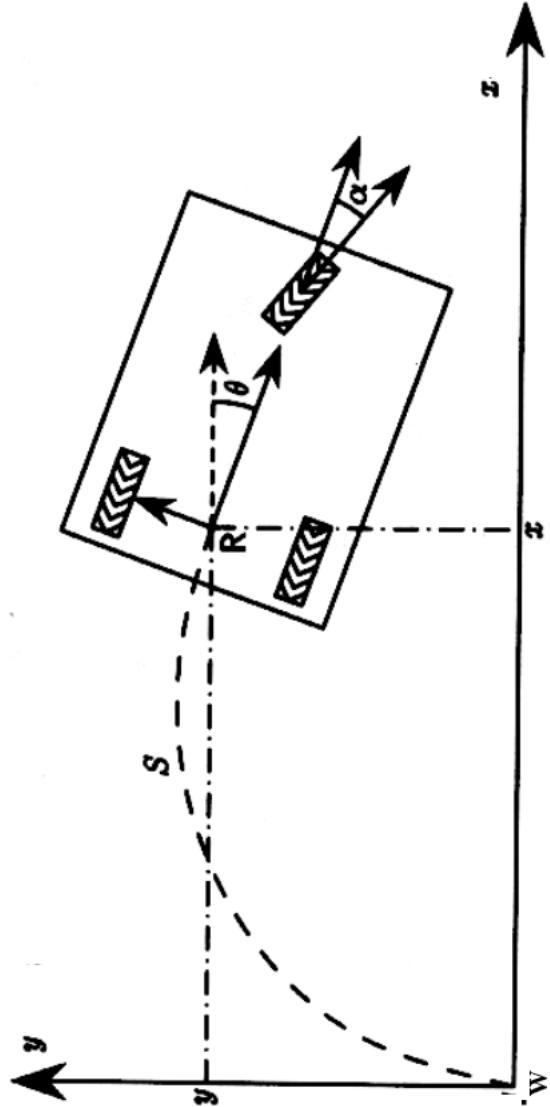


Roda Livre



Eixo com rodas tracionadas

Robôs a Rodas (tração triciclo e carro)



Sensores para Robôs Móveis

■ Podem ser Internos e Externos

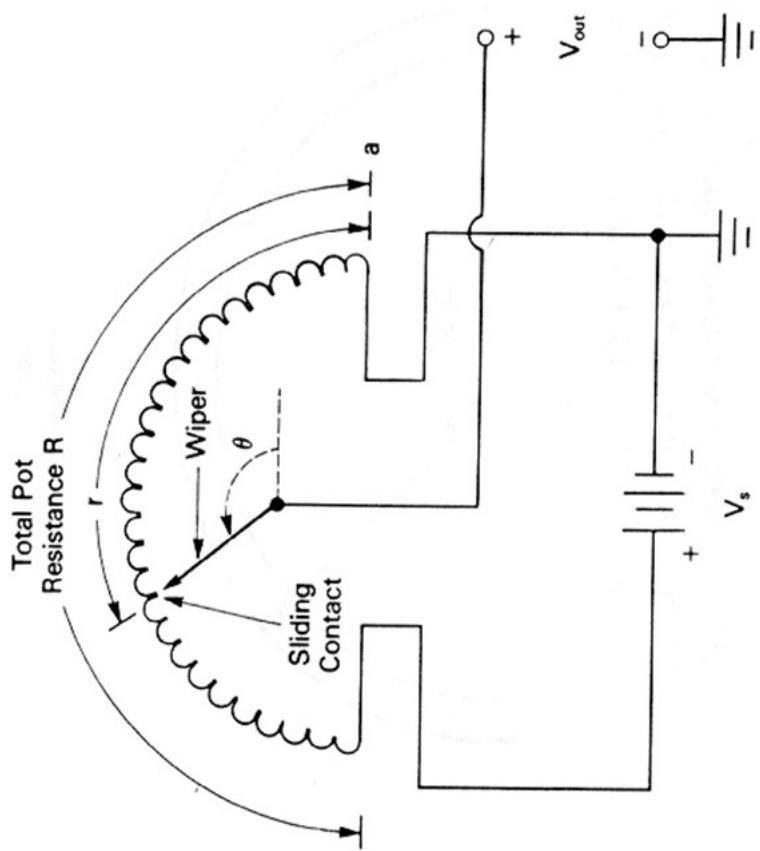
Sensores Internos

- ◊ Potenciômetro (posição)
- ◊ Codificador ou "Encoder" Óptico (posição, velocidade e aceleração angular)
- ◊ Tacômetro (velocidade): usado em robôs manipuladores
- ◊ Giroscópio (orientação e velocidade de giro)
- ◊ Bússola (orientação): para ambientes externos
- ◊ GPS (localização espacial)
- ◊ Sensor de inclinação
- ◊ Sensor de nível de bateria
- ◊ Sensor de corrente
- ◊ Sensor de temperatura

Potenciômetros (pots)

- Podem ser utilizados para medir posição

$$V_{out} = \frac{r}{R} V_s$$



Potenciômetros: exemplo de aplicação

- Medir deslocamento angular de robôs com patas



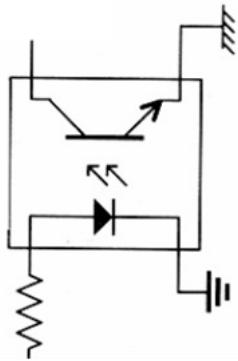
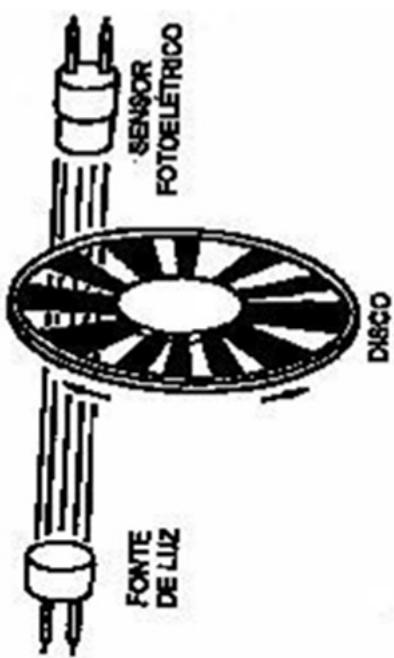
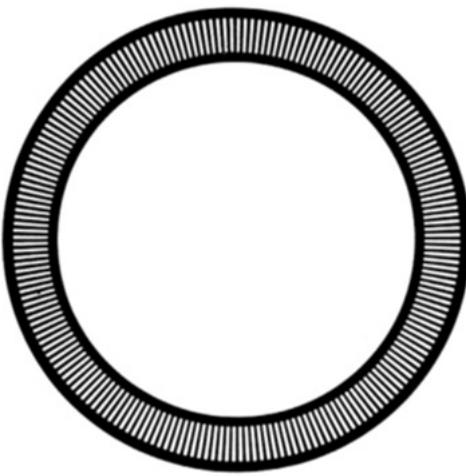
Vídeo



Codificadores (encoders) ópticos

- Podem ser utilizados para conhacer:
 - a posição de um sistema móvel
 - a velocidade (através da taxa de rotação do eixo ao qual estão acoplados)
 - a aceleração angular
- Podem proporcionar esta informação através de:
 - um código, que corresponde a uma orientação particular do eixo (encoder absoluto)
 - através de um trem de pulsos (encoder incremental)

Encoder incremental (posição)



- Normalmente consiste de um único LED e quatro fotodetectores, além de um disco que contém um único setor com n linhas radiais
- É montado sobre o eixo do motor. Quando o disco gira, a luz que chega ao receptor é interrompida por cada linha do disco. O número de pulsos indica a distância percorrida
- Site para Geração de linhas do um Encoder

Encoder incremental Estrutura Interna

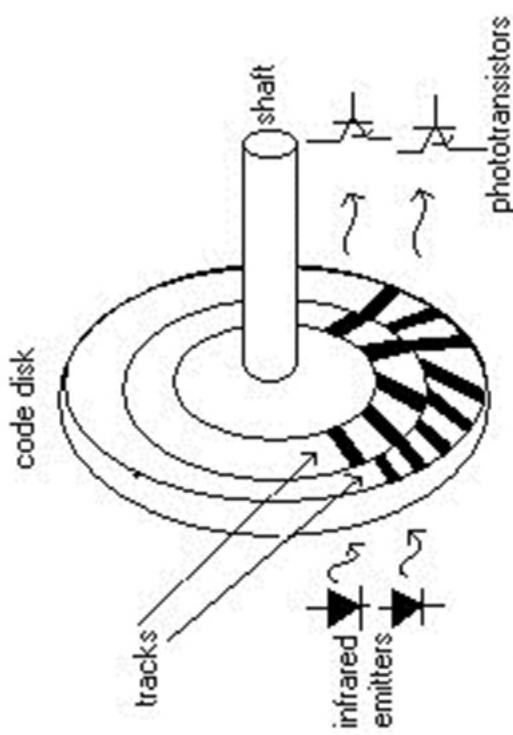


Fig 1. A rotary optical encoder

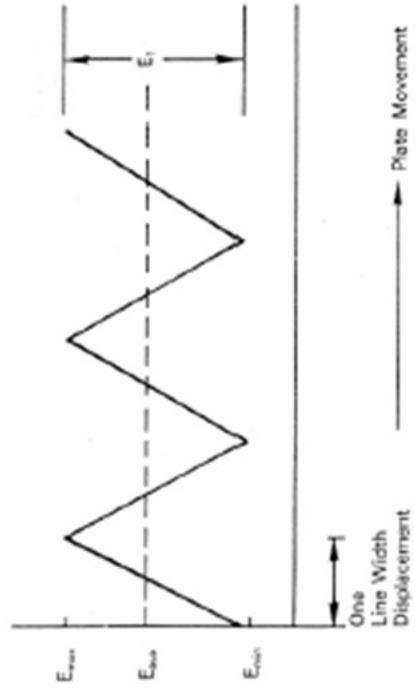
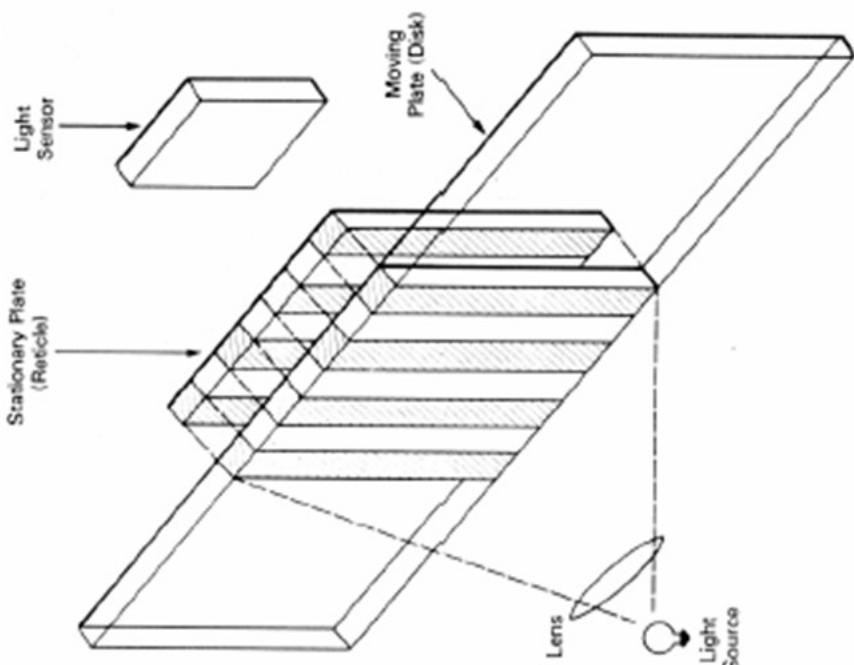
Encoder incremental (Determinação de Sentido de Rotação)



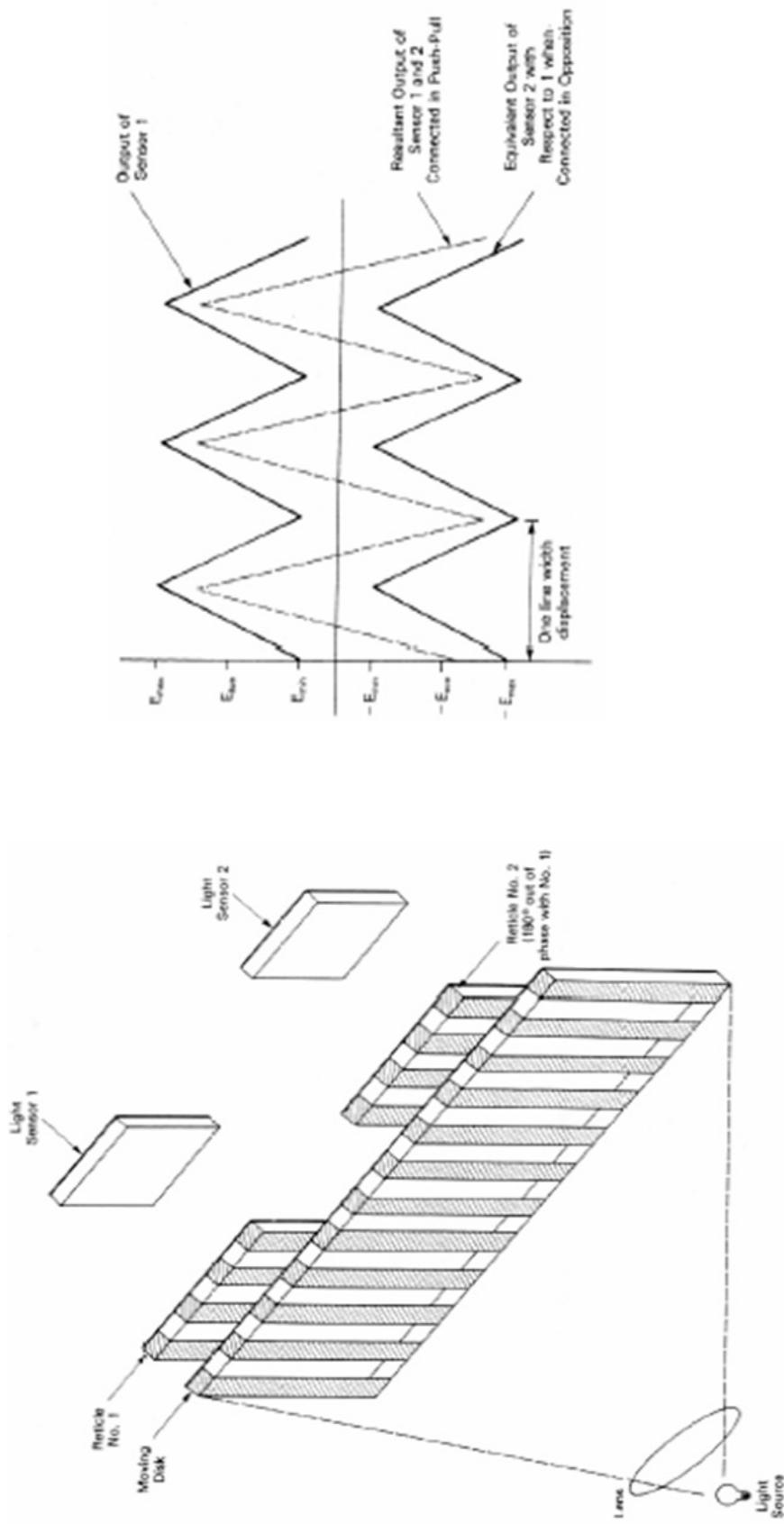
A está adiantado em relação a B (sentido horário)



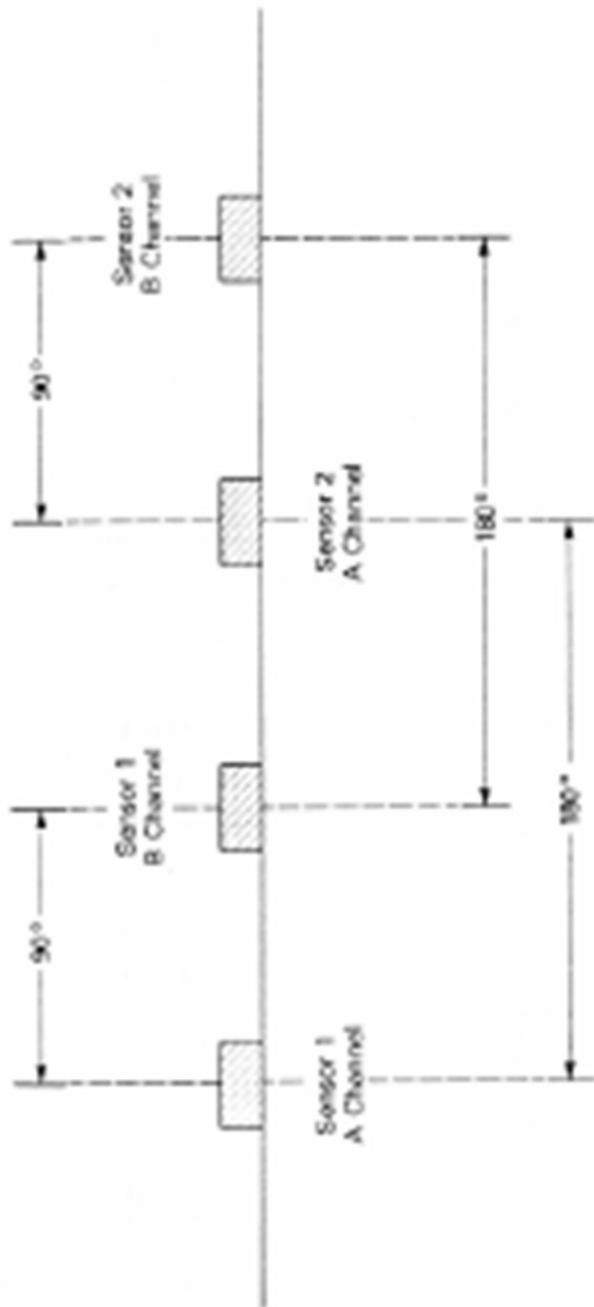
A está atrasado em relação a B (sentido antihorário)



Encoder incremental (Aumento de Sensibilidade)



Encoder incremental (Circuito Completo: 4 Fotodetectores)



Encoder incremental (velocidade)

- **Encoder e Conversor de Frequência para Tensão**

Os pulsos produzidos pelo encoder são contados periodicamente e este número de pulsos convertido para um nível CC, que é proporcional à velocidade do eixo do motor (Ex. AD451 e AD453)

- **Encoder e Software**

- 1) Ler e armazenar o valor atual do encoder $P(kT)$
- 2) Recuperar o valor prévio do encoder $P((k-1)T)$
- 3) Obter a velocidade aproximada

$$V(kT) = \frac{P(kT) - P((k-1)T)}{T}$$

- 4) Incrementar k e repetir os passos de 1 a 3

Encoder: exemplo de aplicação

- Medir deslocamento e velocidade das rodas (motor) de robôs com rodas

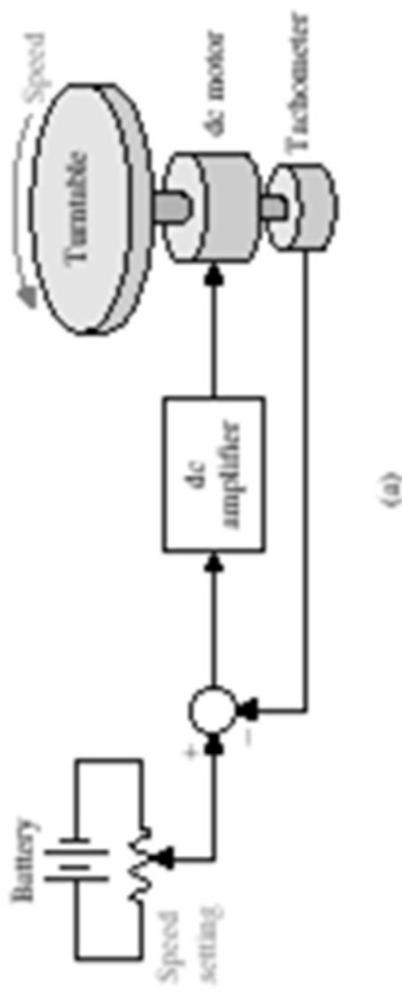


Tacômetro (*velocidade*)

- O movimento de rotação do eixo de um motor CC produz uma tensão analógica que aumenta (ou diminui) quando aumenta (ou diminui) a velocidade angular
- Os tacômetros são dispositivos projetados especialmente para este fim, e proporcionam uma tensão CC proporcional à velocidade do eixo do motor

Tacômetro (exemplo de aplicação)

- Controle de velocidade do robô manipulador SCARA, e de leitores de CD, HD, toca-fitas, etc.
- Pode-se utilizar também encoder e conversor de frequência para tensão



(a)



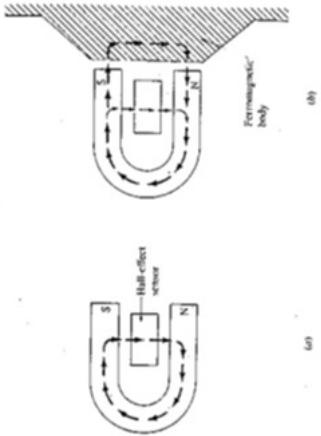
■ Vídeo

Sensor Indutivo+Engranagem

OU

Sensor de Efeito Hall+Ímã (velocidade)

- É possível utilizar um Sensor Indutivo para medir a velocidade de uma engrenagem adaptada ao eixo de um motor de um robô
- Outra alternativa é fixar um pequeno ímã no eixo do motor, e utilizar um Sensor de Efeito Hall (ou indutivo) para detectar a presença do ímã no eixo em rotação
- Para ambos os sensores, serão gerados pulsos com frequência proporcional à velocidade do eixo do motor



Giroscópio (orientação e velocidade de giro)

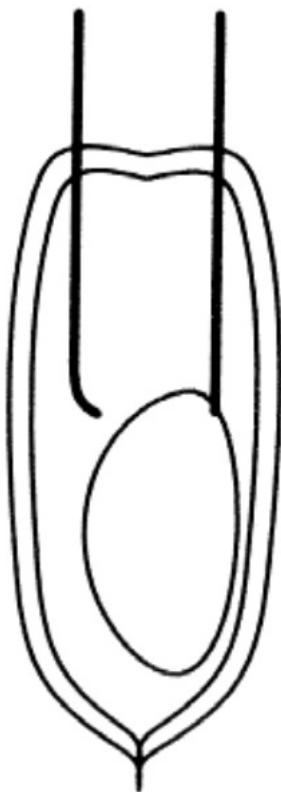
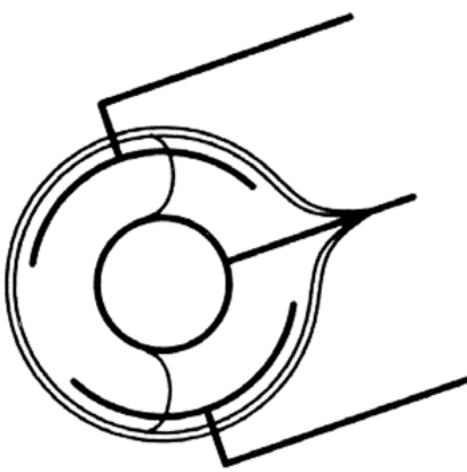
- Um giroscópio acoplado a um robô móvel permite determinar tanto a velocidade de giro do sistema quanto a quantidade girada em relação a um sistema de coordenadas fixo

Bússola (orientação)

- Proporciona orientação absoluta
- Em áreas abertas, são muito confiáveis
- Em ambientes fechados pode ser afetada por campos magnéticos de cabos elétricos e partes metálicas do ambiente

Sensor de Inclinação

- Permite a um robô móvel saber se está em nível ou inclinado em relação a uma superfície plana
- Existem vários tipos de sensores de inclinação que proporcionam o ângulo relativo entre o corpo do robô e o vetor de gravidade



■ Vídeo

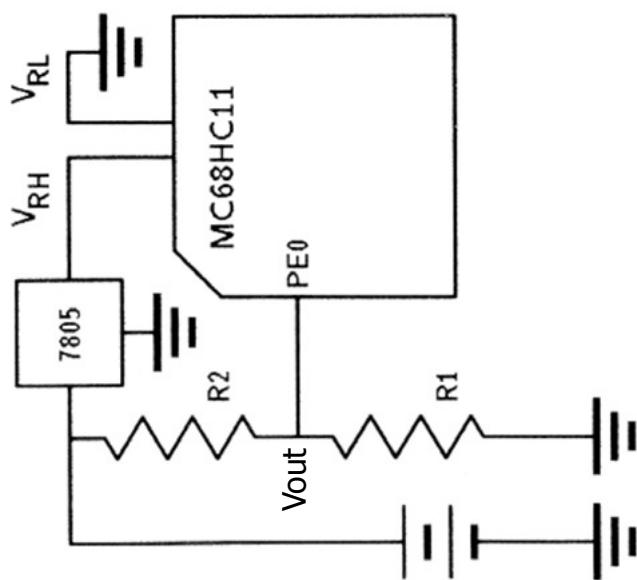
Sensor de Inclinação com Acelerômetro

- Permite o comando de uma cadeira de rodas por movimento de cabeça

Vídeo

Sensor de Nível de Bateria

- Indica ao robô móvel quando é o momento de recarregar a bateria ou de restringir operações que consomem muita energia



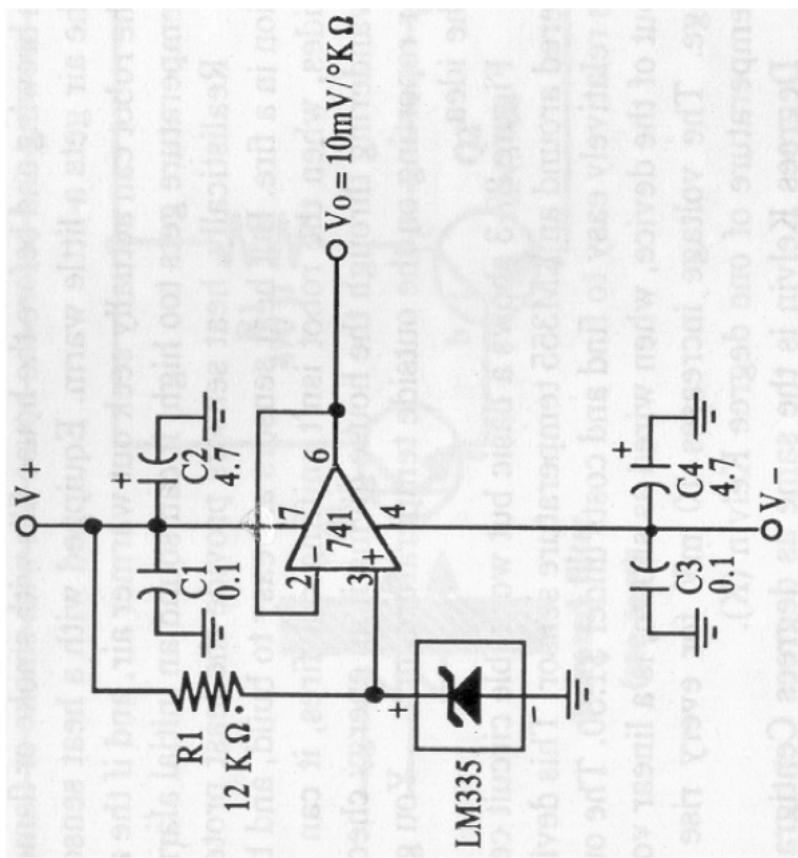
$$V_{OUT} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{BMÁX}$$

Sensor de Corrente

- Uma forma simples de detectar a corrente drenada por um motor é inserir uma pequena resistência ($\approx 1\Omega$) em série com o motor, amplificar a tensão sobre o resistor, e medir a tensão (por exemplo com um dos canais A/D do microprocessador)
- Pode-se também utilizar um sensor de efeito Hall

Sensor de Temperatura

- Permite o monitoramento da temperatura interna de um robô móvel (família LM35)
- Alguns chips de acionamento de motores já vêm com sensores de alta temperatura embutidos



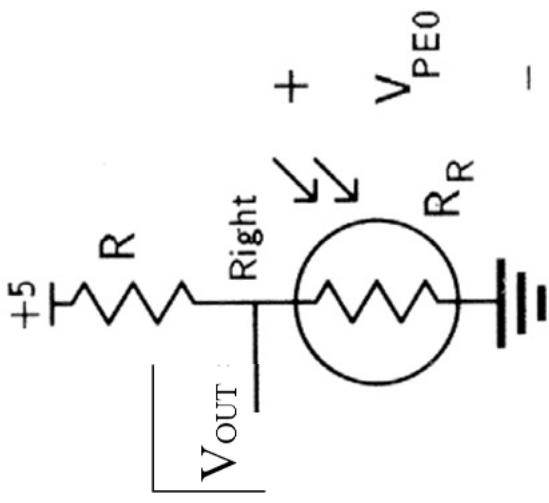
■ Vídeo ■ Vídeo ■ Vídeo

Sensores Externos

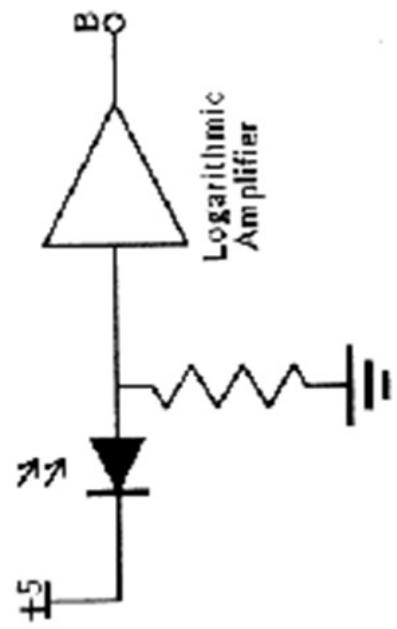
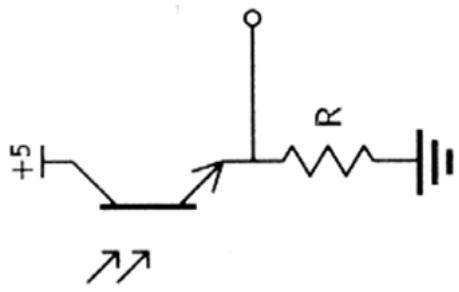
- ◊ Fotoresistor, fotodiodo, fototransistor (luz)
- ◊ Sensor de infravermelho (proximidade a obstáculos)
- ◊ Sensor piroelétrico (presença humana)
- ◊ Câmera de vídeo (imagem)
- ◊ *Strain Gages* e FSR (força)
- ◊ Micro-interruptor (contato com obstáculos)
- ◊ Sensor de curvatura (contato com obstáculos)
- ◊ Microfone (som)
- ◊ Sensor de ultrassom (distância)
- ◊ Sensor laser (distância)

Fotoresistor, Fotodiodo, Fototransistor

- Permitem acionar equipamentos, na presença ou ausência de luz, ou que um robô possa se deslocar em direção a um fonte de luz, esconder-se em um lugar escuro, etc.



$$V_{OUT} = \frac{R_R}{R + R_R} \cdot 5$$



■ Vídeo

■ Vídeo

Exemplo de Uso de Fotoresistor (LDR)

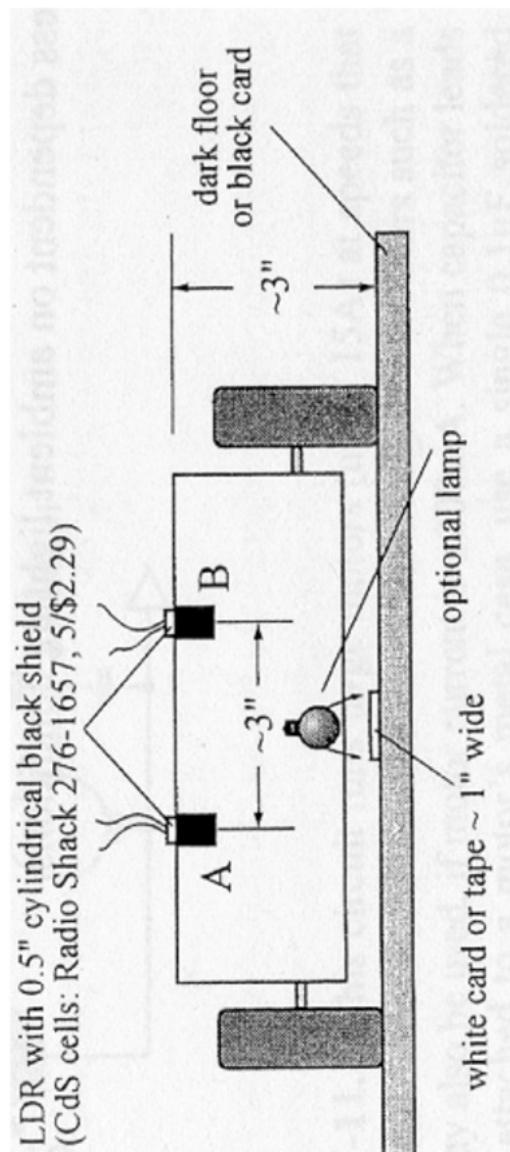
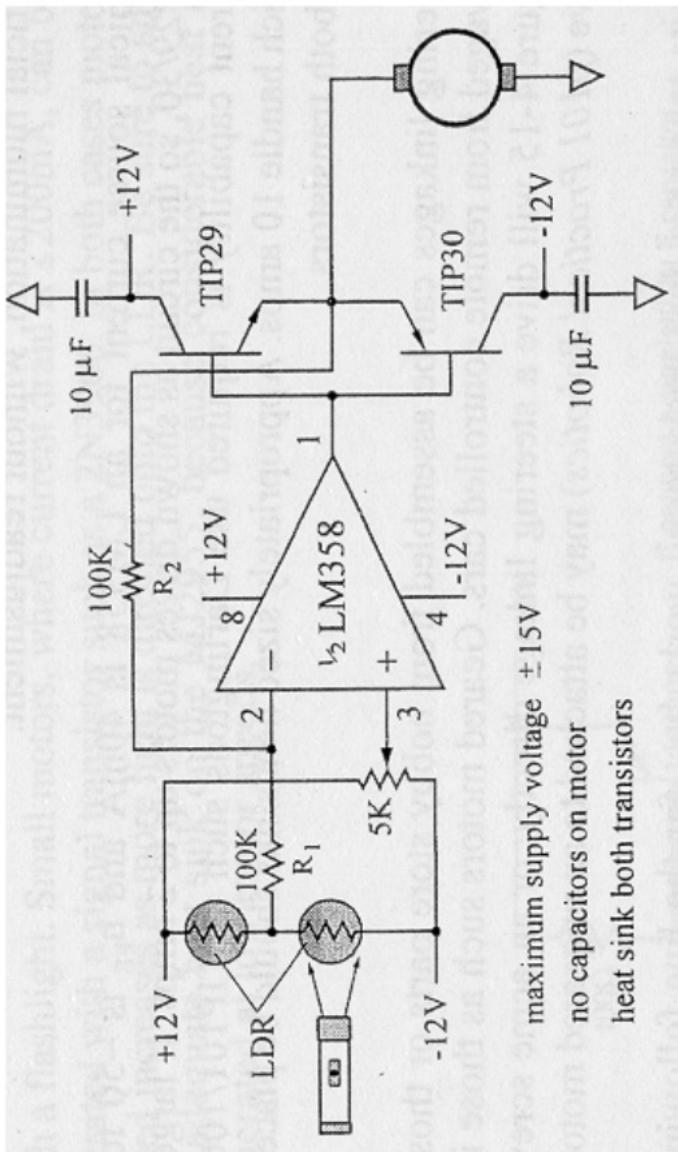
- Seguir Fonte de Luz -

Vídeo

Vídeo

Vídeo

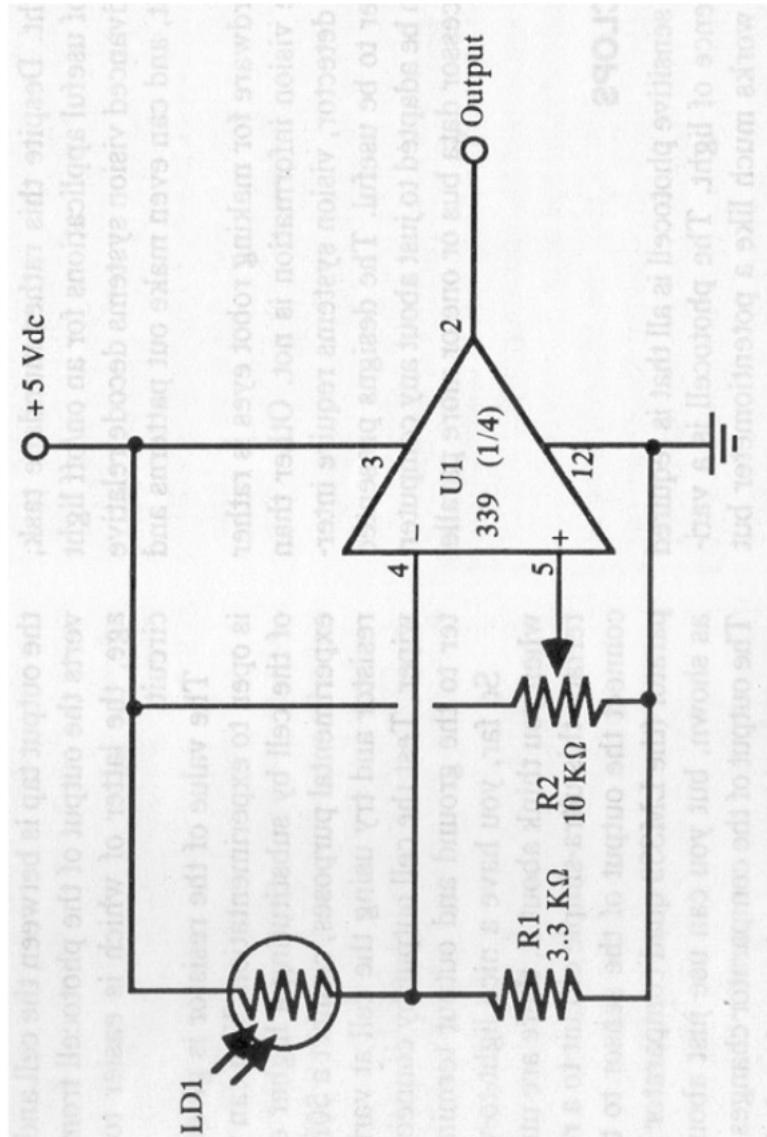
Vídeo



Exemplo de Uso de Fotoresistor (LDR)

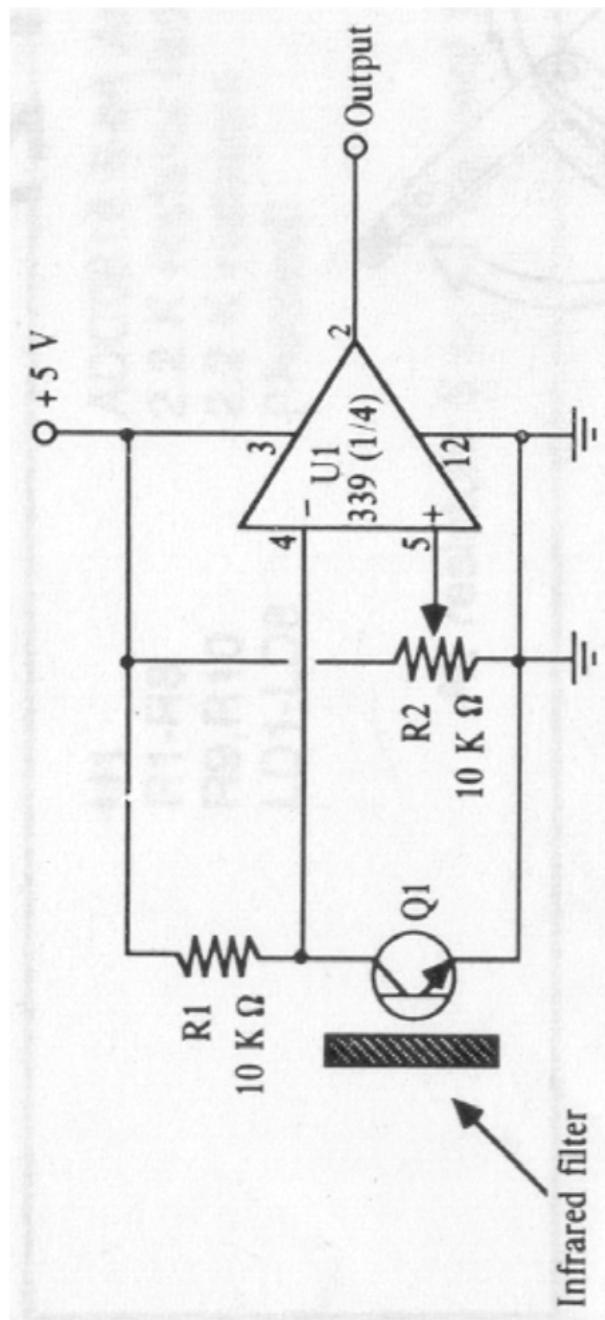
- Sensor de Luz -

■Vídeo



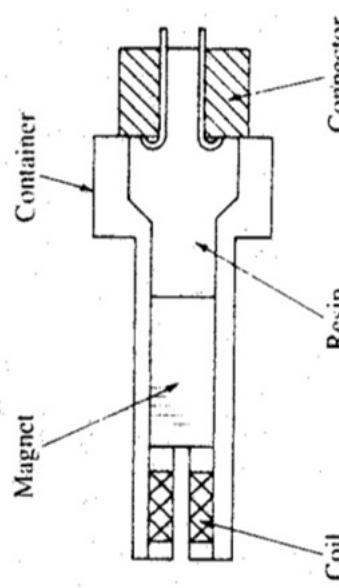
Exemplo de Uso de Fototransistor

- Sensor de Fogo -

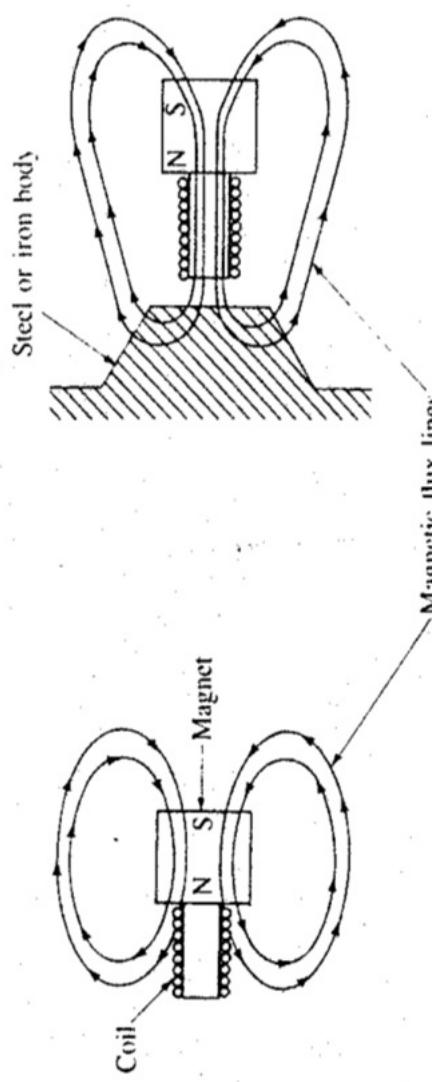


Sensor Indutivo

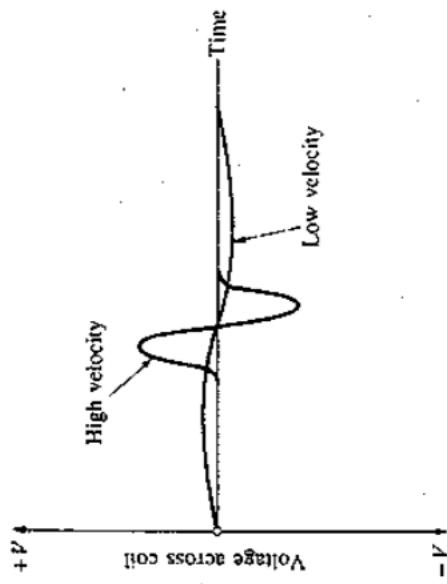
- Produzem uma variação na indutância na presença de objetos metálicos



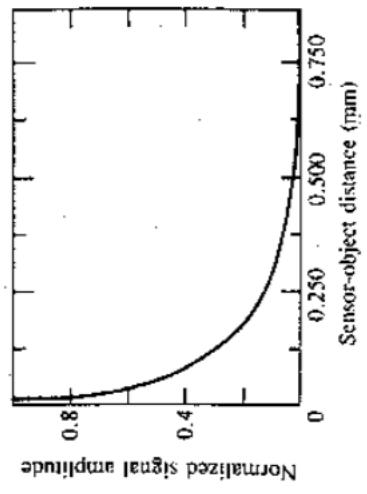
(a)



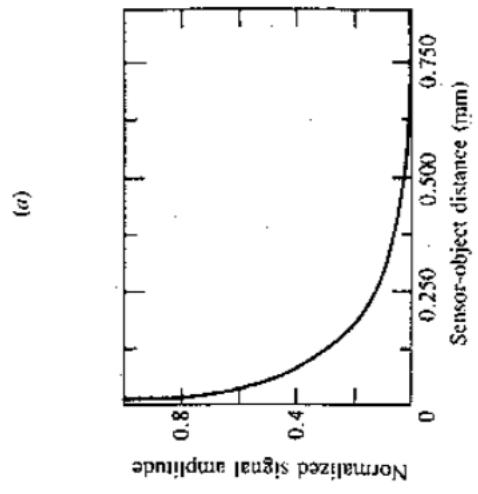
(b)



(a)

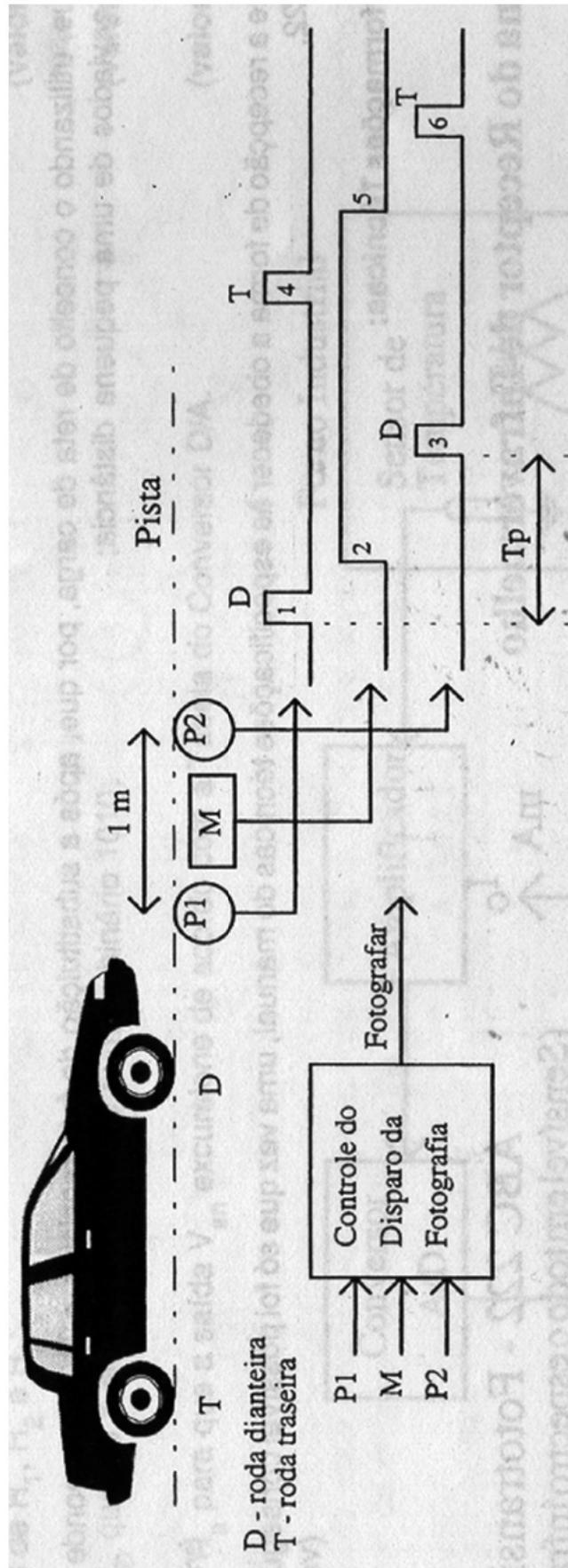


(b)



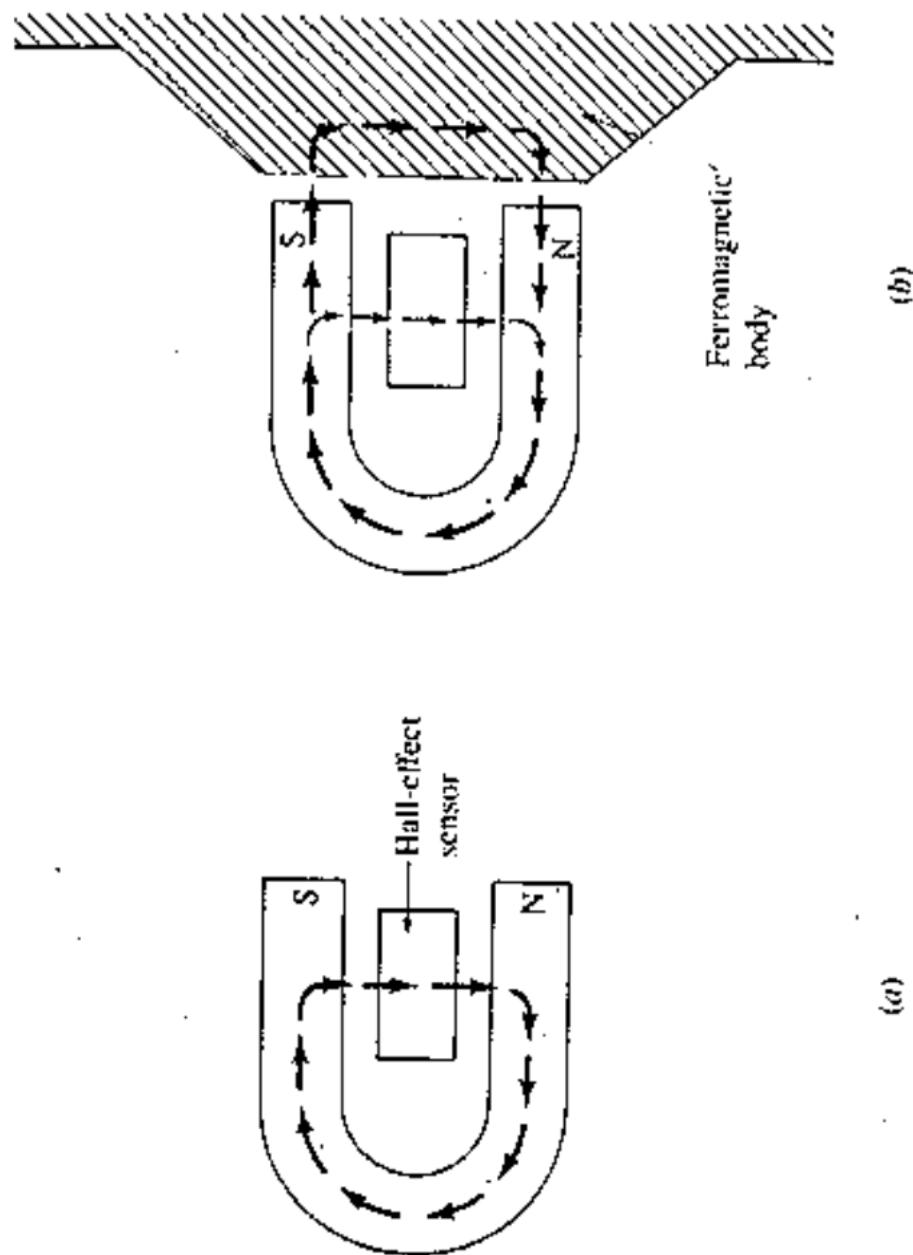
(c)

Sensor Indutivo: Exemplo de Aplicação



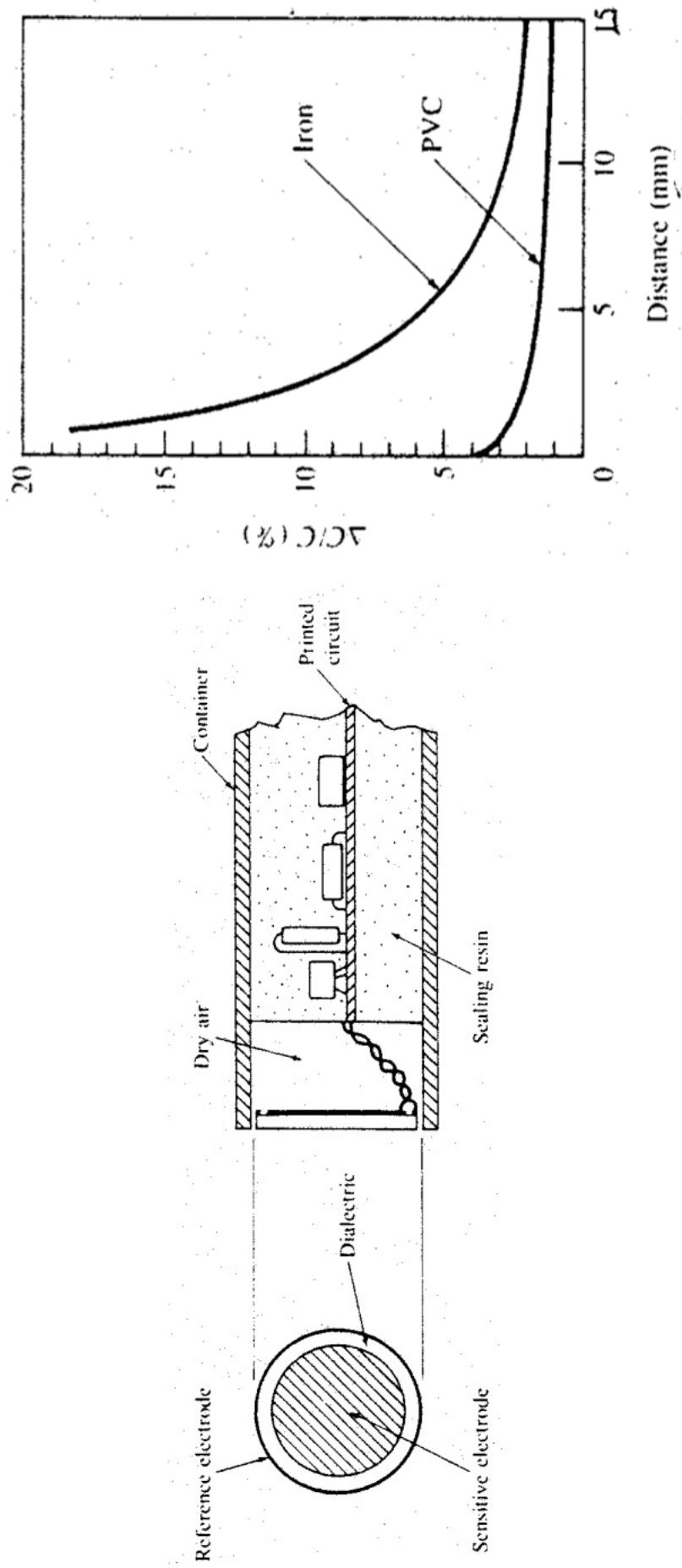
Sensor de Efeito Hall

- Utilizados para detecção de materiais ferromagnéticos



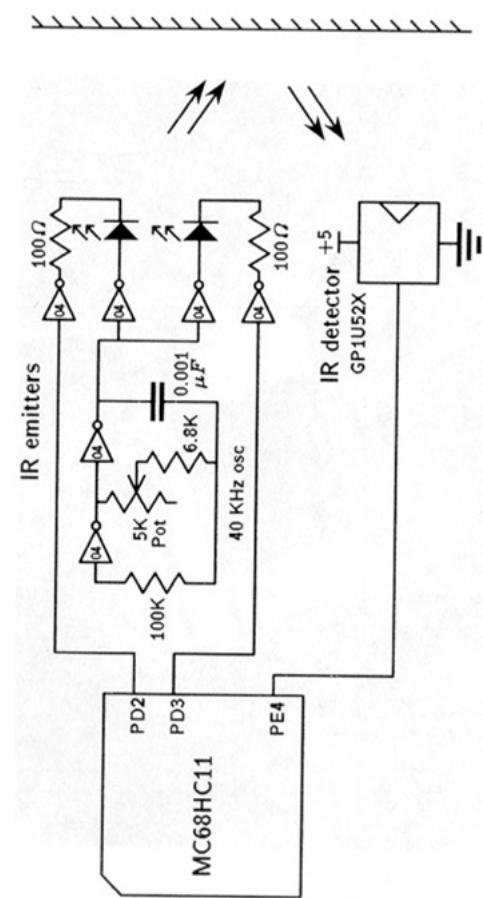
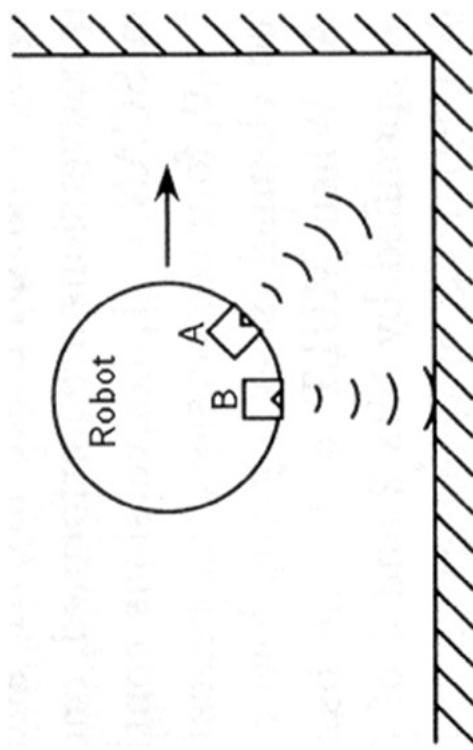
Sensor Capacitivo

- São capazes de detectar todos os materiais sólidos e líquidos
- Utilizados em botões de chamada de elevadores



Sensor de Infravermelho

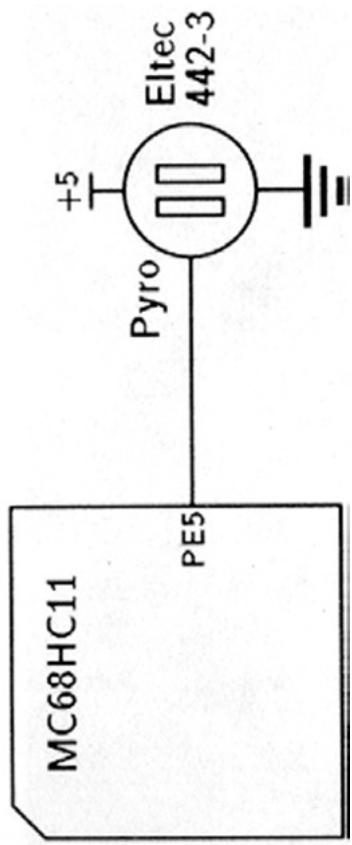
- Podem ser utilizados para que um robô detecte objetos próximos ou siga paredes
- Também são utilizados em sistemas de segurança



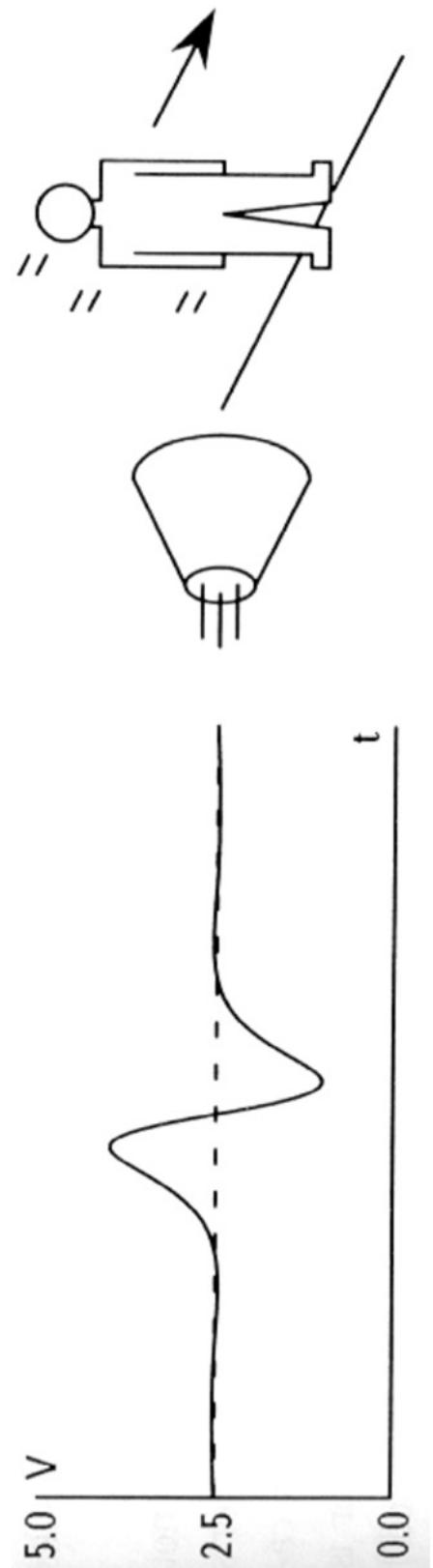
Vídeo

Sensor Piroelétrico

- Permite a detecção da presença de seres humanos
- Pode ser utilizado para detecção de carros e seguimento de pessoas

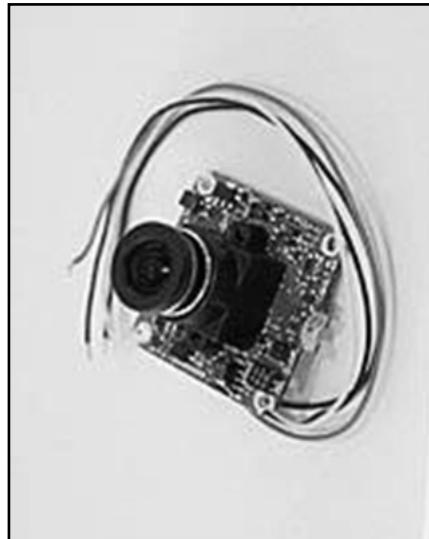


Vídeo



Câmera de Vídeo

- Uso em sistemas de vigilância e robótica
- Transmissão de imagem por ser feita por cabo ou transmissor de vídeo



Mini-Câmara da Sony

Transmissor de TV OARSMAN



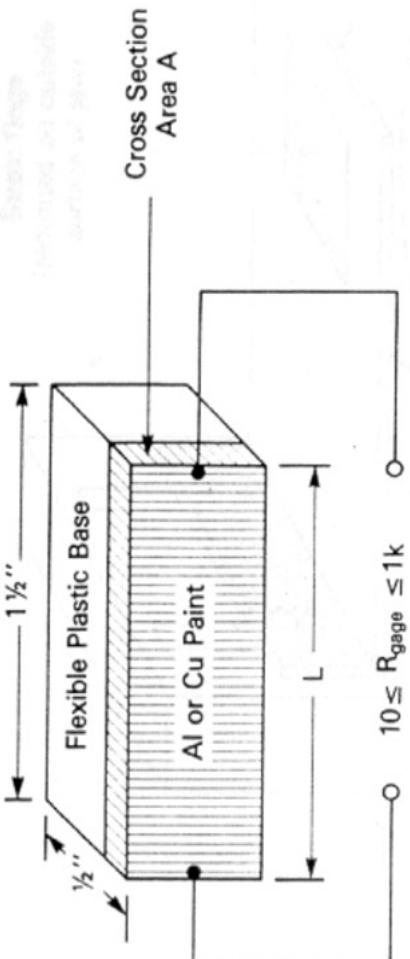
•O Rug Warrior é um robô móvel a rodas comprado pelo LAI para estudos de Robótica

•Pode ser teleoperado, inclusive pela Internet, ou navegar autonomamente.

Sensor de Força

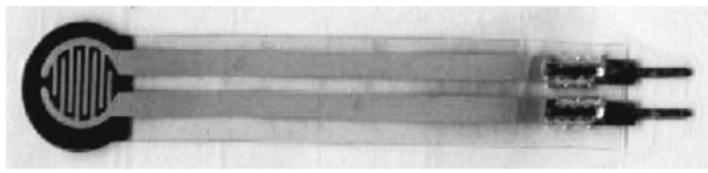
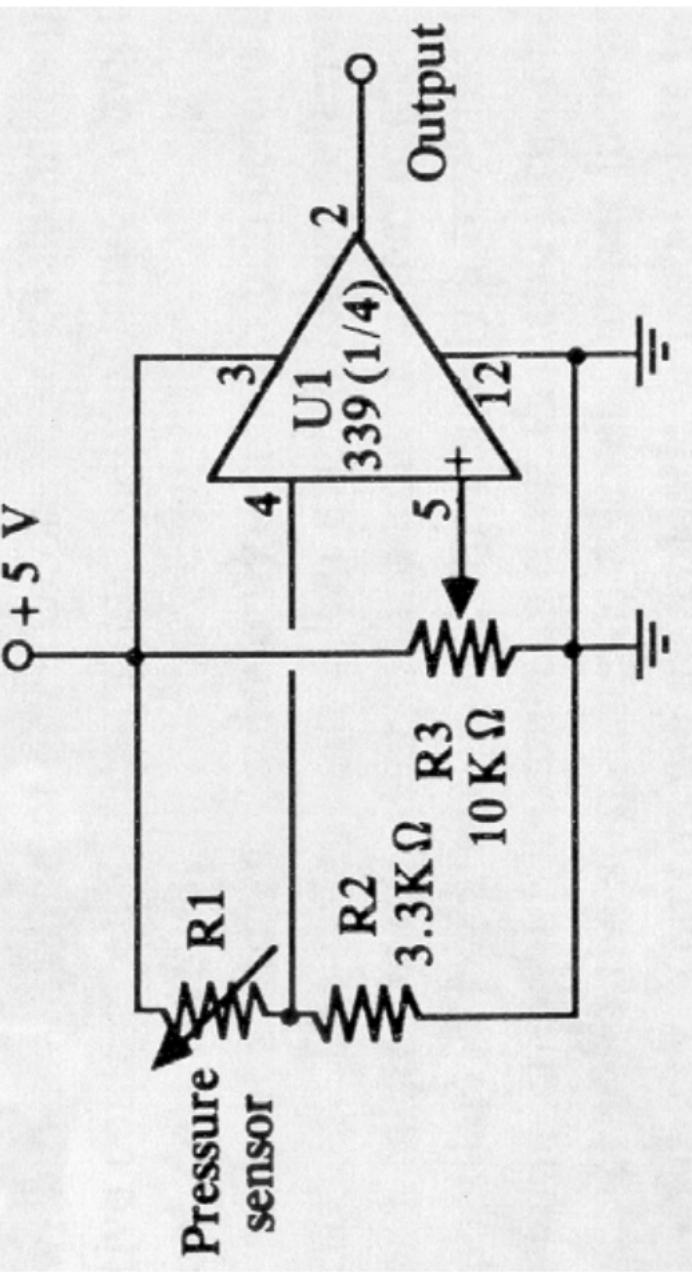
- Strain Gages (extensômetros): Consiste de uma base de plástico (ou outro material flexível, não condutor) cuja superfície superior está recoberta por uma fina camada de material condutor
- FSR (Force Sensing Resistor): resistor cuja resistência varia com a força exercida sobre o sensor
 - O princípio fundamental de operação é que uma deformação mecânica produz uma variação de resistência, que está relacionada com a força aplicada

$$R_g = \frac{L}{\sigma \cdot A}$$



■ Vídeo

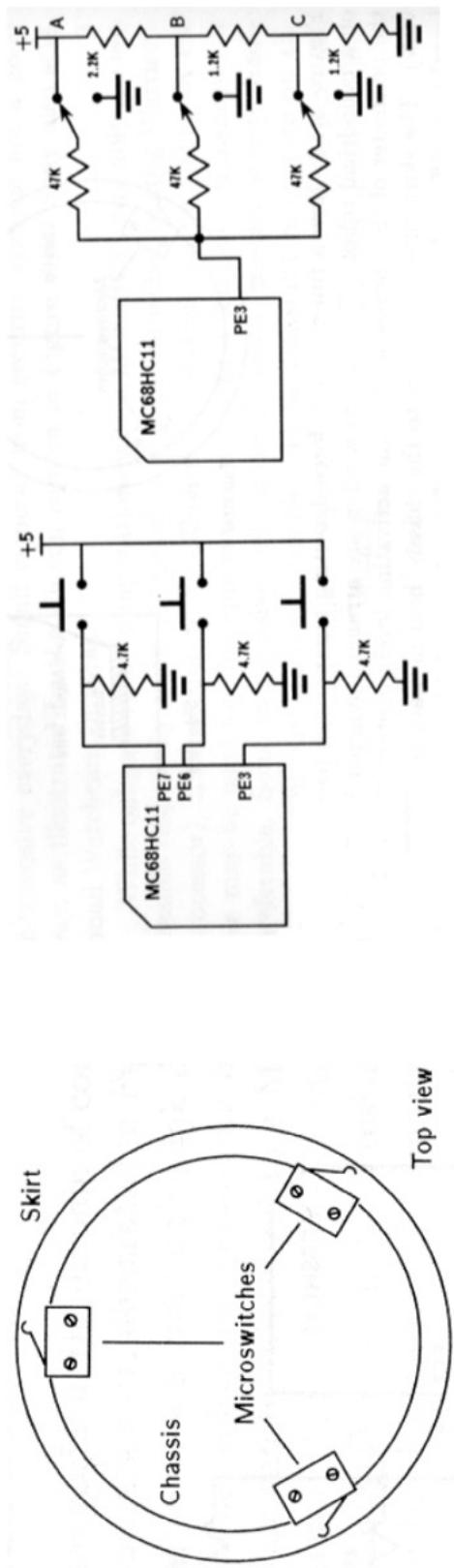
Exemplo de Uso de Sensor de Força (FSR)



Interruptor

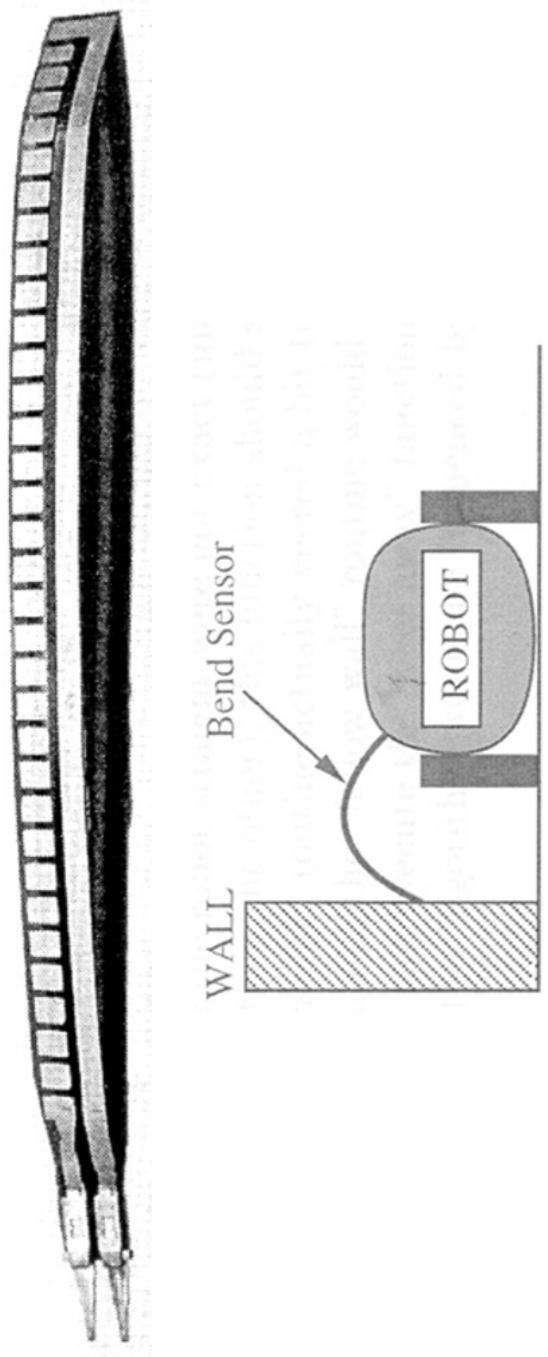
Permite detecção de contato

Podem ser adaptados ao pára-choque de um robô para sinalizar quando o robô se choca com um obstáculo e onde está o obstáculo



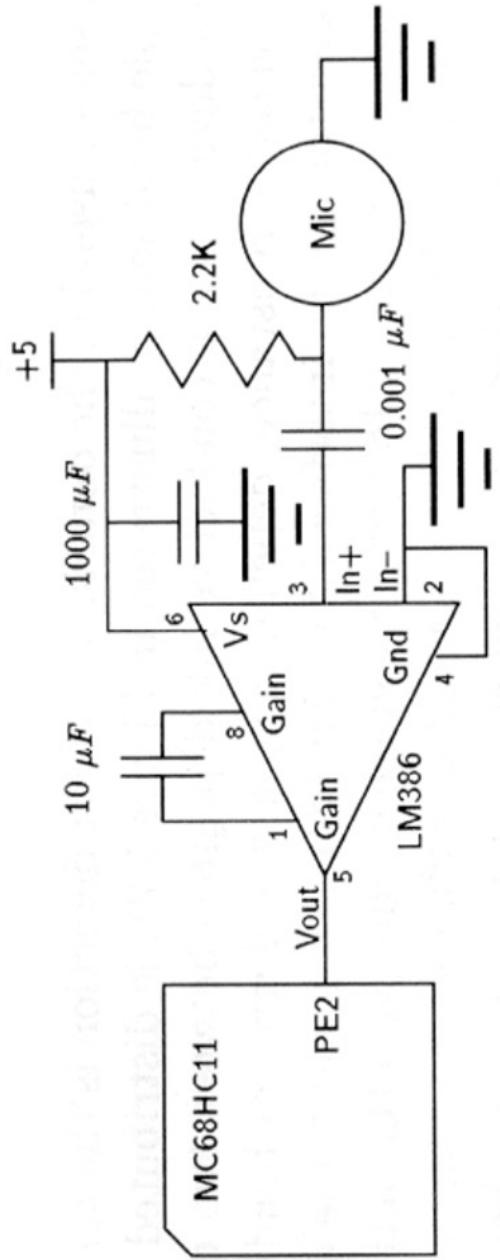
Sensor de Curvatura

- É outro tipo de sensor usado para detecção de contato ou choques com obstáculos
- Este dispositivo utiliza uma tinta condutora depositada entre os eletrodos para proporcionar uma resistência variável, dependendo do grau de curvatura



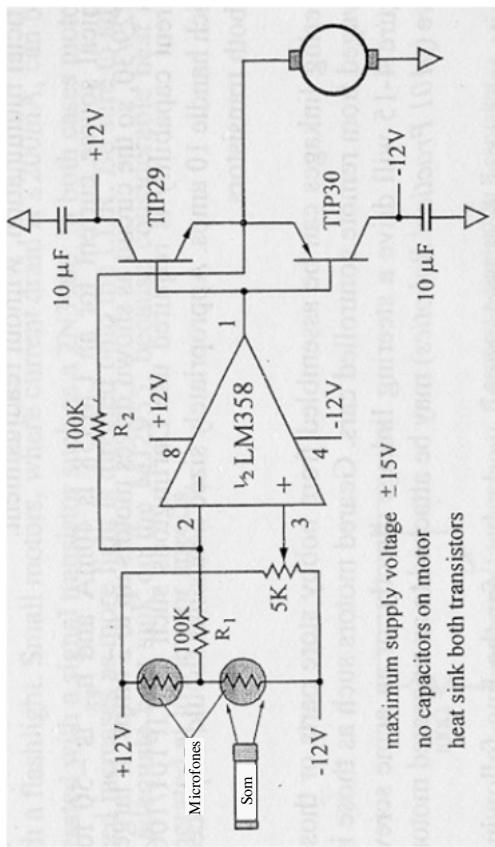
Sensor Acústico: Microfone

- São dispositivos que transformam energia mecânica (som) em energia elétrica (tensão)
- Permite que um robô móvel:
 - move-se em direção a um ruído
 - atenda a um determinado som padrão
 - localize a posição de uma fonte sonora em um ambiente
- Uso em alarme sonoro e amplificador de áudio



Microfone: Exemplo de Aplicação

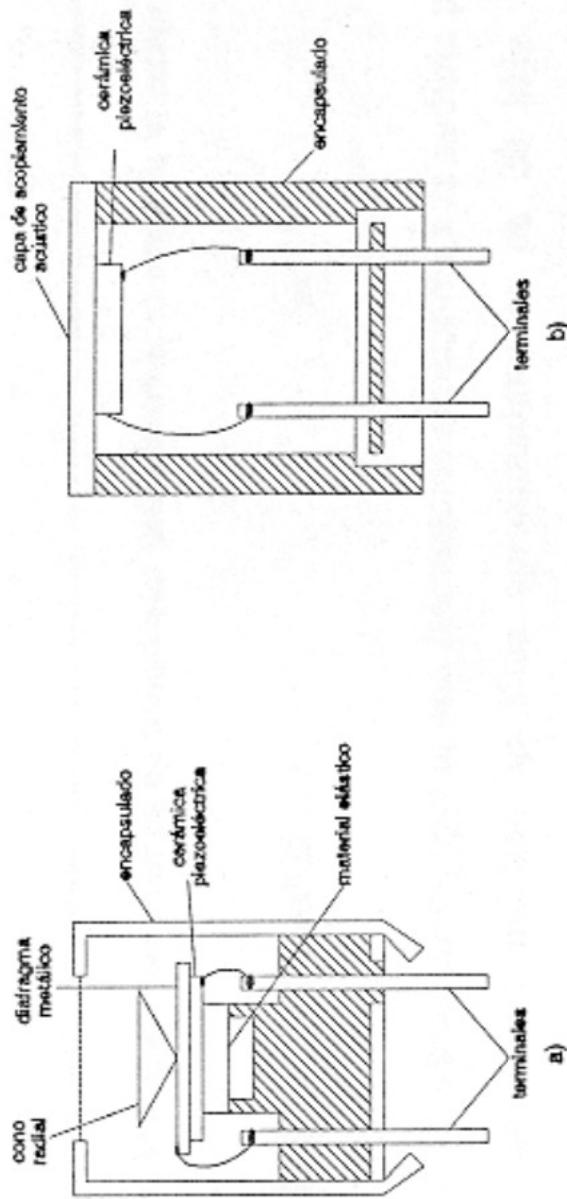
- Sensor de Som Diferencial



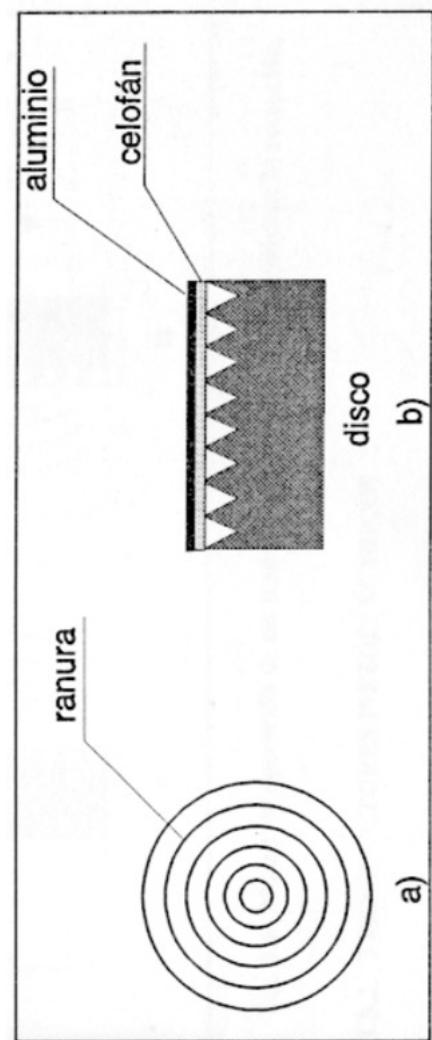
Sensor Acústico: Sensores de Ultrassom

- Podem proporcionar informação de distância, através da medida do tempo de vôo entre a excitação do transdutor e a recepção do eco
- Com esta informação, o robô pode detectar obstáculos, navegar em um ambiente, localizar objetos e construir mapas do ambiente onde opera
- Podem ser baseados no efeito piezelétrico ou eletrostático

Sensor Acústico: Sensores de Ultrasound

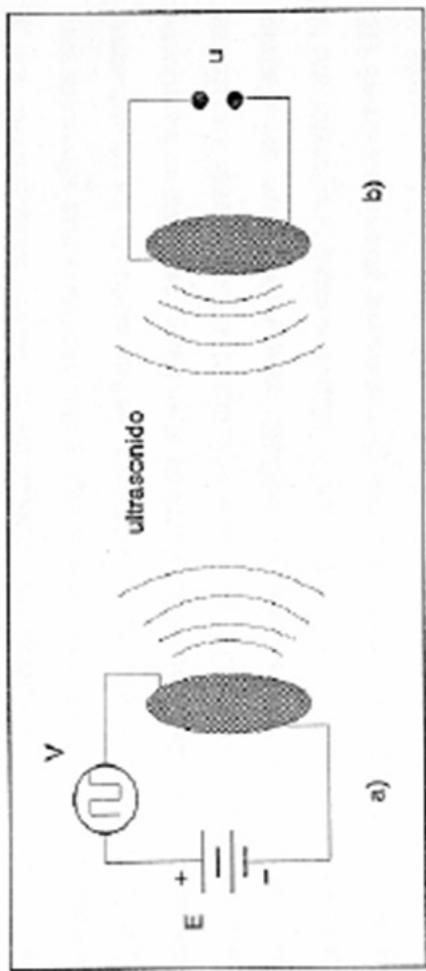


Transdutores Piezelétricos

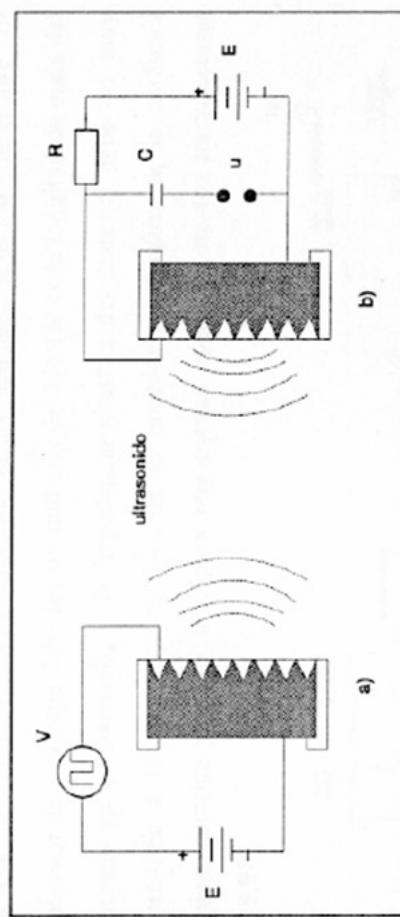


Transdutor Eletrostático

Sensores de Ultrassom: Circuitos de Excitação



Transdutor Piezelétrico



Transdutor Eletrostático

Sensores de Ultrassom: Velocidade de Propagação

Velocidade de propagação no ar (c, em m/s):

$$c = \sqrt{\gamma R \frac{T_k}{M}}$$

Onde γ é a constante adiabática dos gases, R é a constante universal dos gases perfeitos, M é a massa molecular do gás e T_k é a temperatura (em Kelvin)

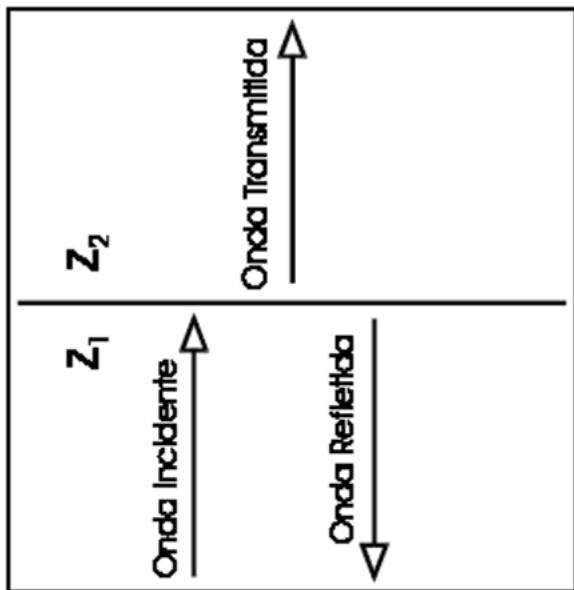
No caso do ar, uma equação aproximada que relaciona a velocidade da onda (c em m/s), com a temperatura (T em °C), é

$$c = V_0 + 0,61T$$

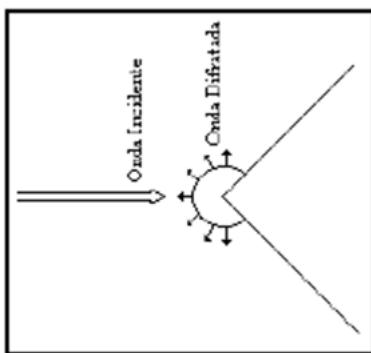
Onde V_0 é a velocidade de propagação da onda acústica a zero graus celsius (331,5 m/s)

Sensores de Ultrassom: Reflexão de ondas

No ambiente de operação de robôs móveis, as superfícies existentes são especulares, ou seja, comportam-se como um “espelho”, pois refletem praticamente 100% da onda incidente.



Entretanto, quando a onda acústica atinge um obstáculo de dimensões comparáveis ao comprimento de onda da onda incidente, acontece um fenômeno denominado de difração, que consiste na dispersão da onda



Sensores de Ultrassom:

Atenuação da onda ultrassônica

A atenuação, é um dos principais problemas do uso de Ultrassom, pois limita o seu alcance de operação

Ocorre devido à absorção de energia da onda acústica pelo meio e implica a conversão da energia acústica em outra forma de energia (calor)

No ar, o coeficiente de atenuação de uma onda acústica é:

$$\alpha = 1,61 \times 10^{-12} f^2 \text{ dB s}^2/\text{cm}$$

de onde se verifica que a atenuação aumenta com o quadrado da freqüência do sinal acústico

Sensores de Ultrassom:

Lóbulo de Radiação e Diretividade

Os transdutores de Ultrassom emitem a energia sonora concentrada em lóbulos de radiação (85% no lóbulo principal)

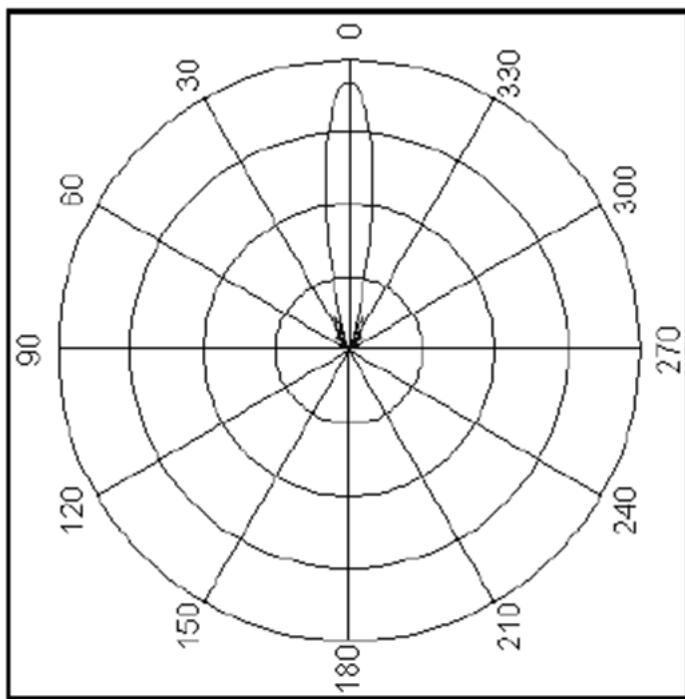
O lóbulo de emissão de um transdutor é definido como a linha virtual no espaço que une os pontos que vibram com uma mesma amplitude

Os lóbulos dependem da composição geométrica que envolve o transdutor, da freqüência de operação do transdutor e do seu diâmetro

A diretividade está associada com o ângulo de abertura deste lóbulo de radiação, que por sua vez está relacionado com a região frontal na qual um objeto pode ser detectado

Por exemplo uma baixa diretividade permite que um objeto localizado em uma região lateral do transdutor possa gerar um sinal de eco detectável; por outro lado um transdutor altamente direutivo só será capaz de detectar objetos cuja área eficaz de reflexão estejam perpendiculares ao lóbulo de radiação do mesmo

Sensores de Ultrassom: Ângulo do Lóbulo de Radiação

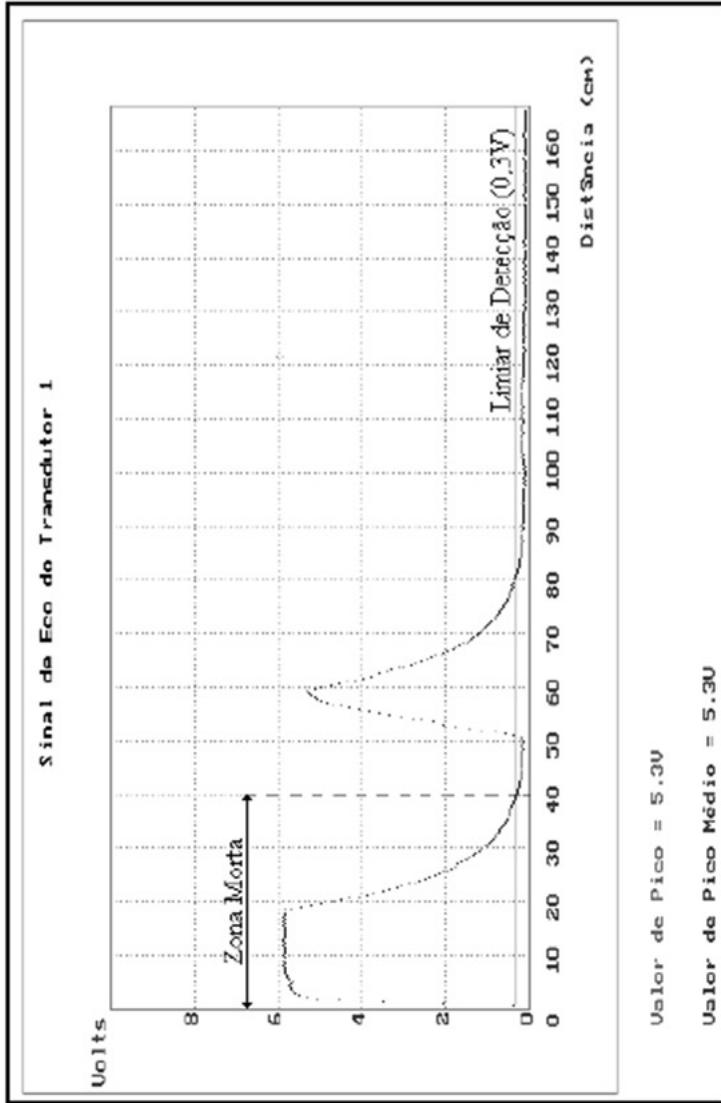


$$\theta = \arcsen\left(0,61 \frac{\lambda}{a}\right)$$

Para um transdutor eletrostático da Polaroid série 7000 (50 kHz e raio "a" de 1,435 cm), obtém-se um ângulo de 17°

Para um transdutor piezelétrico MA40L1S/R da Murata (40 kHz e raio "a" de 0,63 cm), obtém-se um ângulo de 58°

Sensores de Ultrassom: Zona Morta



A zona morta ou zona cega é uma região próxima ao transdutor que corresponde a um período de tempo logo após o momento de emissão, onde o transdutor, por inércia, continua vibrando depois da excitação

Portanto, durante estes instantes, o transdutor estará inoperante (impossibilitado de detectar o eco refletido por qualquer obstáculo)

Sensores de Ultrassom: Principais Fontes de Erro

Os sensores ultrassônicos podem, em várias ocasiões e devido a diversos fatores, produzir informações falsas, ou seja, detectar a presença de obstáculos que não existem, não detectar obstáculos reais ou simplesmente executar medições de distâncias completamente equivocadas

As fontes de erro podem ser classificadas em três grupos:

- Não tratáveis
- Diretamente tratáveis
- Indiretamente tratáveis

Sensores de Ultrassom: Fontes de Erro Não Tratáveis

São fontes de erro que não podem ser evitadas, por serem inerentes aos fenômenos físicos que regem a propagação das ondas acústicas

Uma das principais fontes de erro não tratável consiste no fato de que a energia acústica refletida por um obstáculo depende, em grande parte, da estrutura de sua superfície

Caso a superfície de reflexão possua irregularidades de dimensões comparáveis ao comprimento da onda ultrassônica, a reflexão do sinal de eco será altamente difratada, podendo ser impossível detectar o obstáculo

Um outro exemplo de fonte de erro não tratável é a turbulência de ar que ocorre na região onde opera o transdutor e afeta a propagação da onda sonora

Ela é impossível de ser quantificada, e pode ocorrer devido a correntes de ar, ou a turbulência provocada pelo deslocamento do transdutor ultrassônico (no caso de aplicação em robôs móveis)

Sensores de Ultrassom:

Fontes de Erro Diretamente Tratáveis

Podem ser consideradas fontes de erro diretamente tratáveis, aquelas que podem ser eliminadas ou parcialmente reduzidas, mediante a melhoria na tecnologia de fabricação dos transdutores ultrassônicos

Um dos principais exemplos de fontes de erro diretamente tratáveis é o caso da zona morta, já que, durante a zona morta o transdutor está inoperante e, portanto, não é possível determinar com precisão se existe ou não obstáculos em uma área próxima ao transdutor

Sensores de Ultrassom: Fontes de Erro Indiretamente Tratáveis

São consideradas fontes de erro indiretamente tratáveis aquelas que podem ser eliminadas ou ao menos reduzidas sem alterar a estrutura do transdutor ultrassônico, mediante algum hardware adicional ou por software

A temperatura é um fator ambiental que provoca erros de medição de distância quando não é corretamente compensada

Como a velocidade do som varia com a temperatura, então a distância medida também variará com a temperatura

Esta é uma fonte de erro indiretamente tratável, pois pode ser eliminada utilizando-se um circuito medidor de temperatura (hardware adicional) e, empregando-se a temperatura medida por ele (software)

É possível reduzir ou até mesmo eliminar esta fonte de erro, através de uma etapa de calibração prévia, que consiste em medir uma distância de referência conhecida (a distância em relação ao solo por exemplo, que pode ser medida utilizando-se um sensor ultrassônico dedicado)

Sensores de Ultrassom:

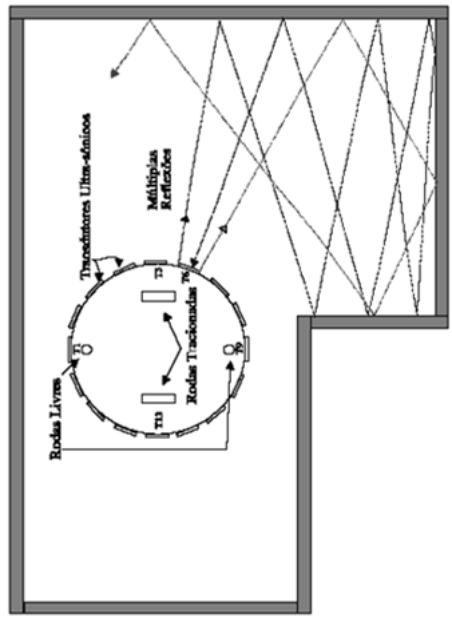
Fontes de Erro Indiretamente Tratáveis

Os falsos ecos constituem uma outra grande fonte de erros para os transdutores ultrassônicos, e ocorrem basicamente de duas maneiras:

- Reflexões Múltiplas
- Crosstalk

A múltipla reflexão, é a denominação que se dá ao fato de o transdutor que emitiu o sinal ultrassônico receber um sinal de eco proveniente de várias reflexões

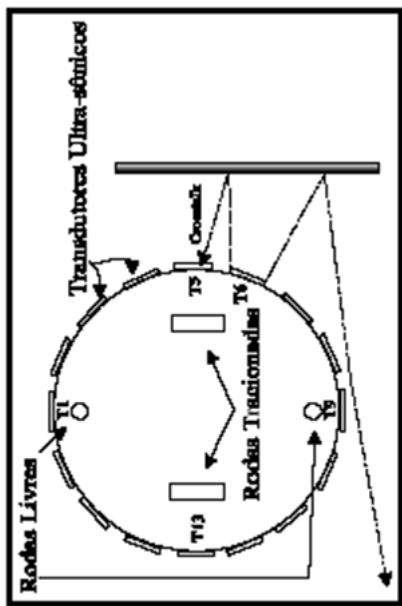
Isto faz com que o sistema de sensoriamento detecte a presença de um obstáculo a uma distância muito maior do que a real



Sensores de Ultrassom: Fontes de Erro Indiretamente Tratáveis

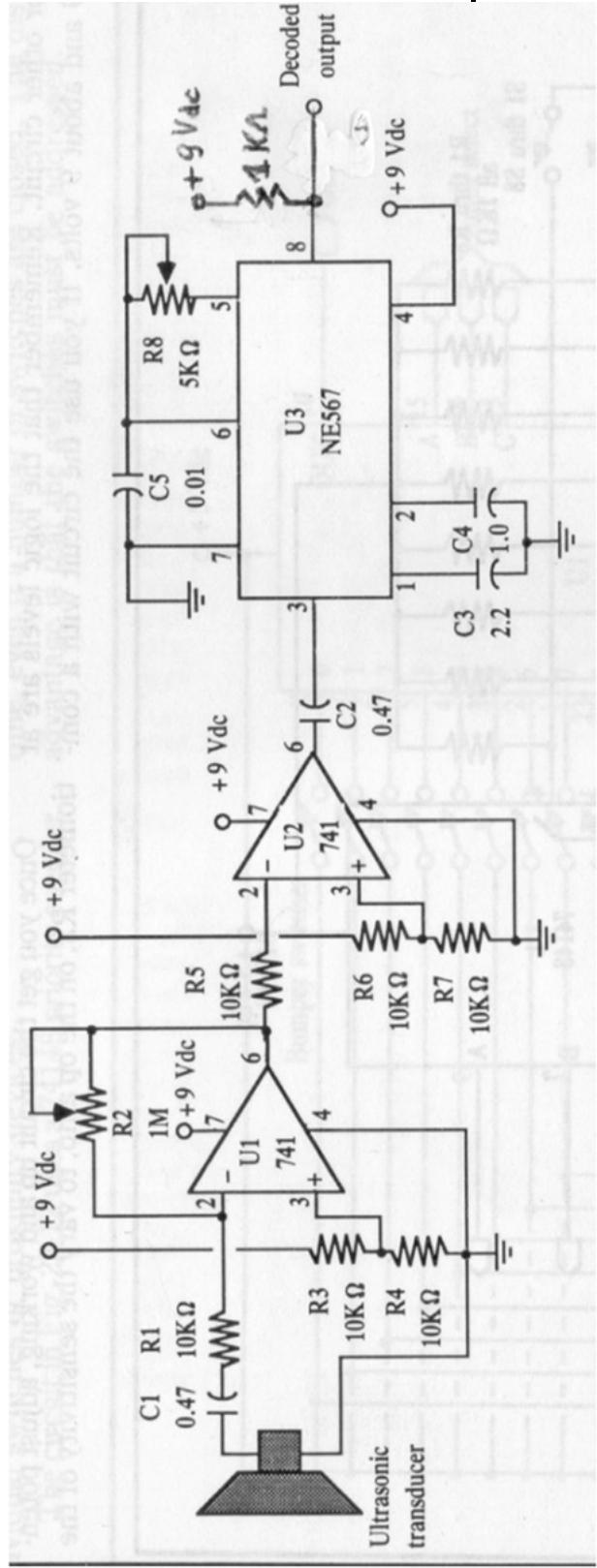
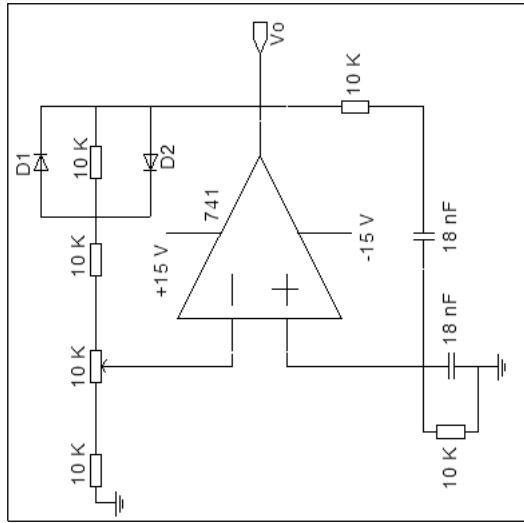
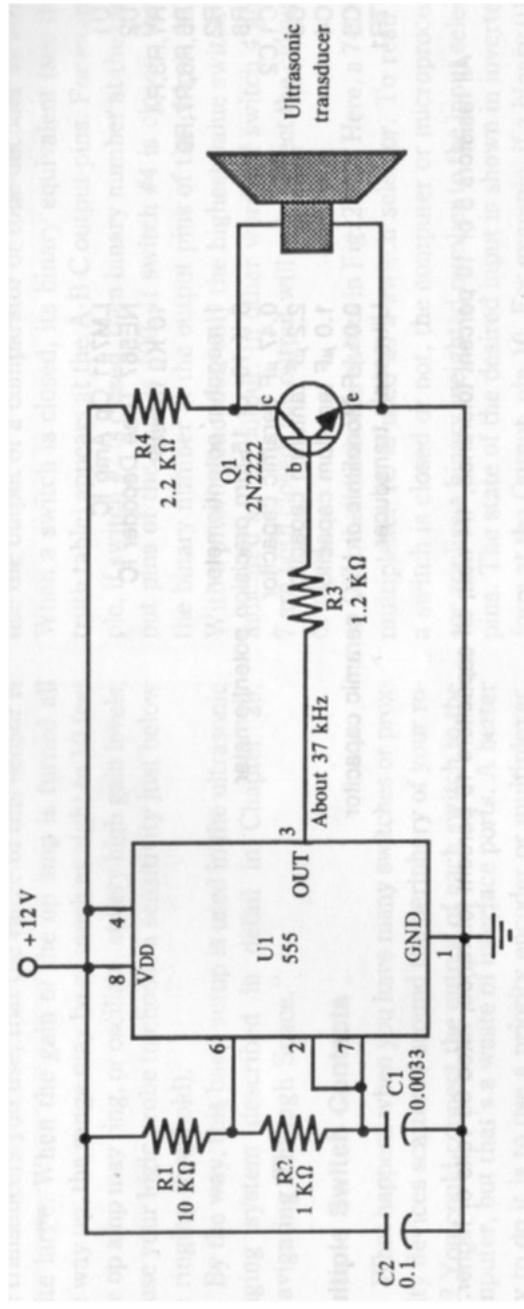
O crosstalk (linha cruzada), é um fenômeno que ocorre em sistemas que empregam mais de um transdutor ultrassônico

O sinal emitido por um deles é capturado por outro, induzindo o sistema de sensoriamento a considerar a localização do obstáculo em uma direção errada



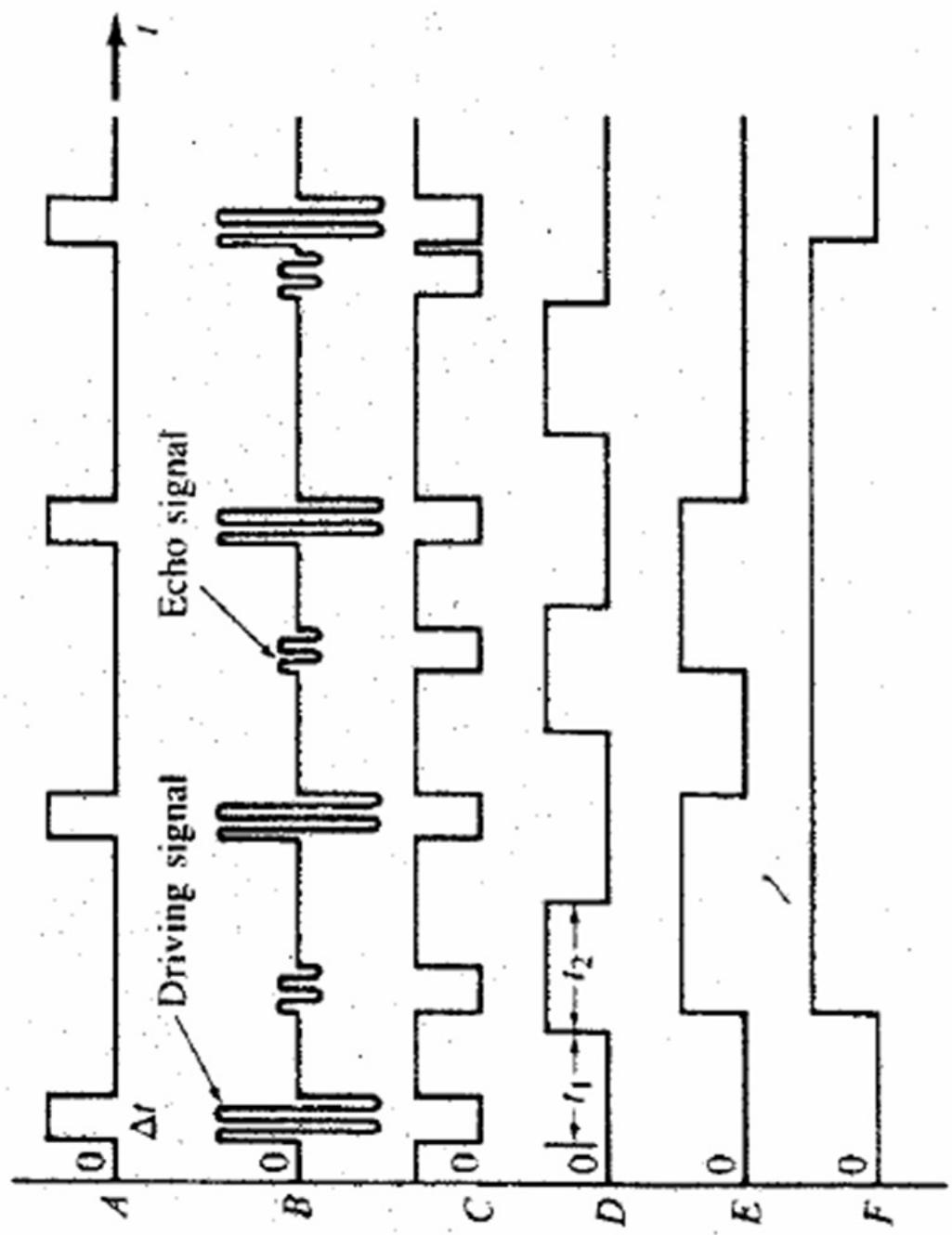
Apesar das diversas fontes de erros, o sensoriamento ultrassônico ainda é uma opção muito boa para o sensoriamento externo de robôs móveis, pois além de apresentar uma resolução mais do que suficiente para a medição de distâncias, ainda é capaz de reconhecer alguns tipos de obstáculos e determinar as suas orientações

Sensor de Ultrassom: Exemplo de Aplicação

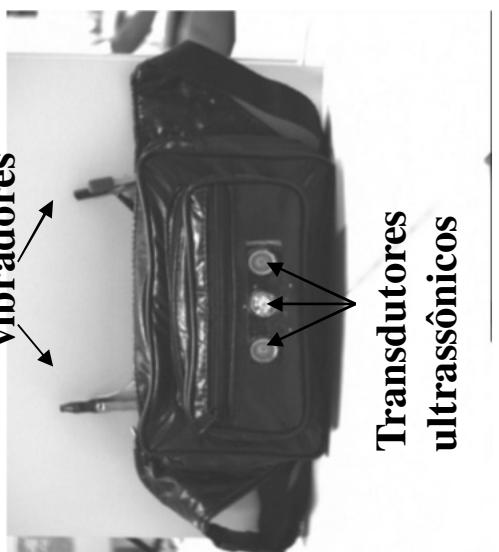
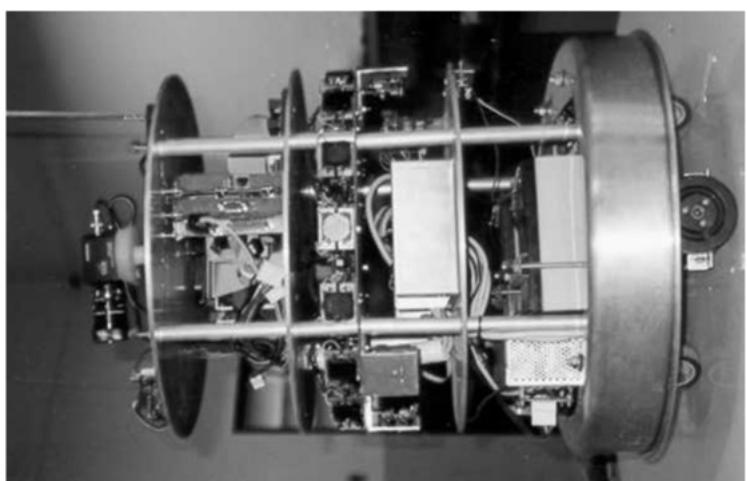


Vídeo

Sensores de Ultrassom: Detecção de Ecos



Sensor de Ultrassom: Exemplos de Aplicação



Sensor Laser

- Utilizado como sensor de distância;
- Fornece informações ao robô sobre obstáculos:
 - Se há obstáculos
 - Distância até obstáculo
- Determinação da distância:
 - Diferença de Fase
 - Tempo de Vôo

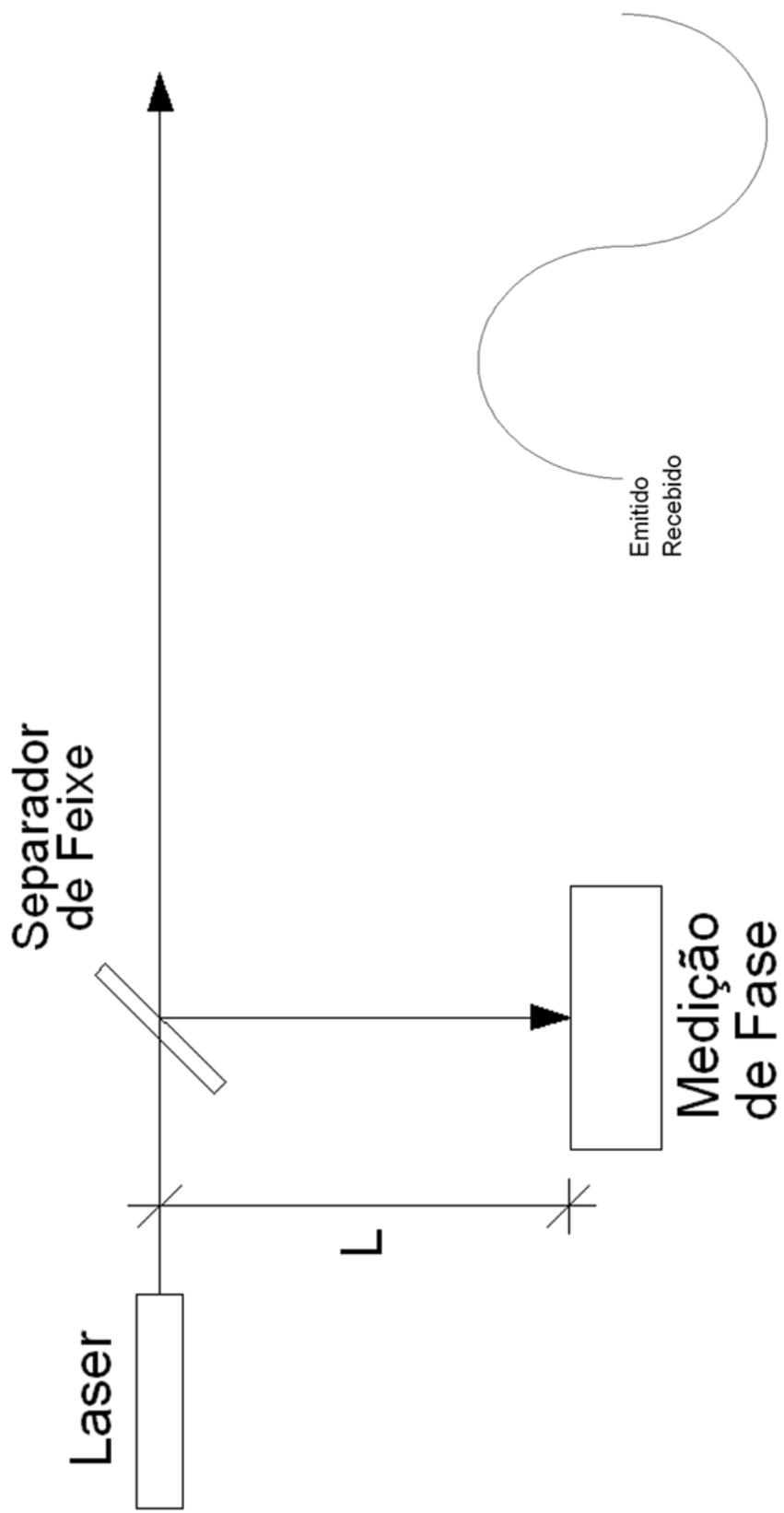
Métodos de Determinação de Distância

- Método da Diferença de Fase
- Método do Tempo de Vôo

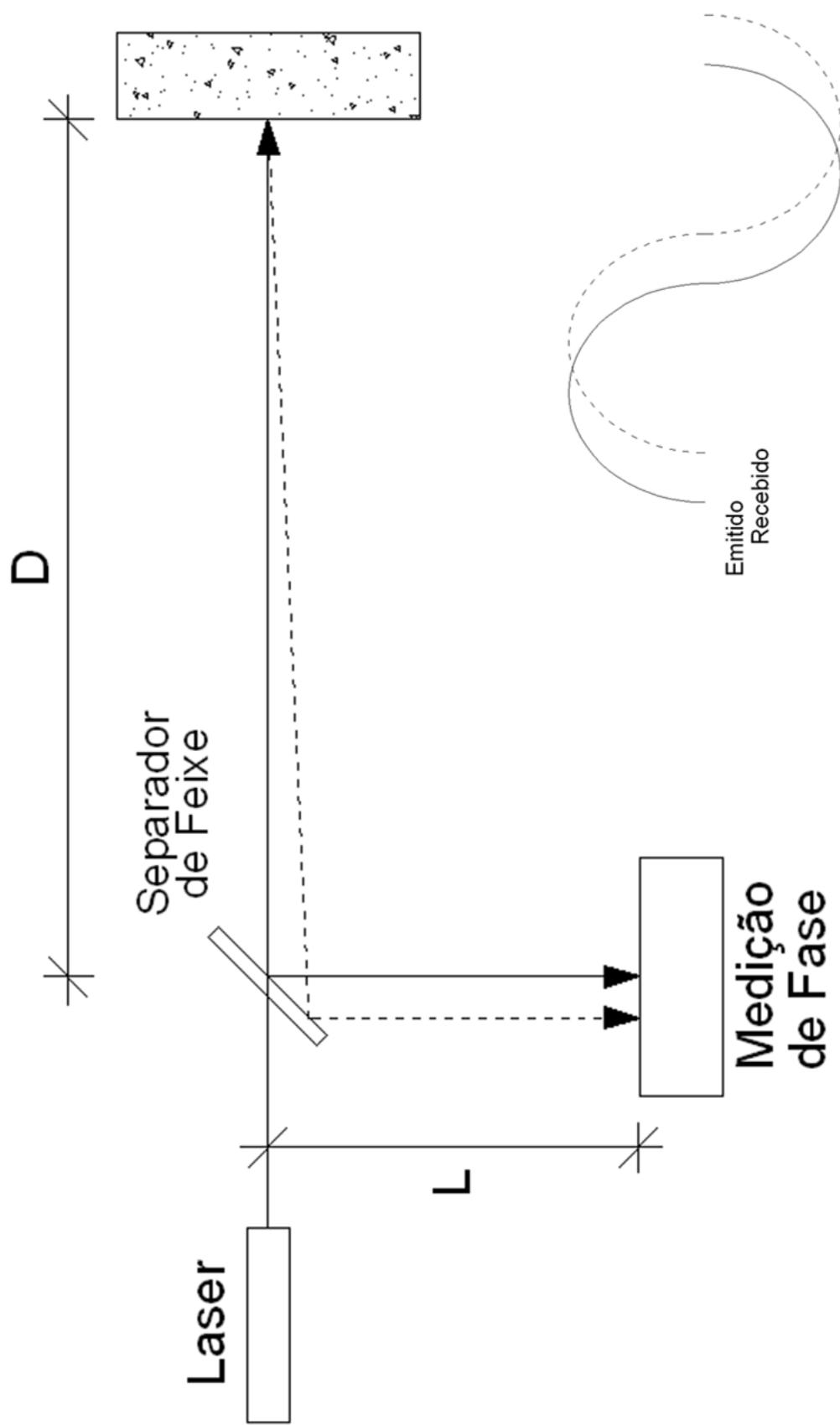
Métodos de Diferença de Fase

- Distância do sensor até o obstáculo obtida pela medição da diferença de fase entre o laser emitido e o laser refletido;

Método de Diferença de Fase



Método de Diferença de Fase



Método de Diferença de Fase

- D Distância até obstáculo
L Distância interna sensor
 λ Comprimento de onda
 α Defasagem
- $$D' = L + 2D$$
- $$D' = L + \frac{\theta}{360} \times \lambda$$
- $$L + 2D = L + \frac{\theta}{360} \times \lambda$$



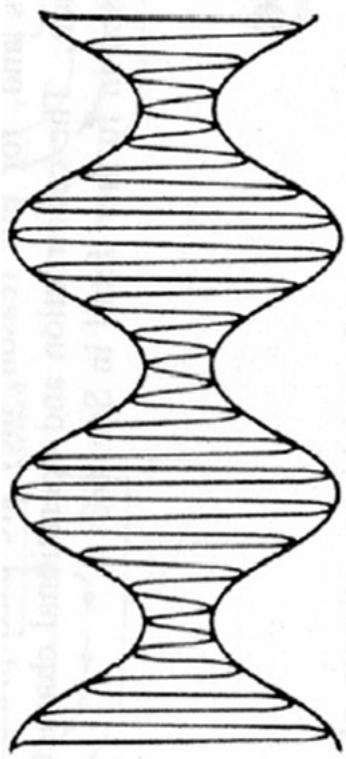
$$D = \frac{\theta}{360} \times \frac{\lambda}{2}$$

Método de Diferença de Fase

$$D = \frac{\theta}{360} \times \frac{\lambda}{2}$$

Entretanto, como o comprimento de onda da luz é pequeno (por exemplo: um laser de Hélio-Neon tem $\lambda = 632.8\text{nm}$), o método apresentado é impraticável para aplicações em robótica ($D < 316.4\text{nm}$).

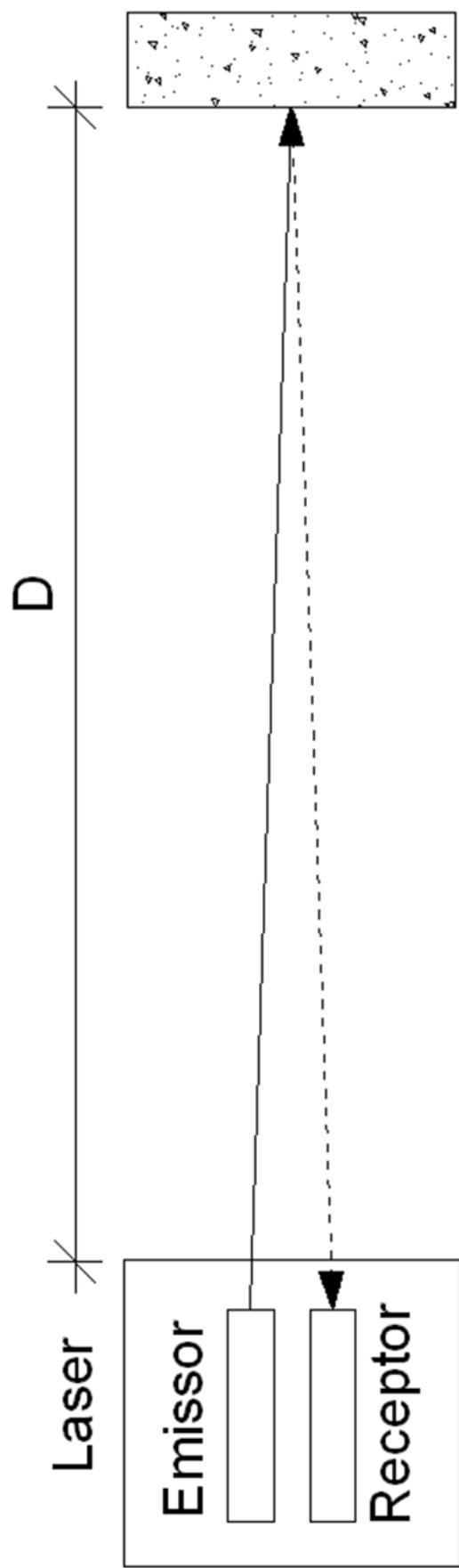
Uma solução simples é modular a amplitude do laser com uma forma de onda senoidal de frequência (por ex.: para $f=10\text{ MHz}$ $\lambda=30\text{ m}$ $D < 15\text{ m}$).



Método do Tempo de Vôo

- Emissor de pulso / Receptor de pulso;
- Medição do tempo gasto para o pulso emitido encontrar um objeto e retornar ao sensor laser;
- Velocidade do pulso é a velocidade da luz no ar;
- Pequeno tempo entre o pulso emitido e o recebido;
- Dispositivos precisos e de custo mais elevado.

Método do Tempo de Vôo



Método do Tempo de Vôo

$$D = \frac{c \times t}{2}$$

D Distância até obstáculo
t Tempo de vôo
c Velocidade da luz

Para D = 1,5 metro o tempo de vôo será:

$$1 \times 10^{-8} \text{ s}$$

Sensor de Varredura Laser

- Fornece informações ao robô sobre obstáculos e sobre o entorno;
- Medição por tempo de vôo de pulsos emitidos;
- Varredura em leque de 180° ;
- Resolução: 1° , 0.5° ou 0.25° ;
- Para cada ângulo de laser emitido São armazenados o ângulo e a distância;
- O contorno de um objeto pode ser “construído”;
- Programa de tratamento dos dados.

Sensor de Varredura Laser



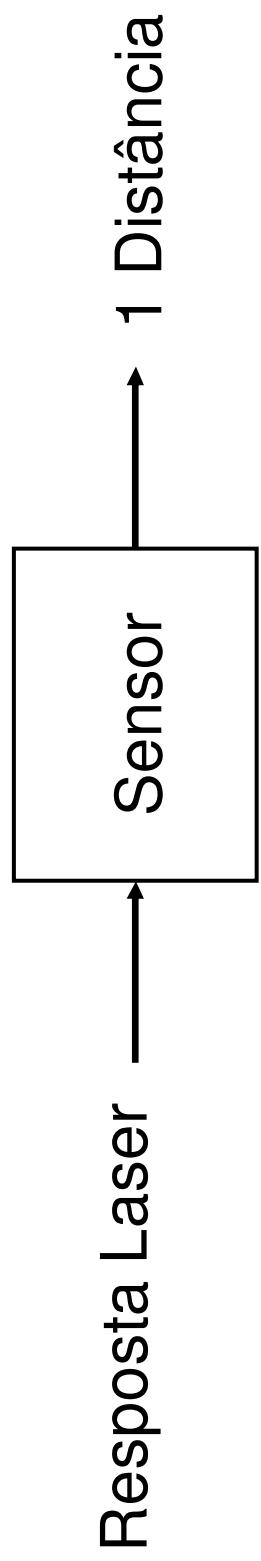
- LMS 200 / SICK;
- *Laser Measurement Sensor;*

Technical data

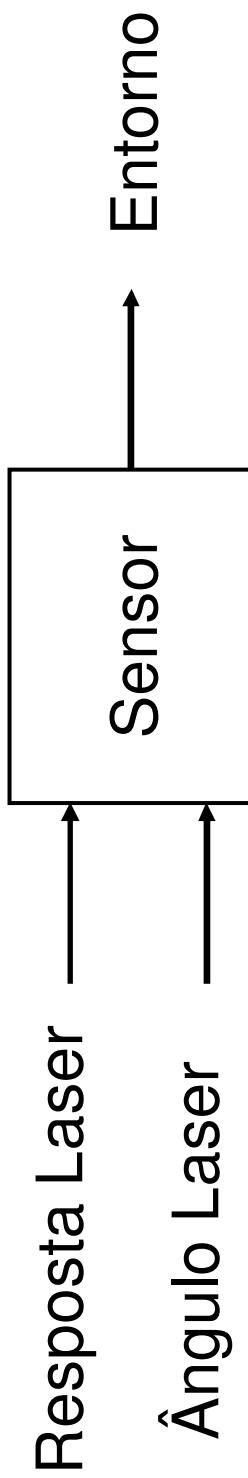
Field of view:	180 °
Angular resolution:	1 ... 0,25 °
Response time:	13 ... 53 ms
Resolution:	10 mm
Systematic error:	+/- 15 mm
Statistical error (1 sigma):	5 mm
Laser class:	1
Enclosure rating:	IP 65
Ambient operating temperature:	0 °C ... +50 °C
Scanning range:	80 m
Data interface:	RS-232, RS-422
Data transmission rate:	9,6 / 19,2 / 38,4 / 500 kBaud
Switching outputs:	3 x PNP
Supply voltage:	24 V DC +/- 15 %
Power consumption:	20 W
Storage temperature:	-30 °C ... +70 °C
Weight:	4.5 kg
Dimensions (L x W x H):	156 x 155 x 210 mm



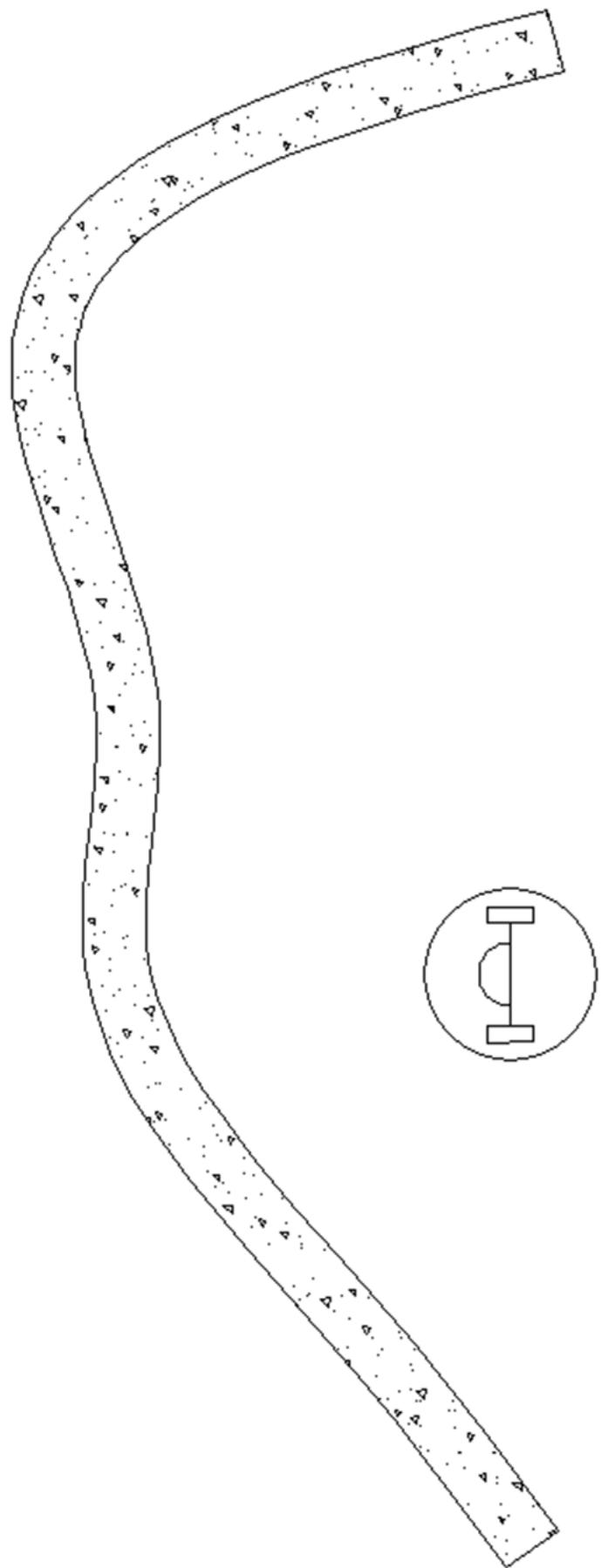
Sensor Laser



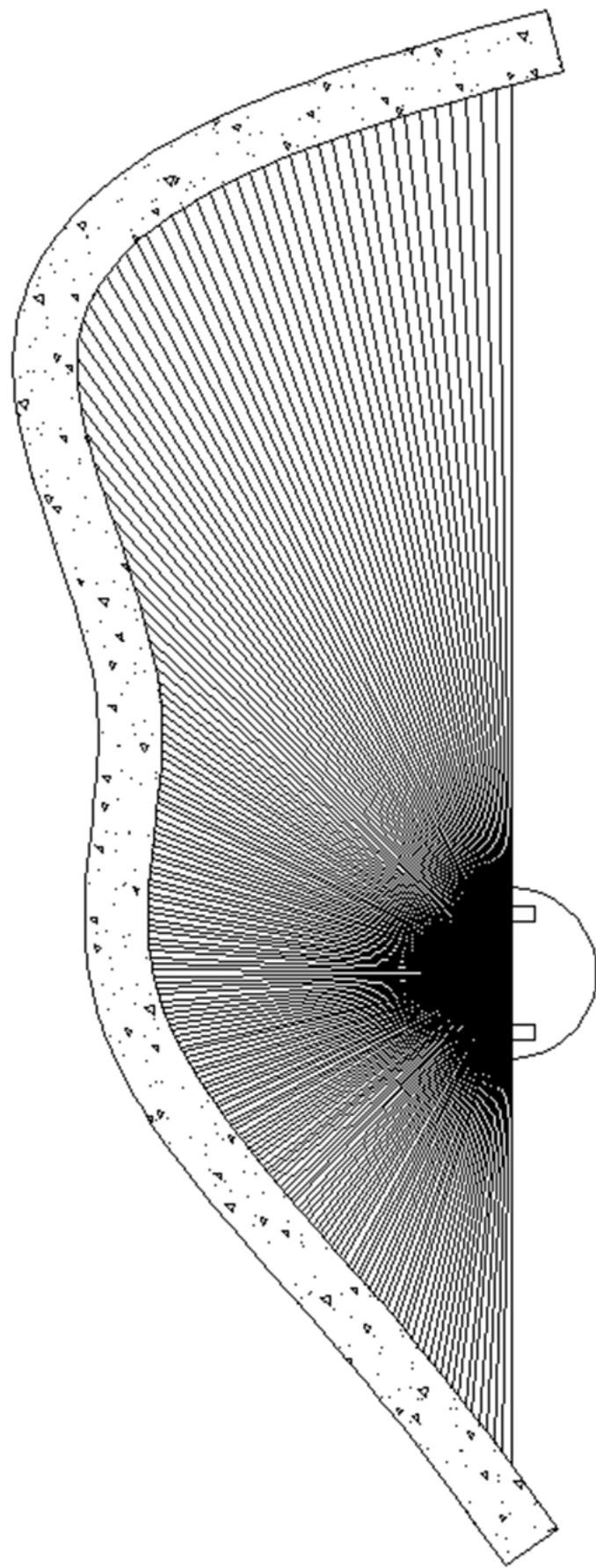
Sensor de Varredura Laser



Sensor de Varredura Laser

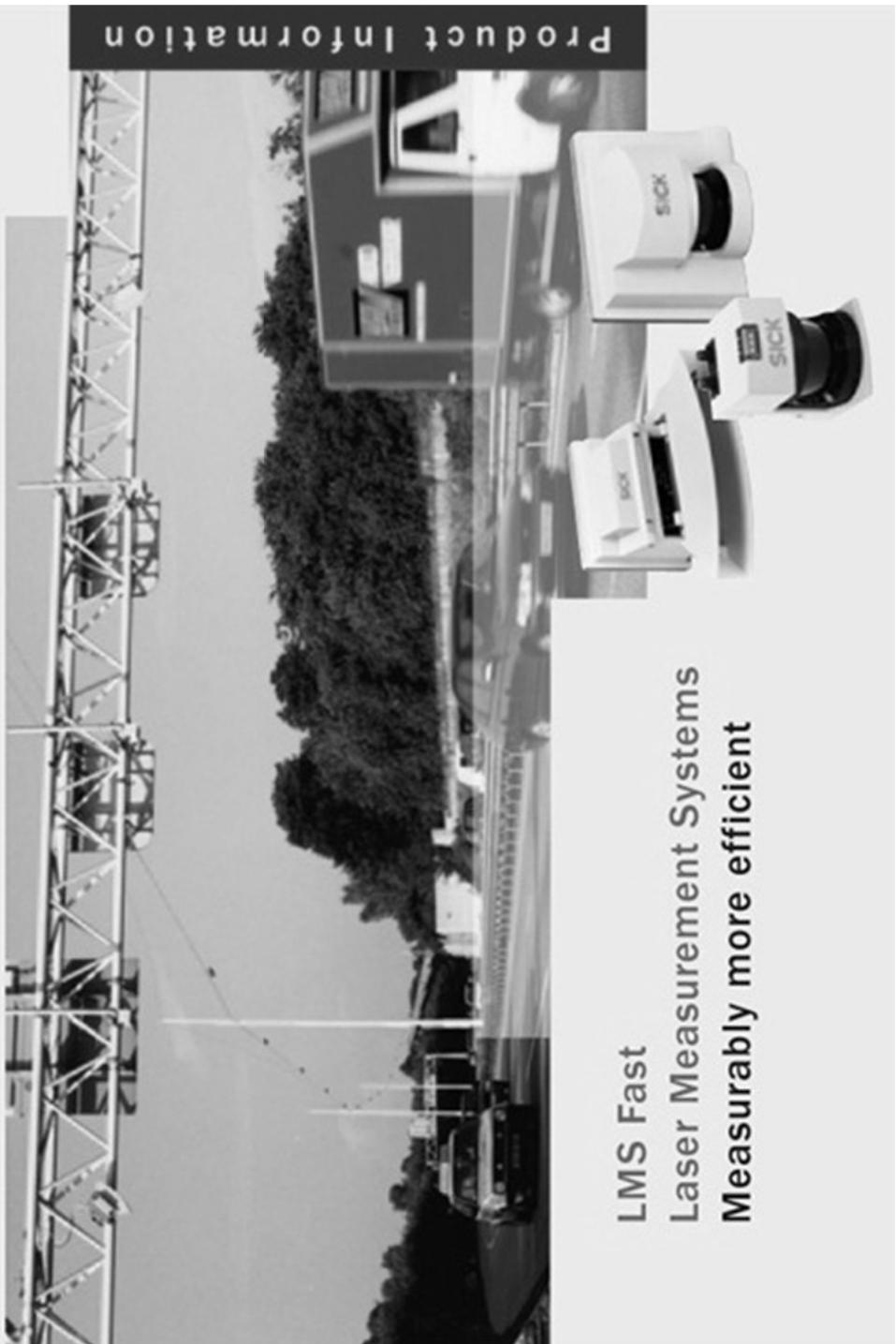


Sensor de Varredura Laser



NEW

LMS Fast



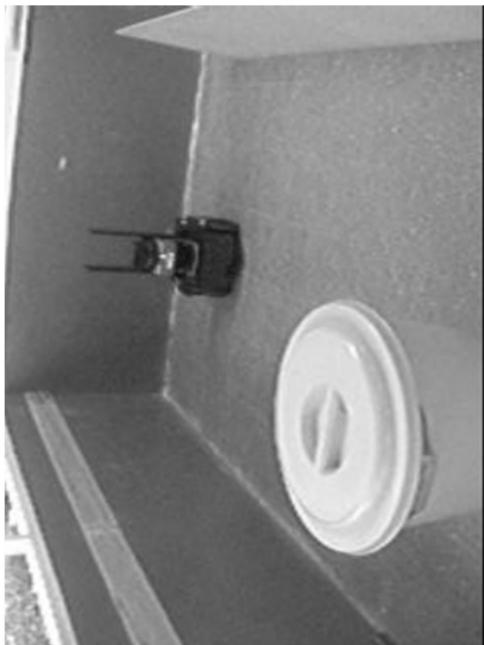
LMS Fast
Laser Measurement Systems
Measurably more efficient

Aplicações de Sensor de Varredura Laser



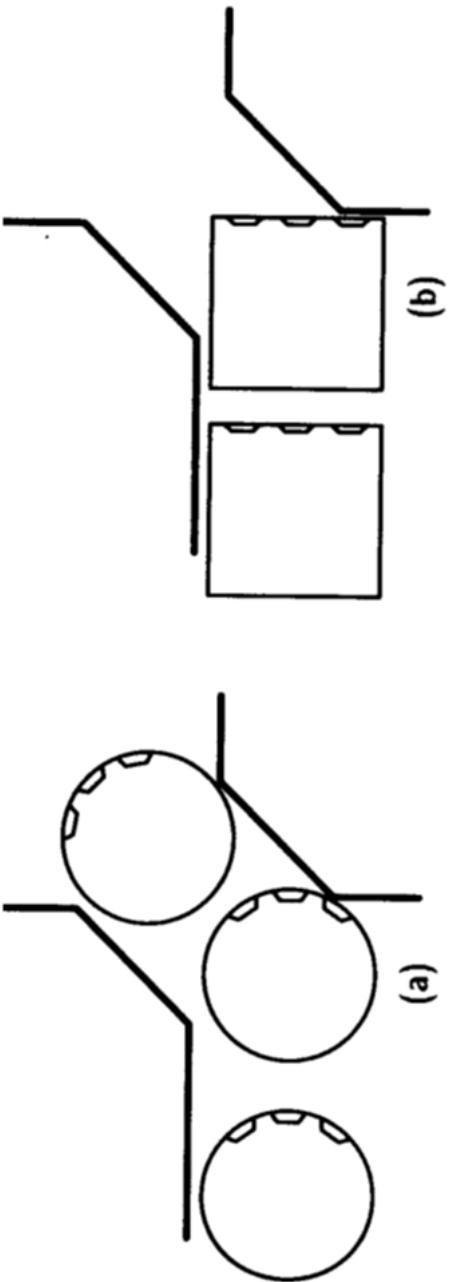
E.g. Classifying bodywork

Aplicações de Sensor de Varredura Laser



Forma do Robô

- O algoritmo de navegação para que um robô quadrado possa passar por um caminho estreito pode ser mais complexo do que para um robô cilíndrico
- Isso se explica utilizando um conceito denominado *espaço de configuração*, cuja análise permite encontrar uma saída para um robô de forma arbitrária em um ambiente arbitrário

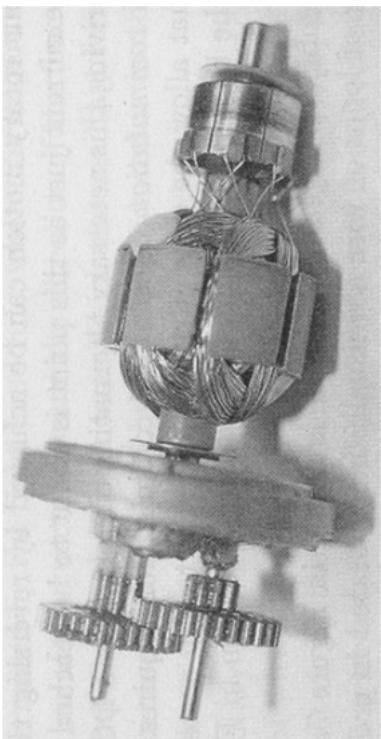
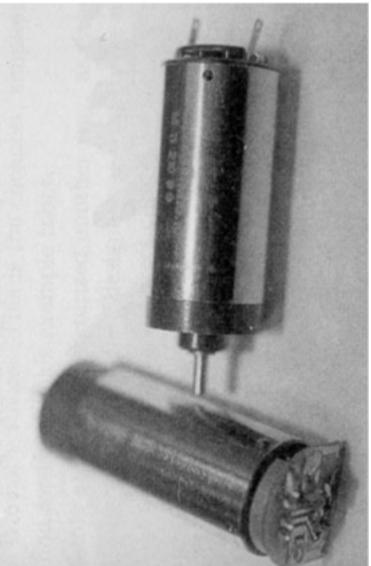


Motores e Atuadores

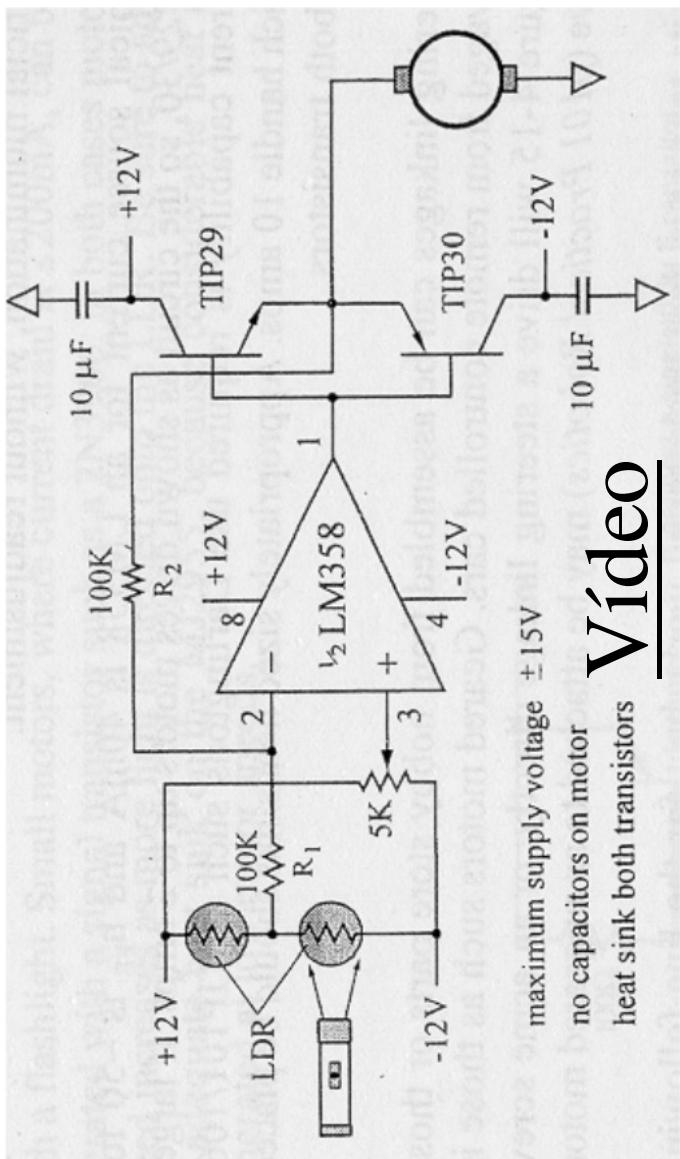
- Um atuador é um dispositivo que produz movimento. Pode ser do tipo pneumático, hidráulico e elétrico (motor)
- Os motores elétricos são muito utilizados porque não produzem muito ruído, não necessitam de equipamento adicional e são mais fáceis de controlar
- Os motores elétricos podem ser AC ou CC
- Os principais tipos de motores CC existentes são os motores com ou sem escovas, servomotores e motores de passo

Motores CC Com e Sem Escovas

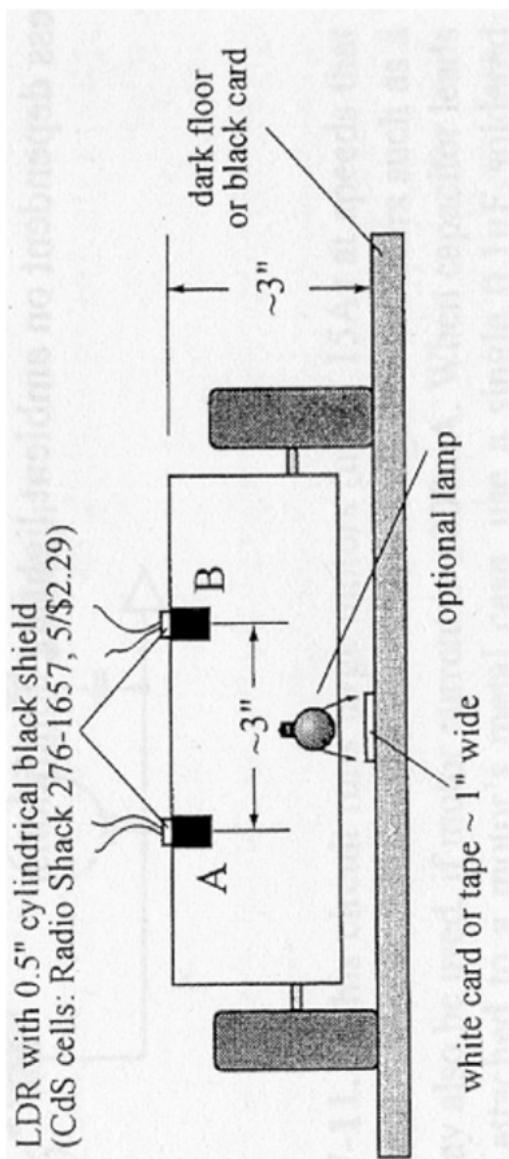
- Nos motores CC com escova, a comutação é realizada mecanicamente através do contato periódico entre as escovas fixas e os comutadores do rotor
- Os motores CC sem escovas executam a comutação eletronicamente através de sensores de posição e um controlador microprocessado
- Os motores tipo escova são mais comuns e baratos do que os motores sem escovas
- Motores da indústria automobilística (limpadores de pára-brisa e acionamento de vidro elétrico) são boa opção para projetos. Outras opções: www.maia.ind.br



Motores CC: Exemplo de Aplicação

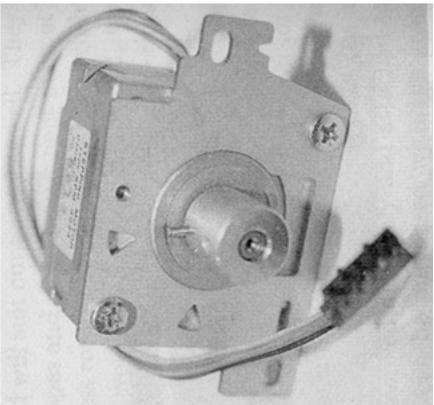
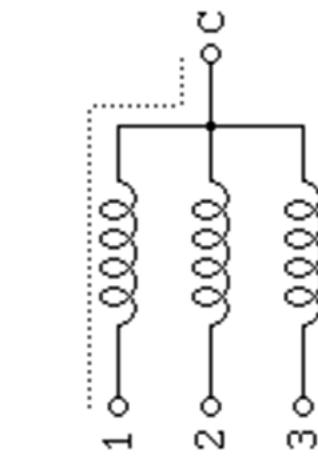
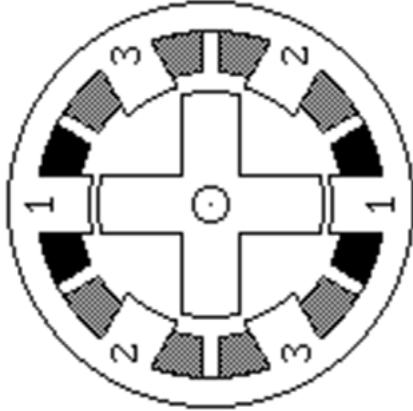


Vídeo



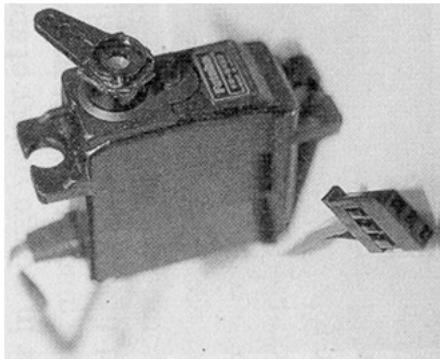
Motores de Passo

- É um tipo de motor CC que possui 6 ou 8 terminais. Para produzir o giro do motor, aplicam-se sinais a estes terminais, energizando sequencialmente as bobinas
- A cada envio de sinal, o rotor é atraído para um setor diferente, o que provoca o giro
- A freqüência de envio destes sinais determina a velocidade; a diferença de fase determina o sentido de giro, e o número de sinais determina a posição do motor



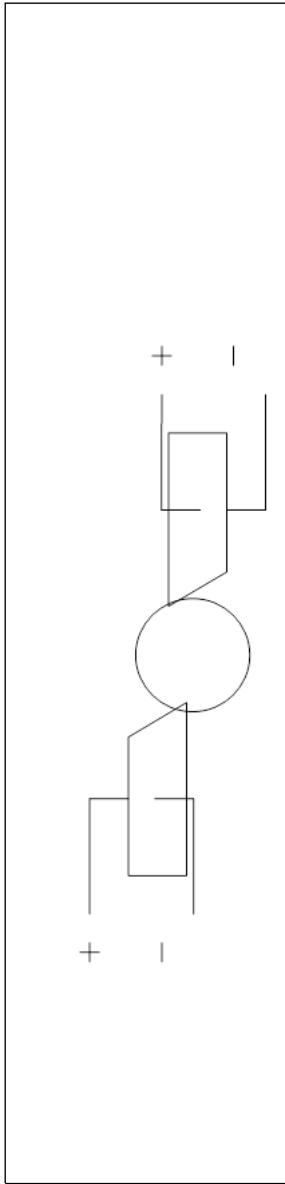
Servomotor

- Um servomotor é composto por um motor CC, um conjunto de engrenagens, limitadores de fim de curso, um potenciômetro para realimentar a posição do motor, e um circuito integrado para o controle de posição
- O funcionamento do servomotor consiste em uma vez estabelecida a posição na qual deve permanecer (através do terceiro terminal), o circuito de controle gira o motor até a posição comandada e o mantém parado até que uma nova posição seja comandada



Novos Motores: Motor Piezelétrico

- É um tipo de motor baseado na principal característica das cerâmicas piezelétricas, que consiste em deformar-se quando submetida a um potencial elétrico
- Através de uma montagem adequada (conforme a figura abaixo, onde os dois polígonos são cerâmicas piezelétricas e o círculo ao centro é o rotor do motor), esta deformação pode ser utilizada, por exemplo, para girar o rotor de um motor
- Em contraste com um motor eletromagnético, os motores piezelétricos giram a velocidades mais baixas e com torque mais alto, o que elimina o uso de engrenagens



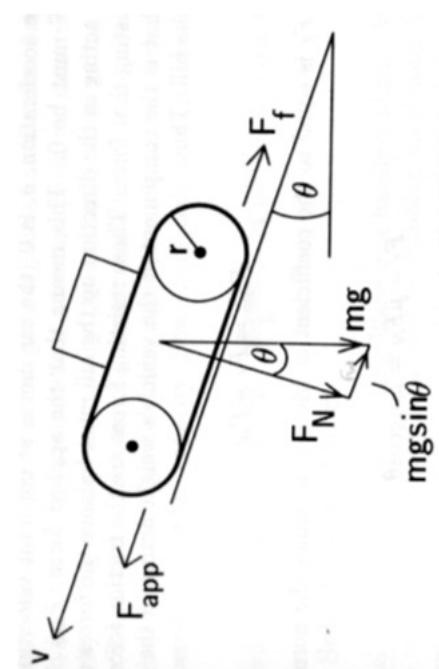
Novos Motores: Ligas de Memória - SMA (Shape Memory Alloy)

- Ligas de memória, tal como as de Nitinol, mudam sua forma de maneira reversível, à medida que são aquecidas ou esfriadas
- Aquecendo um fio composto por este tipo de liga (através da passagem de corrente), ele encolhe. Isto permite que, por exemplo, uma pata de um robô com patas se levante
- Quando deixa de passar corrente pelo fio, ele esfria, fazendo com que volte à sua forma original, abaixando a pata
- Alternando este procedimento entre os dois conjuntos de patas, o robô conseguirá mover-se



Cálculo da Potência de um Motor CC

- É necessário dimensionar a potência requerida para o motor
- Por exemplo, a potência requerida para um robô de 650 g, para operação com velocidade de 0.15 m/s, em ambientes com inclinações de até 30º pode ser obtida por:



$$F_{app} = F_f + F_w$$

$$F_f = \mu \cdot F_N = \mu mg \cos \theta$$

$$F_w = mg \sin \theta$$

$$F_{app} = \mu mg \cos \theta + mg \sin \theta$$

Robucar (França)

$$Pm = F_{app} v = mg(\mu \cos \theta + \sin \theta)v$$

$$P_m = (0.65 \cdot 9.8)(0.3 \cos 30^\circ + \sin 30^\circ)(0.15) = 0.73W$$

Para compensar a incerteza associada ao valor do coeficiente de atrito e outros fatores não considerados, $P_m = 2.19W \Rightarrow 2$ motores de 1 W

Ponte H e Sinal PWM

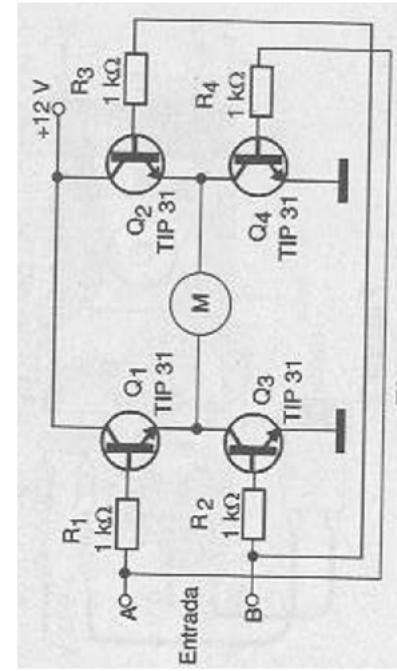
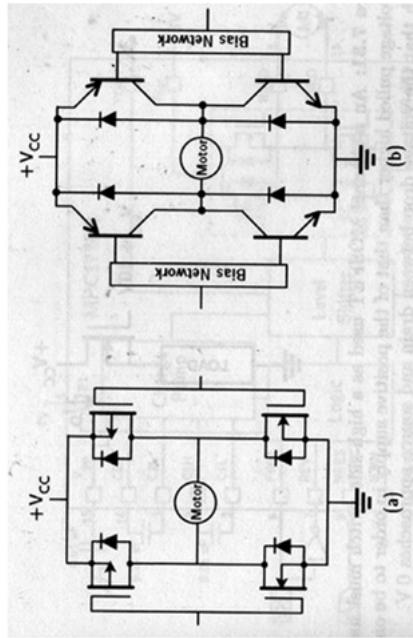
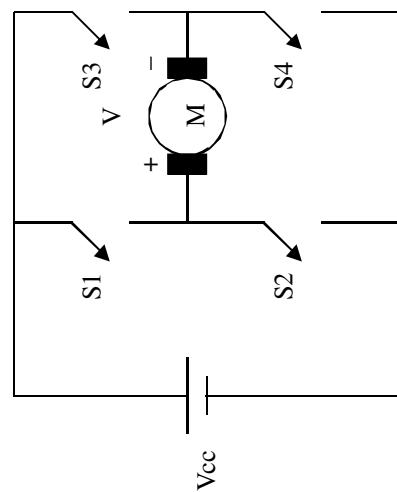
Consiste de quatro chaves controladas por microprocessador

Chaves S1 e S4 fechadas e S2 e S3 abertas \Rightarrow corrente passa pelo motor da esquerda para a direita (sentido positivo)

Chaves S2 e S3 fechadas e S1 e S4 abertas \Rightarrow corrente é revertida e o motor gira no sentido oposto

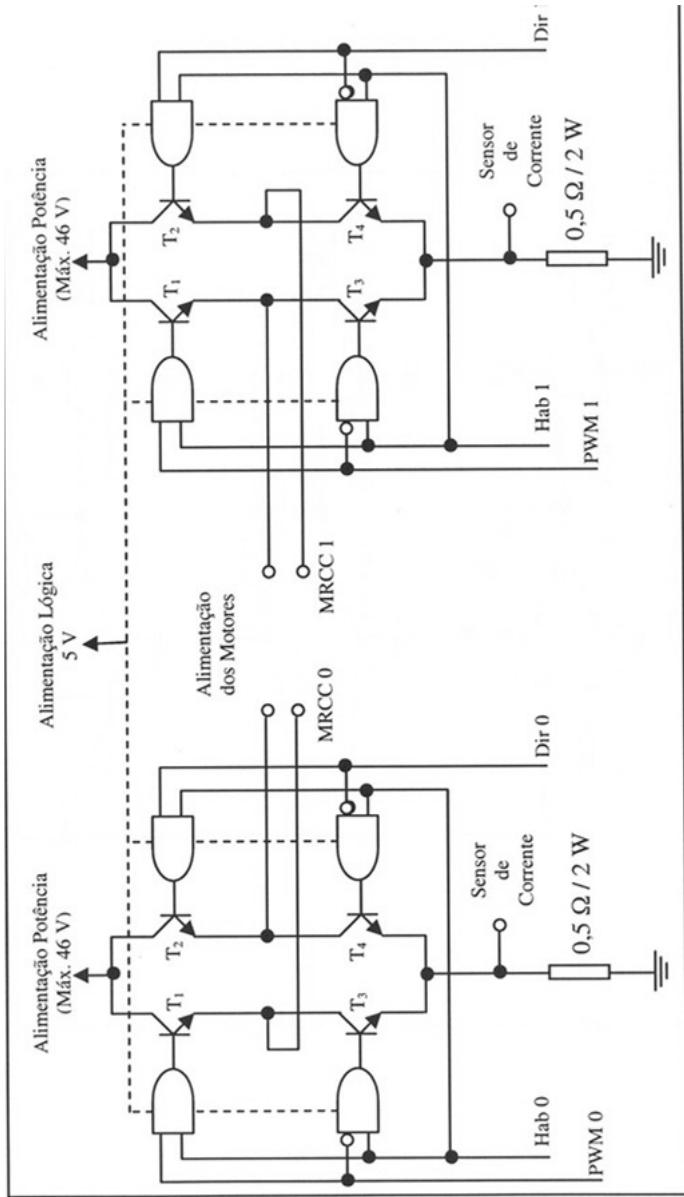
S1, S2, S3 e S4 abertas \Rightarrow motor gira livremente

S1 e S2 ou S3 e S4 fechadas \Rightarrow motor é forçado a parar



Utiliza-se um sinal PWM para controlar a abertura e fechamento das chaves. Assim, é possível controlar a velocidade do motor, uma vez que este responde ao valor RMS do sinal PWM

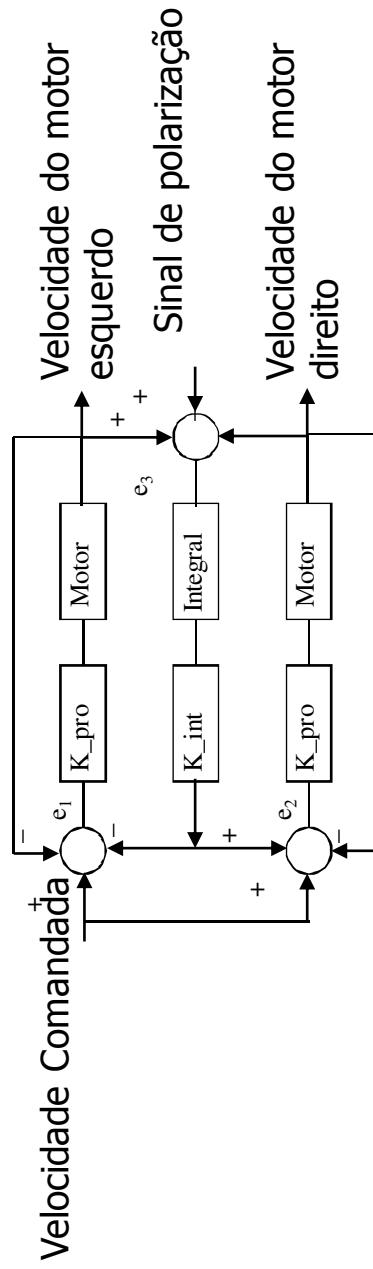
Ponte H, Sinal PWM e Sensor de Corrente



Habilitação	Direção	PWM (Duty Cycle)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	Sentido de Giro	Velocidade
0	x	x	Corte	Corte	Corte	Corte	Nenhum	Parado
1	1	0	Corte	Conduz	Conduz	Corte	Horário	Alta
1	1	33 %	Corte	Conduz	Conduz	Corte	Horário	Média
1	1	66 %	Corte	Conduz	Conduz	Corte	Horário	Baixa
1	1	100 %	Conduz	Conduz	Corte	Corte	Nenhum	Parado
1	0	0	Corte	Corte	Conduz	Conduz	Nenhum	Parado
1	0	33 %	Conduz	Corte	Corte	Conduz	Anti-Hor	Baixa
1	0	66 %	Conduz	Corte	Corte	Conduz	Anti-Hor	Média
1	0	100 %	Conduz	Corte	Corte	Conduz	Anti-Hor	Alta

Controle de Motores

- Para robôs móveis com tração diferencial, é necessário o uso de controle PI para os motores
- Permite assegurar que quando o robô é comandado para seguir em linha reta, os dois motores realmente vão girar a uma mesma velocidade



Para a determinação dos valores das constantes é necessário fazer um estudo da estabilidade do sistema, através de uma das técnicas de controle clássico (por exemplo, diagramas de pólos e zeros)

Baterias

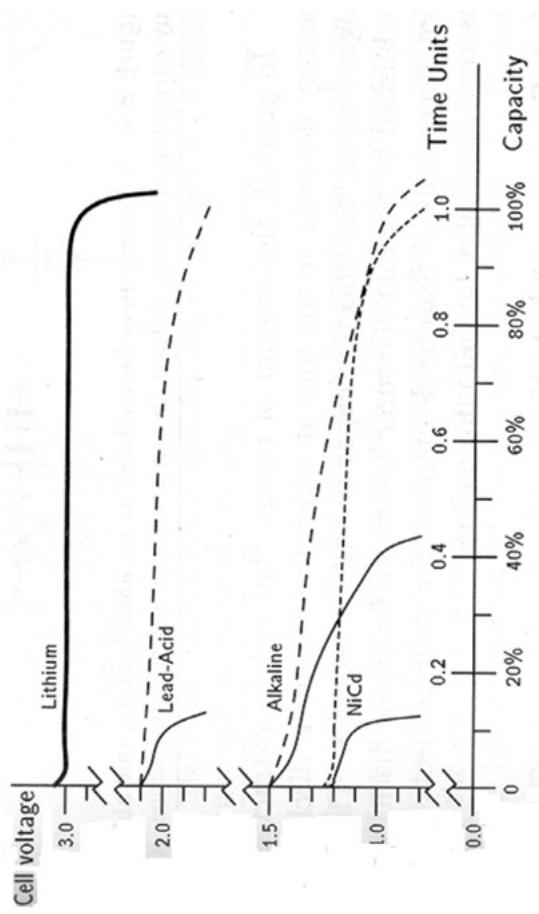
- São as fontes de alimentação CC usuais de um robô móvel
- Uma bateria é um dispositivo capaz de armazenar energia química e liberá-la na forma de energia elétrica
- As de NiCd são indicadas para robôs móveis de pequeno tamanho porque são disponíveis em vários tamanhos, têm baixa resistência interna (possibilita uma descarga rápida), são seladas (não havendo risco de derramamento de material contaminante no interior do robô) e são relativamente baratas em relação às de lítio-ion ou NiMH e mais leves que as de chumbo-ácido
- Entretanto, possuem “efeito memória”, ou seja, se são recarregadas sem estar completamente descarregadas, a nova carga da bateria não será total
- Além disso, por apresentar resistência interna pequena, possuem alta corrente de curto circuito, o que pode causar danos ao isolamento da bateria e até incêndio

Características das Baterias

Tipo	Recarregável?	Densidade Energia (W.h/kg)	de Célula	Tensão da Célula	Capacidade Típica (mA.h)	Resistência interna (Ω)	Comentários
Chumbo-Ácido	Sim	40		2.0	1.2 – 120 Ah	0.006	Grande disponibilidade
Zinco-Carbono	Não	75		1.5	6000		Barata, obsoleta mas
Alcalina	Atualmente Sim	130		1.5	1400 - 10000	0.1	Mais comum
Lítio	Atualmente Sim	300		3.0	1800 - 14000	0.3	Boa densidade de energia, mas alto custo
Mercúrio	Não	120		1.35	190	10	
Níquel-Cádmio	Sim	38		1.2	500 - 4000	0.009	Pequena resistência interna e grande disponibilidade
Níquel-Metal	Sim	57		1.3	1100 – 2300		Melhor densidade de energia do que as de NiCd, mas são mais caras
Prata	Não	130		1.6	180	10	
Air-Zinco	Não	310		1.4			Alta densidade de energia, mas não disponíveis, tamanhos limitados

Características das Baterias

- Entre as baterias recarregáveis, a de litio-íon possui a melhor densidade de energia
- Em relação à forma de descarga das baterias, a de litio-íon também possui a melhor característica, com a tensão mantendo-se praticamente constante com a queda da capacidade (carga) e com o tempo
- Além disso, a bateria de litio possui alto tempo de retenção da carga, chegando a cerca de 10 anos se está à vazio

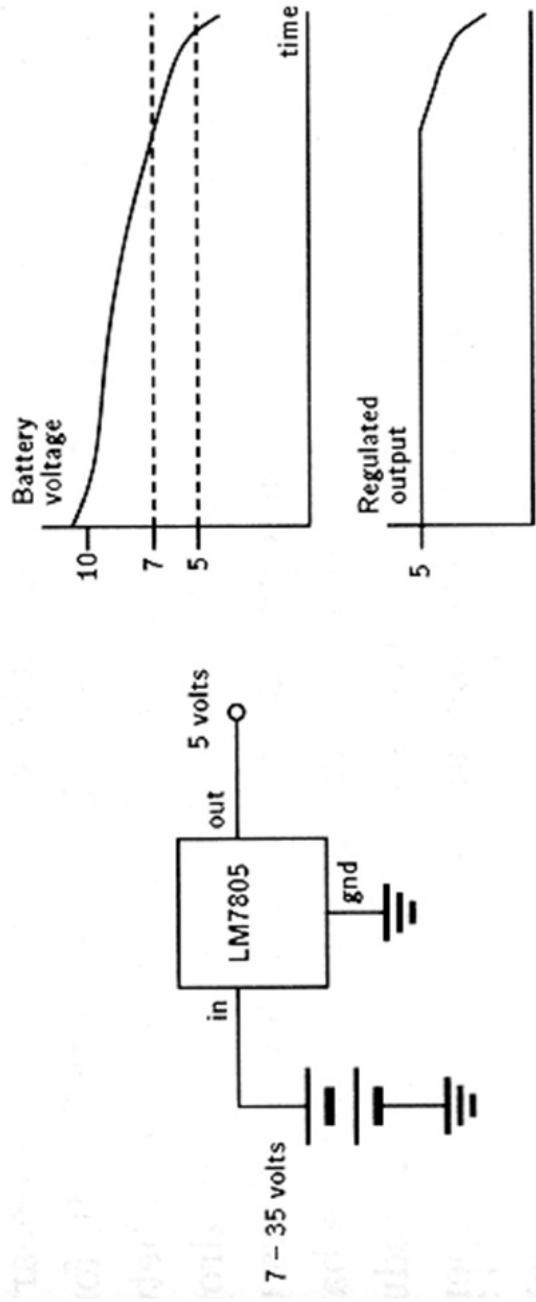


Novidades em Baterias

- Bateria de Nanotubos de Carbono para Notebook (40 h semanais)
- Bateria de Íons de Lítio com Nanotecnologia (50 h para Celular e 17 h para Notebook)
- Bateria de Célula de Combustível (30 h para Celular e 10 h para Notebook)

Reguladores de Tensão

- São dispositivos que servem para proporcionar uma tensão constante para o circuito, mesmo que a tensão de entrada varie sobre uma ampla faixa
- Por exemplo, o LM7805, mantém uma tensão de saída de 5V para tensões de entrada variando na faixa de 7V a 35V
- Para um LM2940CT-5.0, em caso de variação da tensão de entrada entre 5.5V e 26V, a saída se mantém regulada em 5V

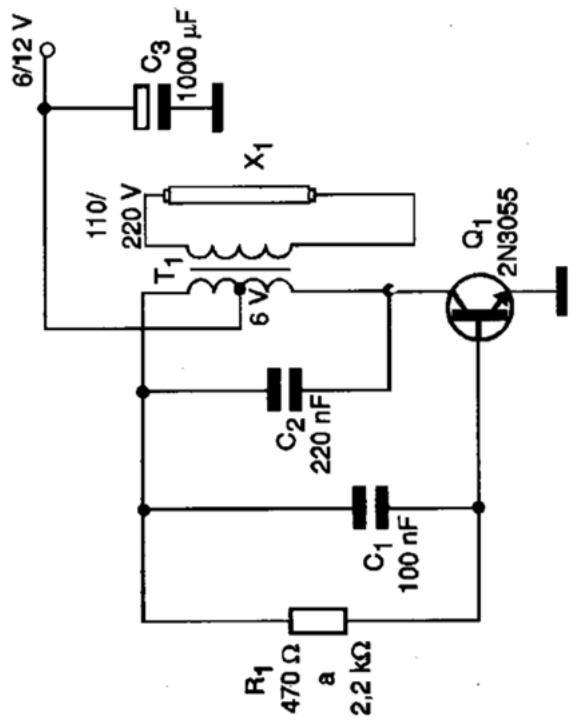


Conversores CC-CC

- Em um circuito eletrônico normalmente são necessários vários níveis de tensão (+5V, -12V, +12V, +24V), embora uma bateria só forneça um nível de tensão
- Com um conversor CC-CC, podem-se obter os níveis de tensão necessários, inclusive maiores do que o nível de tensão proporcionado pela bateria ou até com polaridade invertida
- Para obter tensão maior que a bateria, pode-se:
 - carregar capacitores em paralelo e descarregá-los série
 - provocar uma interrupção instantânea de corrente em um indutor
- Para obter tensão com polaridade invertida:
 - Uma vez carregado, o capacitor é conectado com polaridade invertida

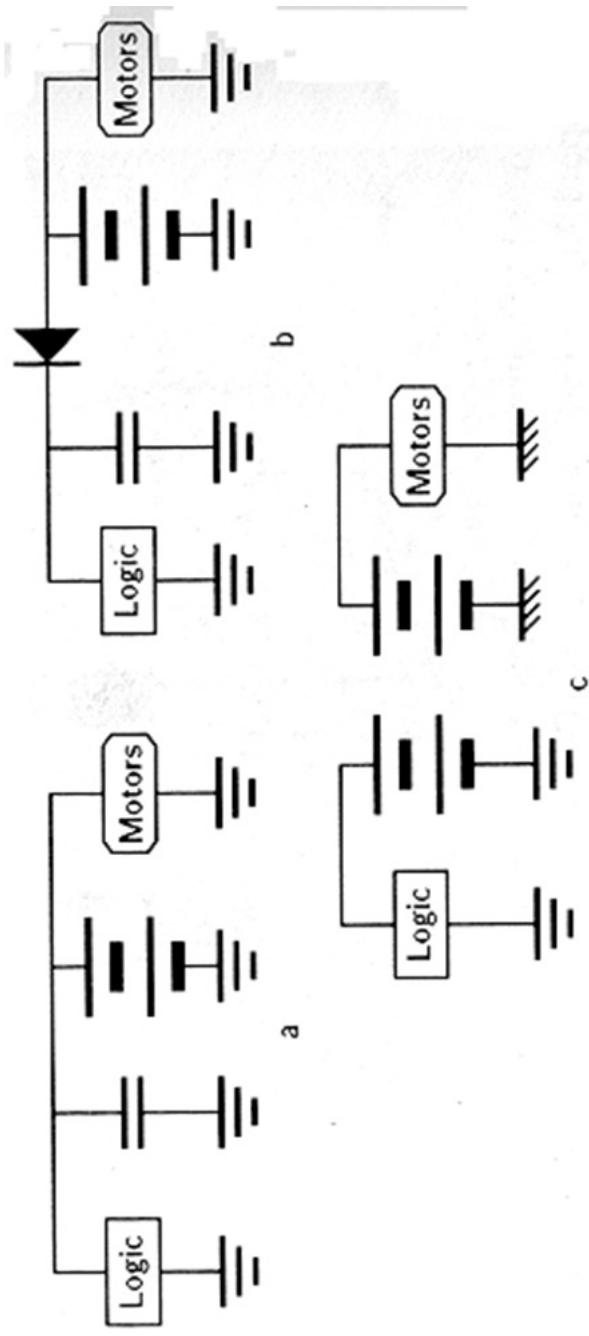
Conversores CC-AC (Inversores)

- Muitas vezes é necessário se ter tensão AC, a partir da tensão CC de uma bateria
- Por exemplo, em falta de energia elétrica, pode ser necessário manter funcionando lâmpadas, computadores, etc.
- Uma das formas de se produzir tensão AC a partir de tensão CC é usando oscilador e transformador
- Ex.: funcionamento de lâmpada de emergência de baixa potência (fluorescente de 5 a 20 W), na falta de energia elétrica



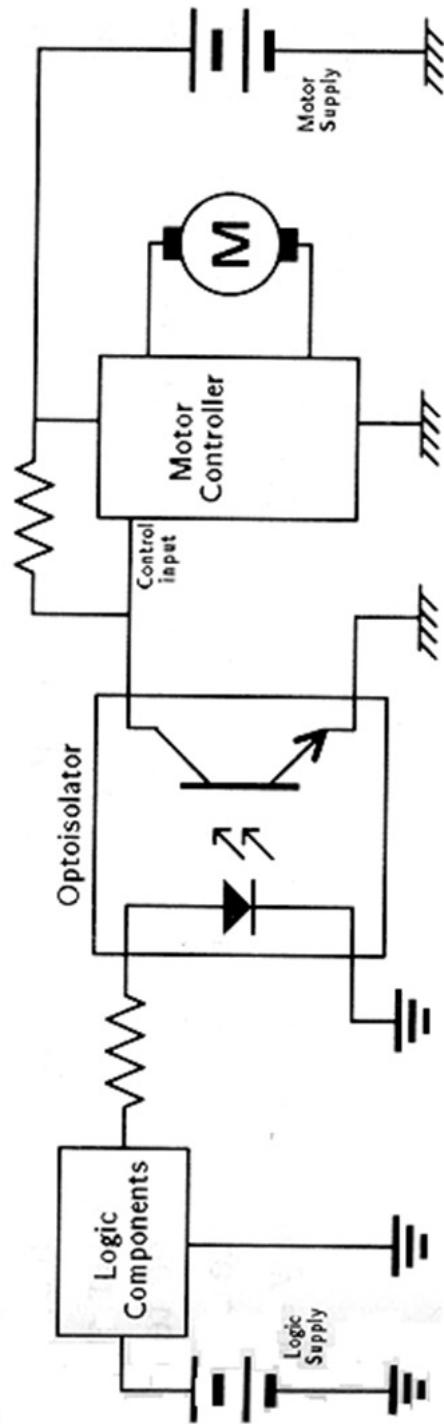
Proteção de Circuitos, Isolamento, Redução de Ruidos

- Muitas vezes é necessário isolar a parte lógica, motores e sensores em um robô
- O isolamento é necessário porque os motores produzem interferência tanto nos circuitos lógicos quanto nos sensores



Proteção de Circuitos, Isolamento, Redução de Ruidos

- Um último recurso, é utilizar um isolador óptico, o que permite um verdadeiro isolamento entre o circuito lógico e os motores



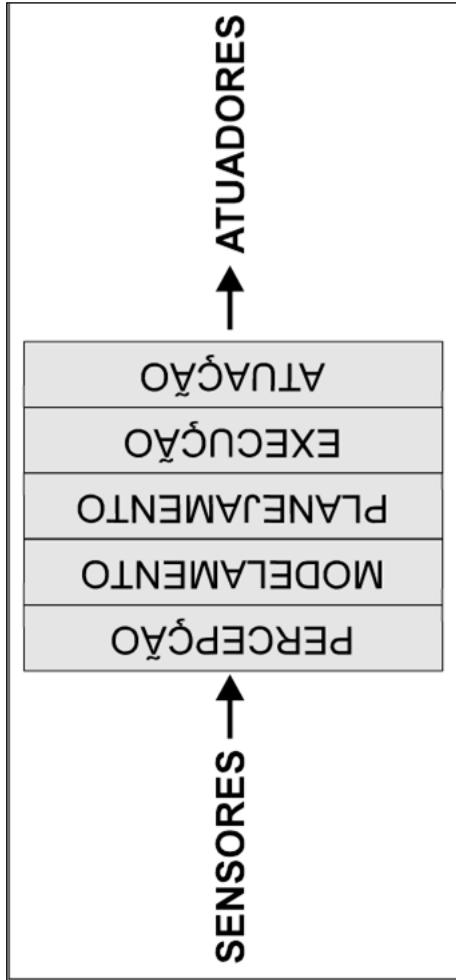
Técnicas de Controle de um Robô Móvel

- Uma vez concluída toda a parte de hardware, é necessário incorporar uma arquitetura para o controle do robô
- Uma arquitetura determina como organizar a estrutura de controle de um sistema
 - Assim, o sistema implementado deve ser capaz de interpretar a informação sensorial, com a finalidade de guiar o robô para que possa realizar uma série de tarefas
 - Três tipos de arquitetura são atualmente utilizadas para o controle de um robô: tradicional, baseada em comportamentos ou reativa, e híbrida
- Outros autores classificam as arquiteturas como:
 - deliberativas e reativas

Arquitetura Tradicional

- Nas arquiteturas tradicionais, inicialmente os dados são coletados de todos os sensores, de maneira que seja possível construir um modelo consistente do “mundo real”
- Este modelo deve incluir informações sobre as dimensões, formas, posições e orientações de todos os objetos presentes na área de operação do robô móvel
- Na maioria das vezes, o modelo ou mapa do “mundo” é programado na memória do robô antes de que este entre em funcionamento
- O robô utiliza este modelo para planejar seqüências de ações que têm por objetivo final executar uma determinada tarefa
 - Por fim, o plano formulado é executado enviando os comandos apropriados para os atuadores

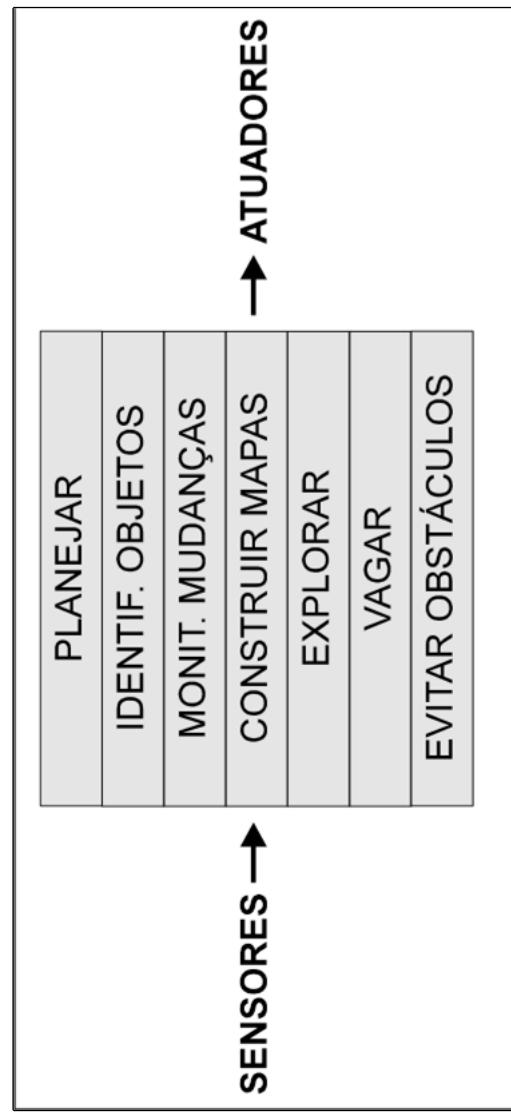
Arquitetura Tradicional



- Requer alta capacidade computacional e grande capacidade de memória
- Para um planejamento confiável, é necessário um modelo muito preciso do mundo
- Ao estar disponível o modelo do mundo, pode-se fazer um planejamento de ações e então executá-las
- Entretanto, se o processo de planejamento é muito lento e o mundo sofrer alguma modificação, quando o robô tenha que executar as ações planejadas, não terá êxito

Arquitetura Baseada em Comportamentos

- Comportamentos são camadas de um sistema de controle que trabalham em paralelo sempre que são disparadas (ativadas) pelos sensores apropriados
- Com esta arquitetura, o robô passa a reagir a variações no ambiente (os sensores acionam os diversos comportamentos), sem a necessidade de uma representação do “mundo real” nem de planejamento de ações



Arquitetura Baseada em Comportamentos

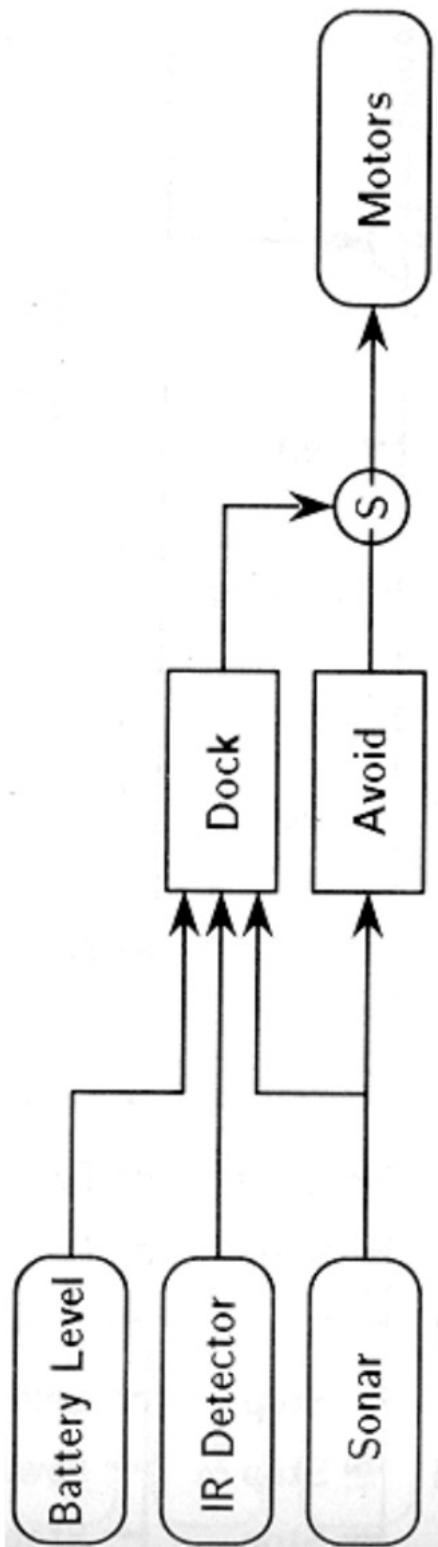
- Todos os comportamentos são executados em paralelo, mas comportamentos de níveis mais altos têm o poder de suprimir temporariamente comportamentos de níveis inferiores
- Cada comportamento por sua vez comunica-se diretamente com os atuadores
- Isto permite que estas arquiteturas possam ser implementadas utilizando recursos computacionais simples do que as arquiteturas de controle tradicionais

Arquitetura Baseada em Comportamentos

- Problemas ao arbitrar entre os diversos comportamentos que compõem estes tipos de arquiteturas
- Problemas na incorporação de novos comportamentos, pois à medida que se incorporam novos comportamentos, a complexidade do sistema aumenta
- Problemas na especificação de objetivos, já que estes tipos de arquiteturas são fechadas, no sentido de que todas as funções do robô estão, de certa forma, pré-programadas
- Além do mais, o sistema está projetado de tal forma que é difícil para um usuário definir de uma maneira flexível a série de tarefas que o robô deve realizar

Exemplo de Controle Baseado em Comportamentos

- Considere a estrutura abaixo que realiza dois comportamentos: um chamado *estacionar (dock)*, para permitir a um robô conectar-se a uma tomada para recarga de baterias, sendo guiado por emissores de infravermelho localizados junto à tomada, e outro comportamento chamado *evitar (avoid)*, que permite ao robô desviar-se de possíveis obstáculos detectados por sensores de Ultrassom



Exemplo de Controle Baseado em Comportamentos

- Robô Comandado por Palmas:
 - Uma Palma: Robô vai para frente
 - Duas Palmas: Robô gira
 - Três Palmas: Robô para

Vídeo

Programação de Comportamentos

- Para programar os comportamentos, pode-se utilizar qualquer linguagem que permita programar a execução de várias tarefas em paralelo
- Alguns exemplos destas linguagens são *Interactive C (IC)*, *Concurrent C e C++*
- Por exemplo, a linguagem IC suporta um ambiente multitarefa, dispondo de facilidades para manipulação de processos e disponibilidade de um programa *scheduler*, que dá controle exclusivo do processador a um processo por um breve período de tempo, e logo passa o controle ao próximo processo
- Assim, a existência do scheduler permite liberar o programador de ter que preocupar-se em proporcionar mecanismos para que os comportamentos devolvam o controle para o *scheduler* (*cooperative multitasking*)

Programação de Comportamentos

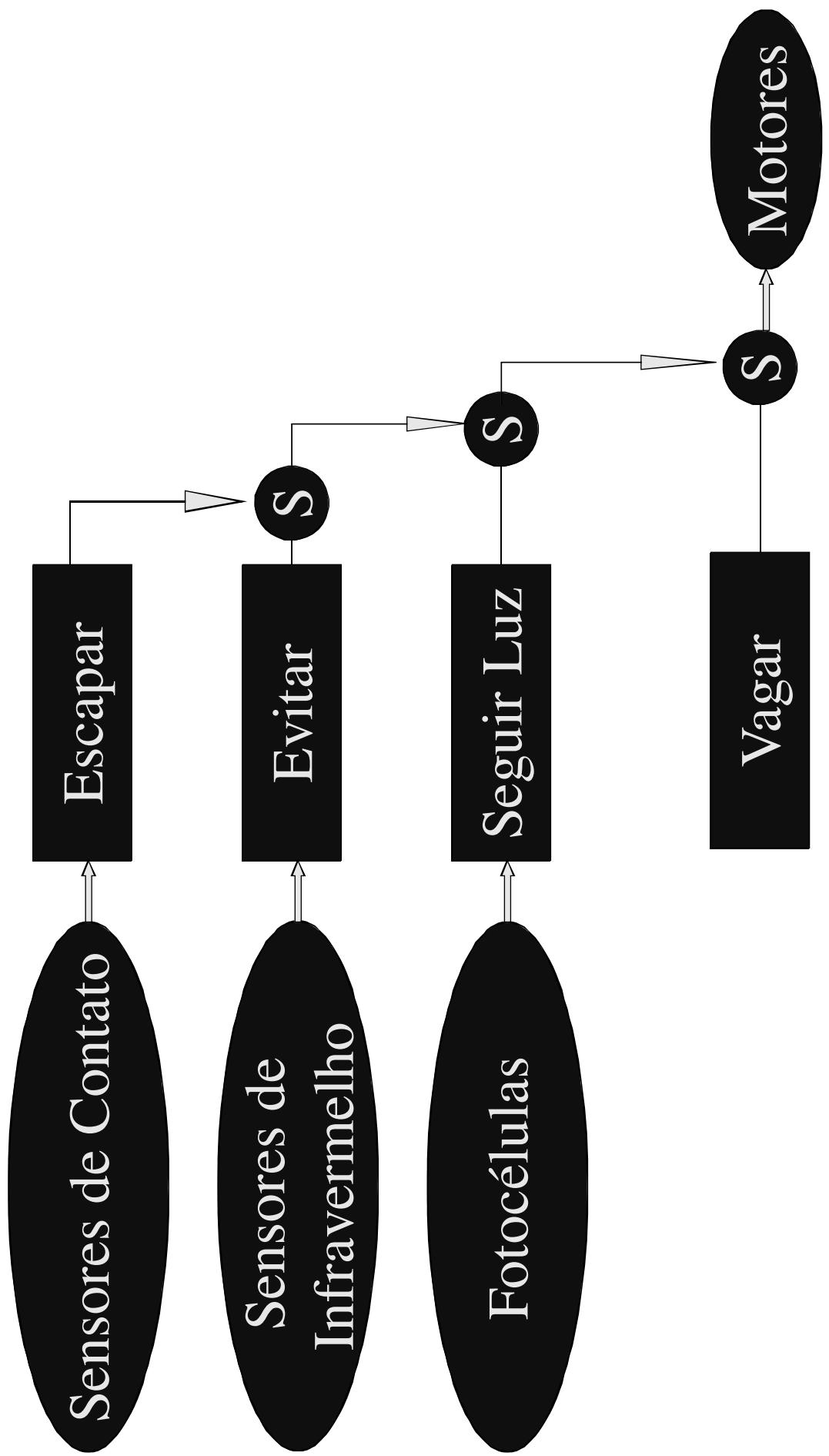
- Com o uso do scheduler é permitido a cada processo utilizar o processador por um curto período de tempo a intervalos regulares, o que é conhecido como multi-tarefa
- O scheduler consiste apenas de um loop infinito, no qual é chamado cada comportamento. Ao menos uma vez a cada loop, o scheduler chama uma função *Arbitrate* para passar mensagens e resolver conflitos entre comportamentos

```
void main() {  
    start_process(motor_driver());  
    start_process(navegar());  
    start_process(seguir());  
    start_process(evitar_obstaculo());  
    start_process(escapar());  
    start_process(Arbitrate());  
}
```

Programação de Comportamentos

- Quando múltiplas saídas são direcionadas para a mesma entrada, as que ocorrem por último sobreescrivem (suprimem) as anteriores

```
void arbitrate( ){  
    while(1){  
        if(flag_vagar == 1){  
            entrada_motor = saída_vagar; }  
        if(flag_seguir == 1){  
            entrada_motor = saída_seguir; }  
        if(flag_evitar == 1){  
            entrada_motor = saída_evitar; }  
        if(flag_escaped == 1){  
            entrada_motor = saída_escaped; }}}}
```



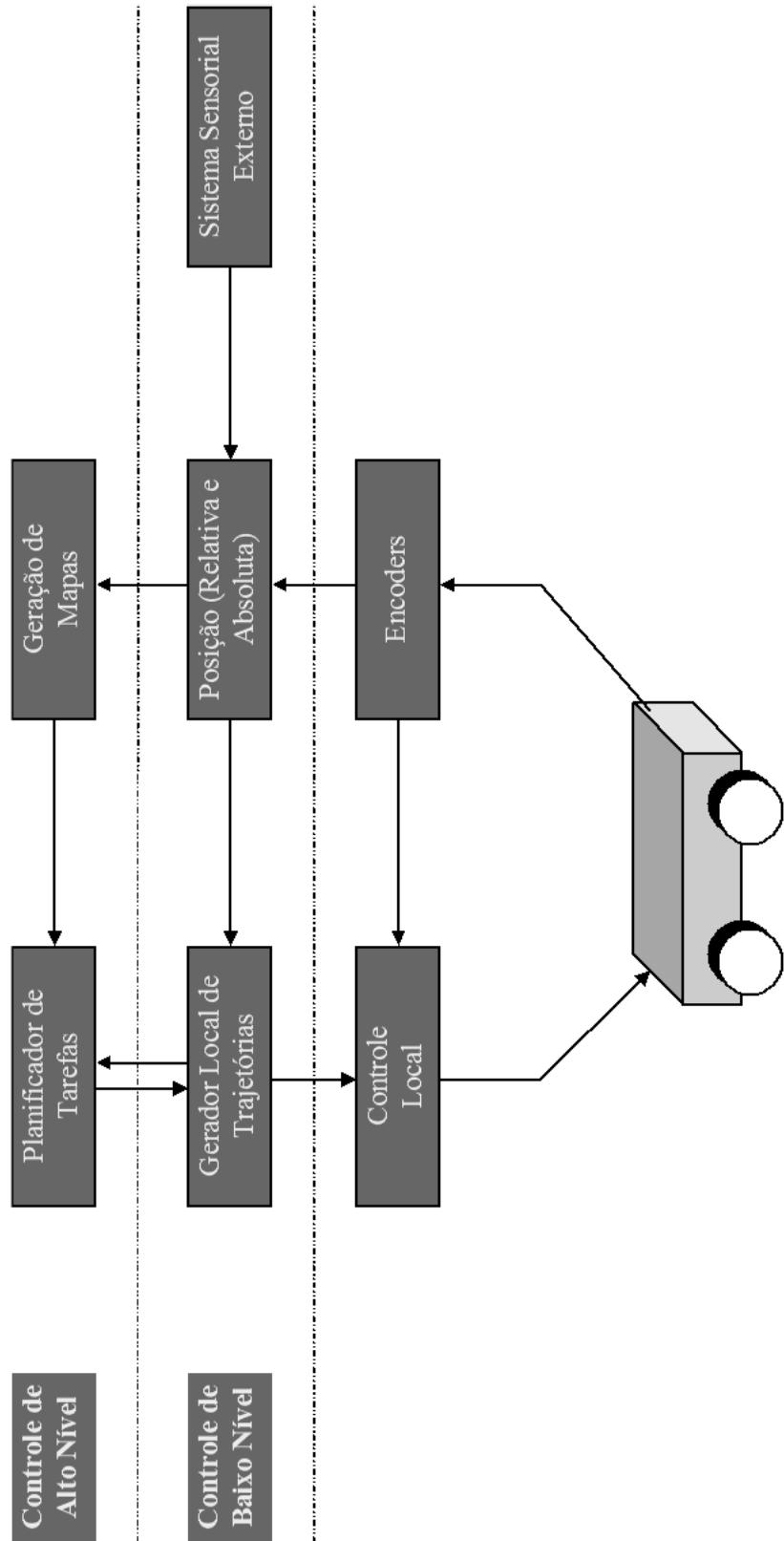
Arquiteturas Reativas

- As arquiteturas reativas, da mesma forma que as baseadas em comportamentos, são distribuídas e se compõem de um conjunto de comportamentos que trabalham concorrentemente, sem necessidade de um planificador
- Entretanto, em contraste com as arquiteturas baseadas em comportamentos, as arquiteturas reativas são menos “poderosas”, visto que as baseadas em comportamentos incorporam memória e um pré-processamento do sinal sensorial
- Para isso, um sistema reativo executa tarefas de baixo nível, assegurando a “sobrevivência” do robô

Arquiteturas Híbridas

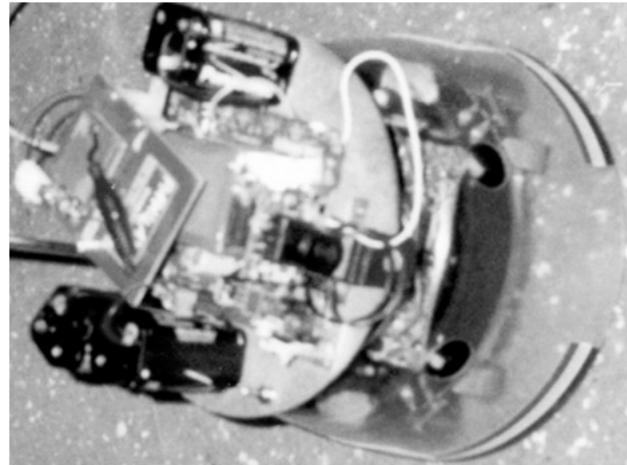
- As arquiteturas de controle híbridas apareceram mais recentemente
- Foram desenvolvidas com o objetivo de superar as limitações próprias das arquiteturas de controle consideradas anteriormente
- Estas arquiteturas integram considerações de controle clássico (alto nível) e de controle baseado em comportamentos (baixo nível) em uma estrutura coerente: um sistema reativo executa tarefas de baixo nível e um planificador estabelece tarefas de mais alto nível
- Os processos de baixo nível se encarregam da integridade do robô em cada instante, enquanto que o planificador seleciona uma série de ações a executar no futuro, em função da tarefa selecionada

Arquiteturas Híbridas



Experimentos com um Robô com Controle Baseado em Comportamentos

- Serão realizados alguns experimentos com um pequeno robô móvel a rodas, composto por sensores de infra-vermelho, sensores de contato, sensores fotoelétricos, microfone e câmara de vídeo



- Rug Warrior é um pequeno robô móvel autônomo projetado para o aprendizado de robótica e o estudo dos agentes cooperativos (multi robôs)
 - É baseado em um kit contendo microcontrolador Motorola MC68HC11, sensores, componentes eletrônicos e hardware necessário, além de um ambiente de programação "Interactive C"
 - Foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores do Laboratório de Inteligência Artificial do Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), que também publicou o livro "Mobile Robots: Inspiration to Implementation"

- É programado em um PC, e seus programas são escritos em linguagem de programação "C", utilizando o ambiente de programação "Interactive C"
- O código é descarregado para o robô através da interface serial do PC
- As rotinas de bibliotecas e o programa de auto-test para os sensores e atuadores padrão estão incluídos no kit, assim como alguns programas de demonstração. Todo o código fonte dos programas é parte do kit

Componentes do Robô

- 1 microcontrolador Motorola MC68HC11
- 32 KB de memória RAM (armazenar programas)
- 1 microfone para detecção do som do ambiente
- 2 emissores e 1 receptor de infra-vermelho (proximidade)
- 3 sensores de contato (detecção de colisões)
- 2 células fotoelétricas (detecção da luminosidade)
- 2 codificadores ópticos (velocidade das rodas)
- 1 display de cristal líquido (visualização de mensagens)
- 1 emissor piezelétrico (reprodução do som)
- 2 motores DC
- 1 porta de comunicação serial (receber programa PC)
- 1 sensor de Ultrassom (obtenção de distância)

Especificações

Componente	Típico	Mínimo	Máximo	Unidade
Tensão de alimentação (circuito lógico)	5,0	4,6	7,0	Volts
Tensão de alimentação (motor)	5,0	4,0	9,0	Volts
Frequência do clock do microcontrolador	2.0			MHz
Velocidade de transmissão serial	9600			bps
Frequência de oscilação do infra-vermelho	40	38	42	KHz
Distância de detecção de objetos pelo sensor de infra-vermelho	30			cm
Velocidade do robô	0,67			ft/seg
Pulsos do encoder por rotação	16			unidades
Peso do robô (sem baterias)	27			OZ
Corrente do motor (cada)	1,0			Ampères
Diâmetro da roda	6,3			cm
Diâmetro do robô	18,5			cm
Altura	12,0			cm

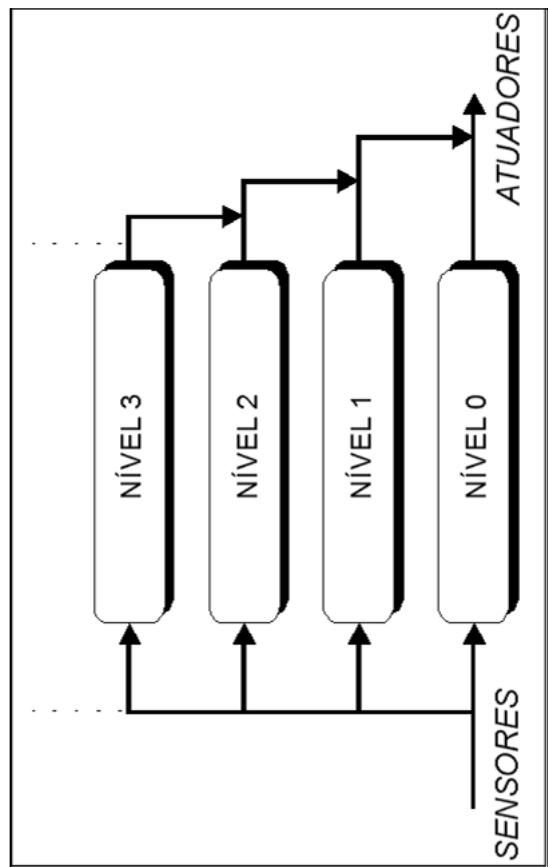
Programação

- Utiliza-se o ambiente "Interactive C", usando a linguagem de mesmo nome
- A programação é feita segundo uma arquitetura de Controle Baseada em Comportamentos
 - Com este controle, atribuem-se prioridades aos sensores, sendo que a ação a ser realizada é determinada pelo sensor ativo de maior prioridade
 - Utilizou-se o conceito de programação modular, com um arquivo separado (módulo independente) para cada sensor

Estratégia de Controle

Controle Baseado em Comportamentos

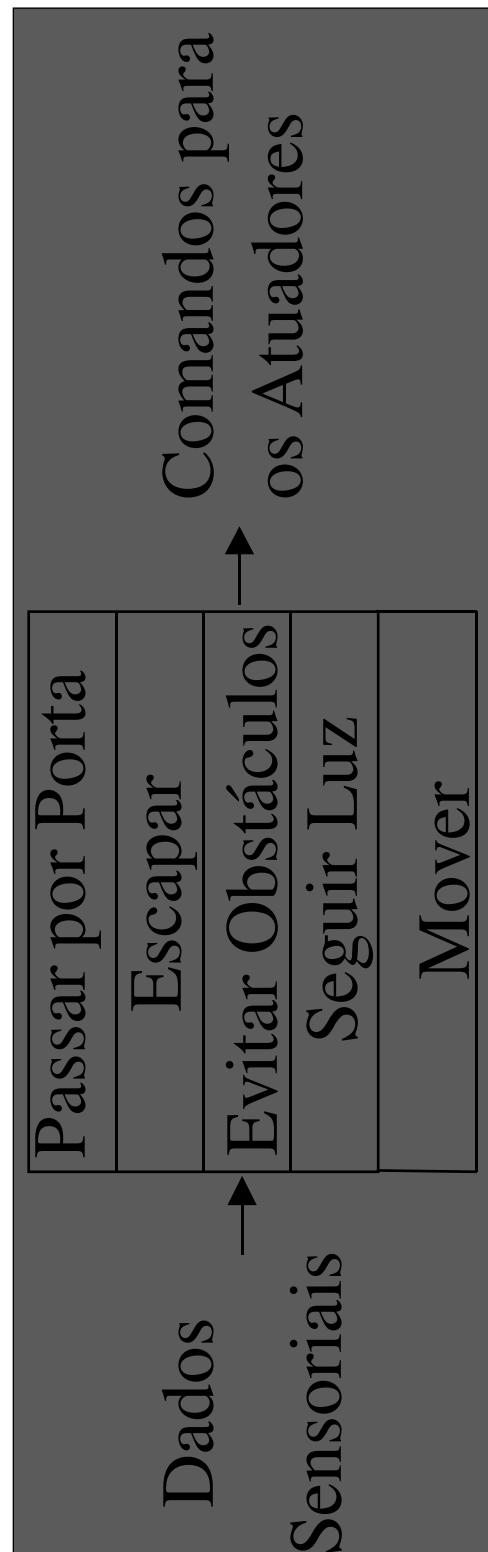
- Níveis do sistema de controle
- Disparados pelos sensores
- Esquema de arbitragem de prioridades

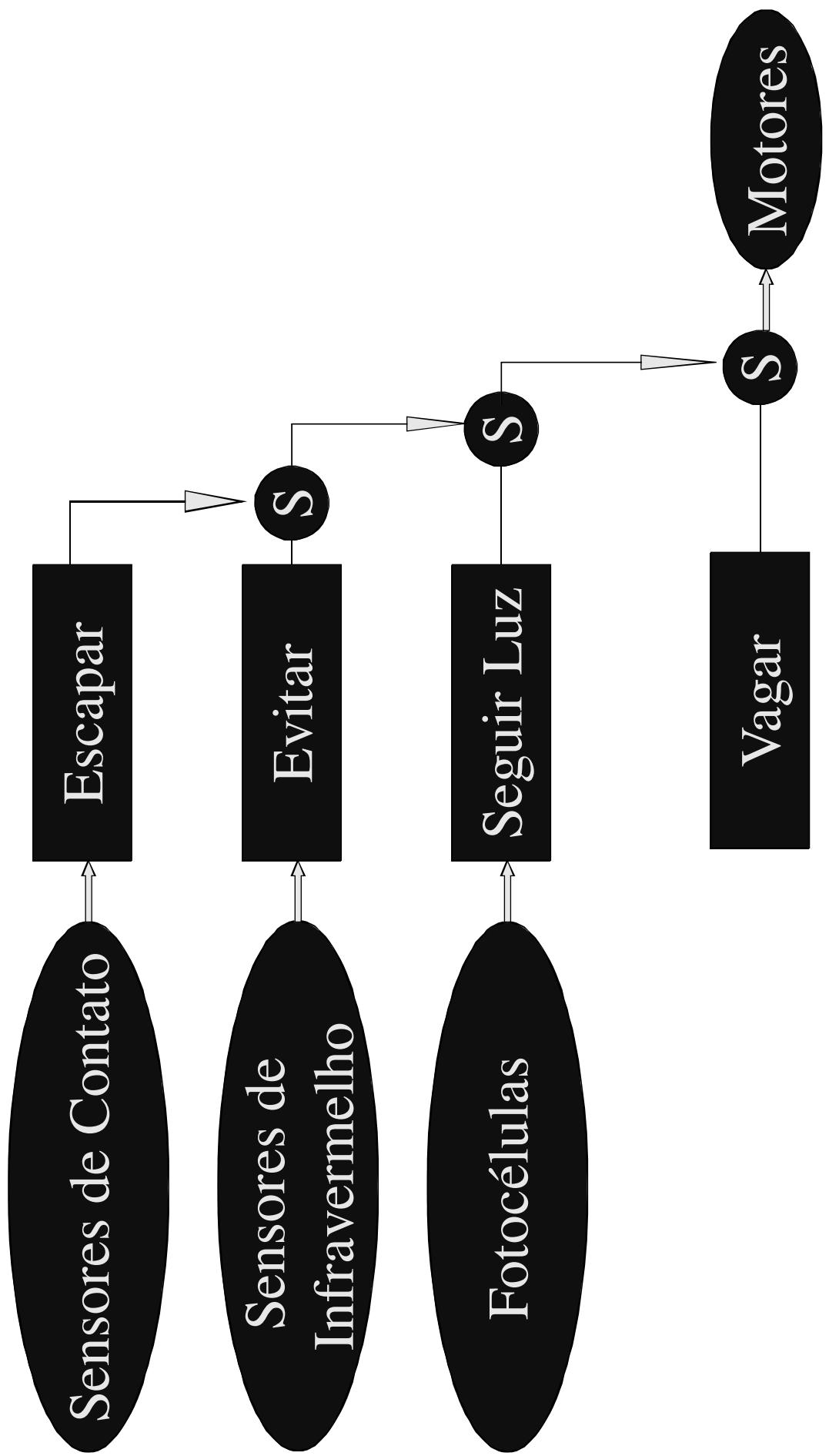


Comportamentos são níveis de sistemas de controle que correm em paralelo sempre que sensores específicos estão ativos

Representa a atitude do robô frente a determinadas entradas sensoriais. Por exemplo, desviar de um obstáculo, seguir uma fonte de luz, empurrar um objeto, etc.

Decomposição Vertical





Programa

```
void main()
{ start_process (motor_driver());
  start_process (cruise());
  start_process (follow());
  start_process (avoid());
  start_process (escape());
  start_process (arbitrate());
}
```

```
void arbitrate()
{ while (1) {
    if (cruise_output_flag == 1)
        { motor_input = cruise_output; }
    if (follow_output_flag == 1)
        {motor_input = follow_output; }
    if (avoid_output_flag == 1)
        {motor_input = avoid_output; }
    if (escape_output_flag == 1)
        {motor_input = escape_output; }
    sleep(tick); /* Message controls for one tick */
}}
```

Alguns Comportamentos

Echo

- O robô responde com movimento e som de acordo com o som captado pelo microfone

Follow

- O robô tenta seguir um objeto próximo usando o sensor de infra-vermelho

Soniccmd

- O robô é comandado por sons (um aplauso para parada, dois para giro e três para movimento frontal), utilizando o microfone

Alguns Comportamentos

Wimp

- O robô se distancia quando se choca com um obstáculo (utiliza os sensores de contato)

Yoyo

- Se ativado o sensor de contato traseiro, o robô se move para frente e em seguida para trás, voltando à posição original

Empurra Objeto

- Busca um obstáculo (utilizando sensores de infravermelho) e se detectado, move em direção ao obstáculo, choca com ele (detectado pelo sensor de contato) e o empurra

Possibilidades de Expansão

O robô possui três portas de entrada analógicas e três linhas digitais que podem ser utilizadas para implementação de outros sensores

Finalizando...

- Uma grande motivação para começar a construção de um robô móvel pode-se encontrar nos livros
 - Mobile Robots: Inspiration to Implementation
 - The 6.270 Robot Builder's Guide for the 1992 M.I.T. LEGO Robot Design Competition
 - The Robot Builder's Bonanza: 99 Inexpensive Robotics Projects

O Futuro da Robótica

- Robôs Móveis mais avançados introduzidos nos ambientes industriais e mais eficientes nas explorações espaciais
- Introdução de robôs em nosso dia-a-dia (casa, escritório, escola, etc.)
- Próteses Mioelétricas
- Construção de Andróides

Sociologia da Robotização

Uma questão de Ética

- Aumento do desemprego pela substituição de trabalhadores por robôs
- Aumento da produtividade e lucro das empresas sem avanços consideráveis na qualidade de vida dos trabalhadores
- Solução: conhecer não apenas a tecnologia mas a ciência embutida
- A grande qualidade do homem frente às máquinas: A CRIATIVIDADE