

Sensores: Características e Aplicações

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

Sensores para Robôs Móveis

Sensores para Robôs Móveis

□ Podem ser Internos e Externos

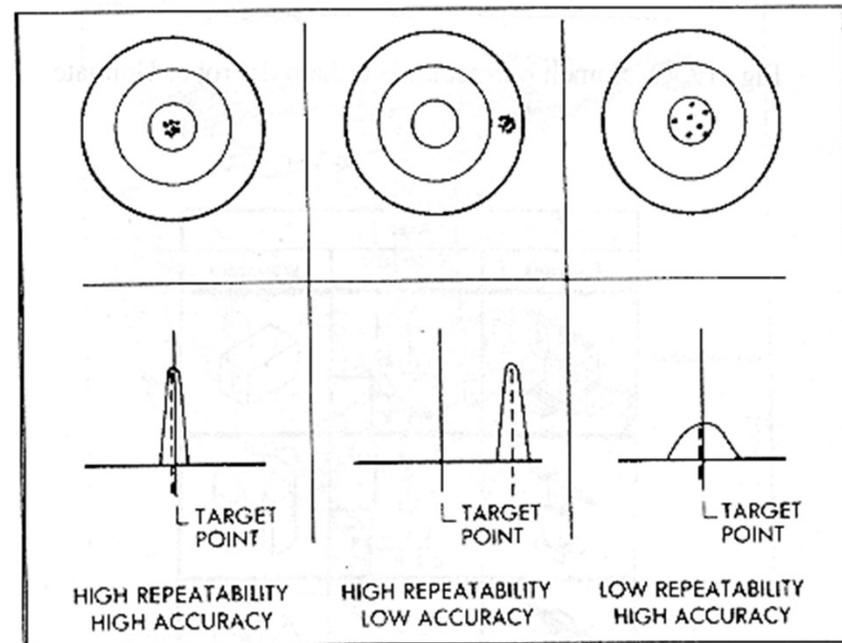
Sensores Internos

- ◇ 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

Sensores para Robôs Móveis

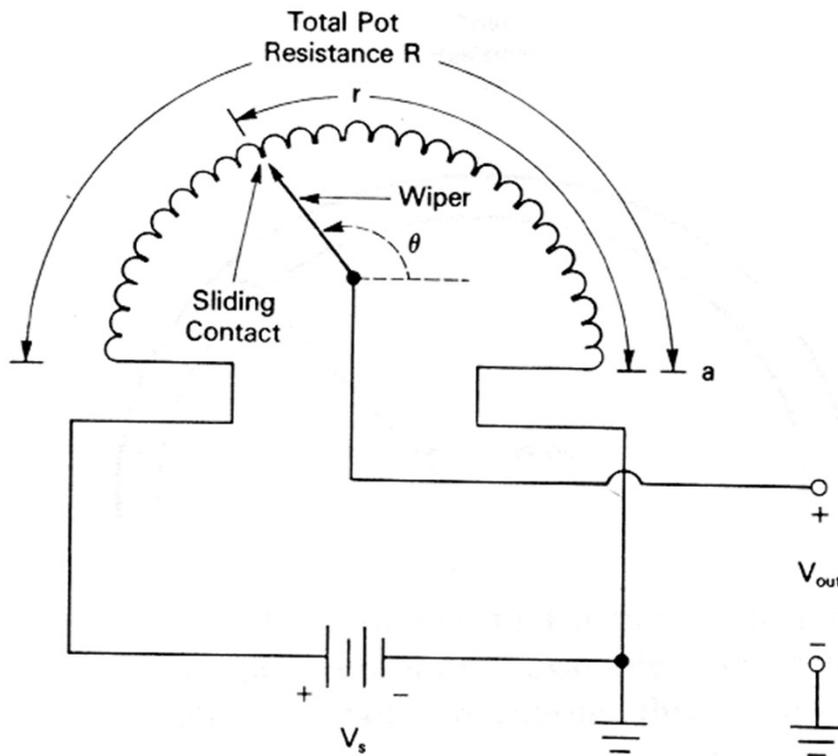
□ Precisão e Repetitividade

- ◇ Precisão: capacidade do robô de ir a uma posição desejada, com respeito a um sistema de referência fixo (normalmente a base do robô), com um erro determinado (por exemplo 1 mm), chamada precisão em posicionamento absoluto
- ◇ Repetitividade: capacidade do robô de, uma vez conhecida e alcançada uma posição, e partindo-se da mesma condição inicial, voltar a ir ("repetir") novamente a tal posição com um erro determinado
- ◇ A maioria dos manuais dos robôs informa sobre a repetitividade do robô e não a precisão absoluta, muito mais difícil de se obter



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



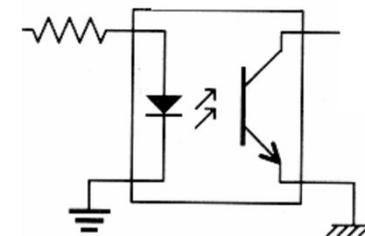
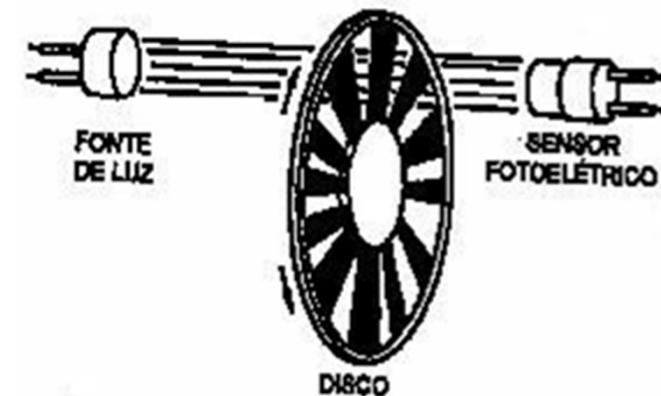
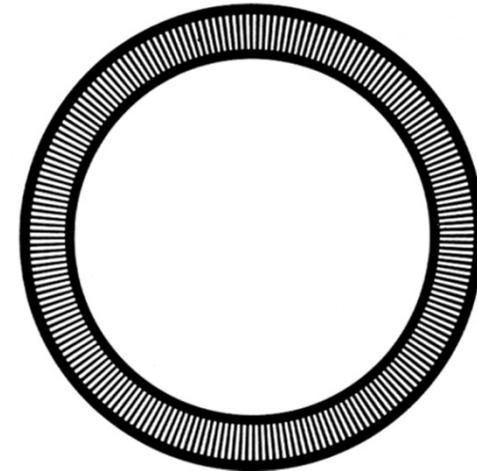
Vídeo

Codificadores (encoders) ópticos

- Podem ser utilizados para estimar:
 - 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

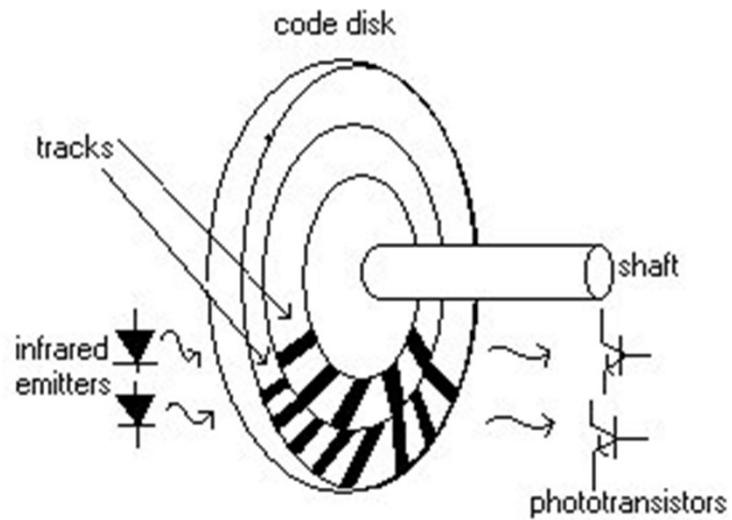


Fig 1. A rotary optical encoder



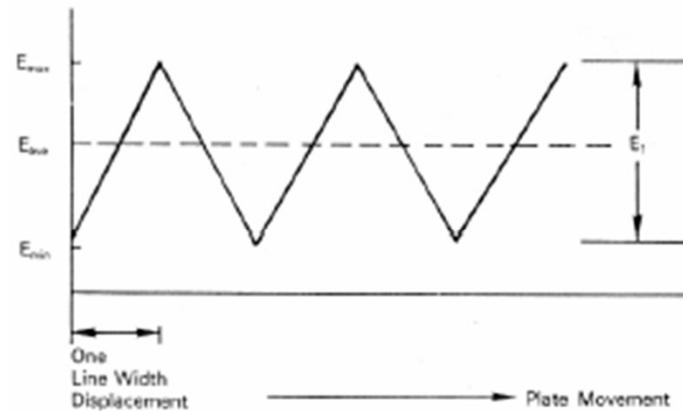
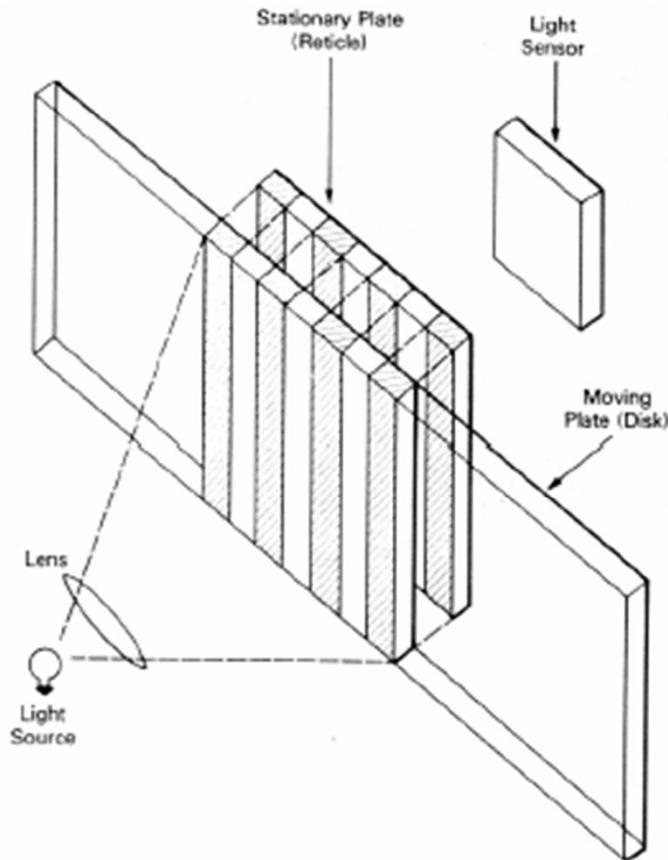
Encoder incremental (Determinação de Sentido de Rotação)



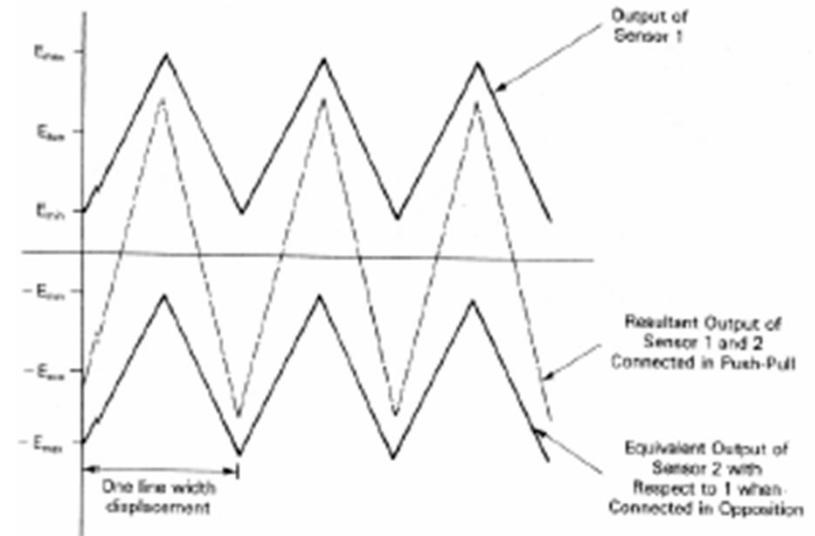
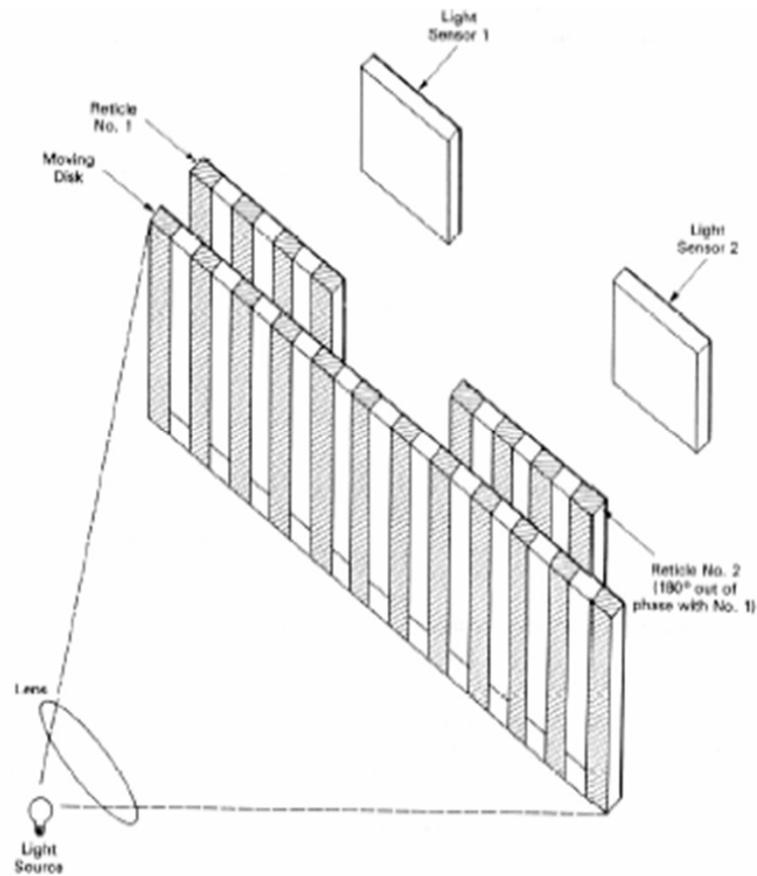
A está adiantado em relação a B (sentido horário)



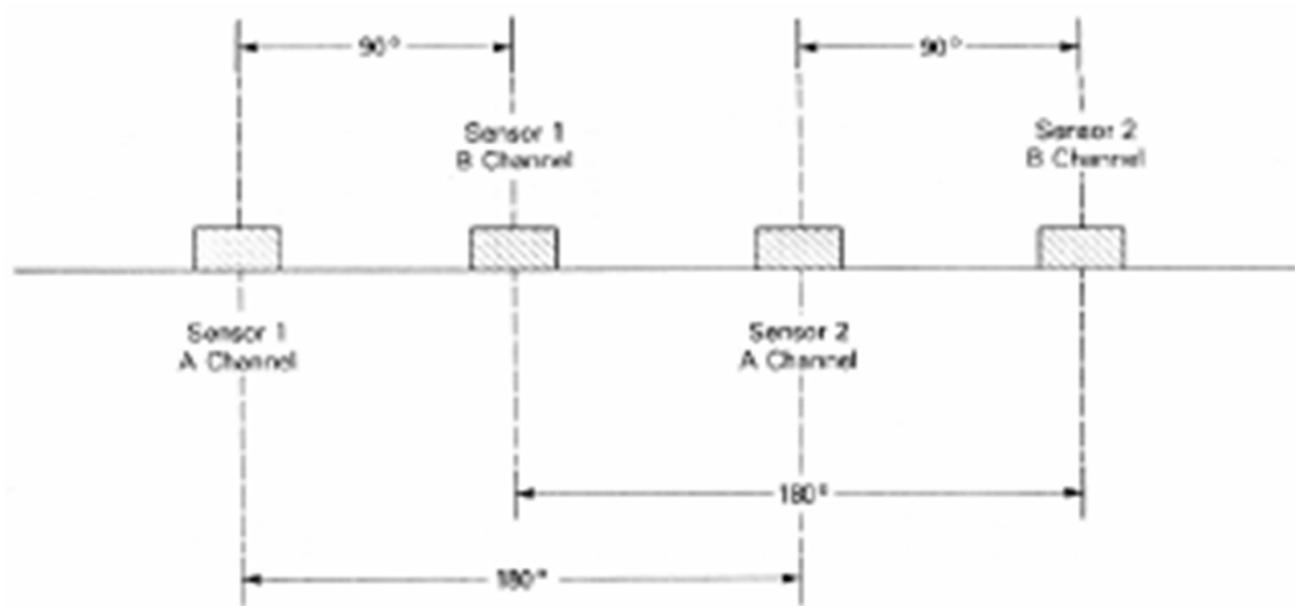
A está atrasado em relação a B (sentido anti-horário)



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

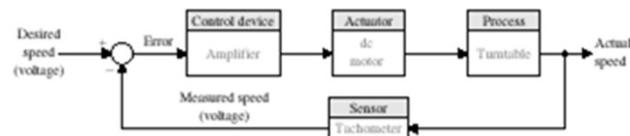
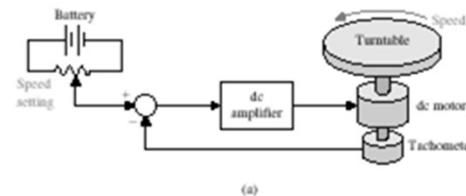
Encoder: exemplo de aplicação

- Medir deslocamento e velocidade das rodas (motores) 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.
- Pode-se utilizar também encoder e conversor de frequência para tensão



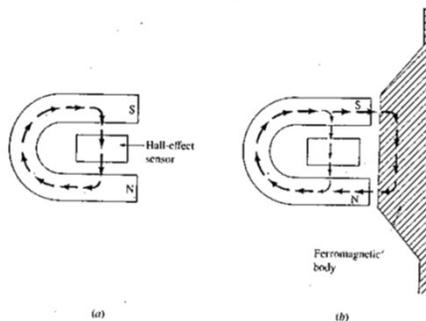
Sensor Indutivo+Engrenagem

OU

Sensor de Efeito Hall+Ímã

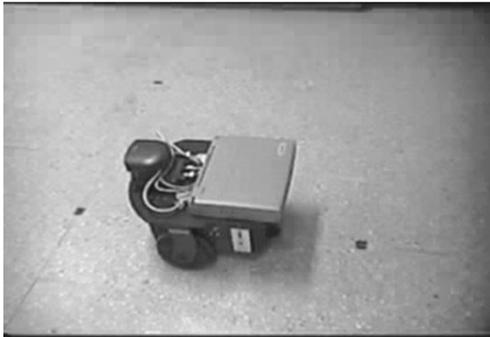
(velocidade)

- 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

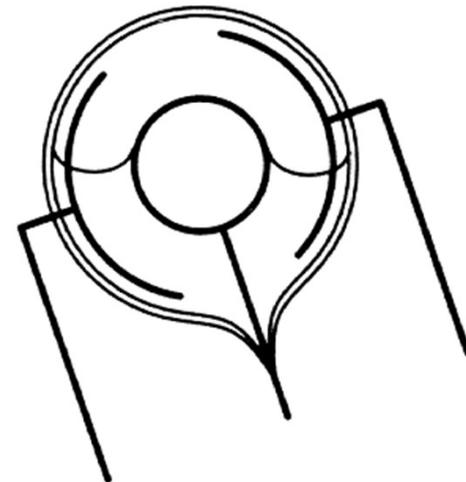
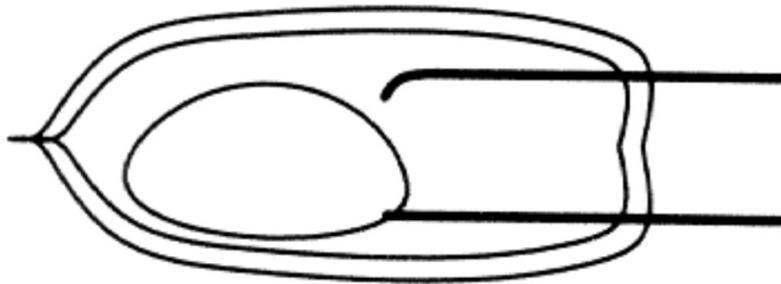


Bússola (orientação)

- 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

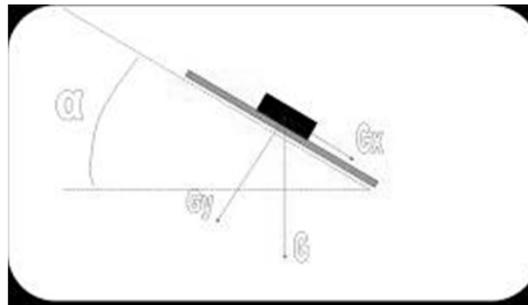
- Permite a um robô móvel saber se está em nível ou inclinado em relação a uma superfície plana
- Existem vários tipos de sensores de inclinação que proporcionam o ângulo relativo entre o corpo do robô e o vetor de gravidade



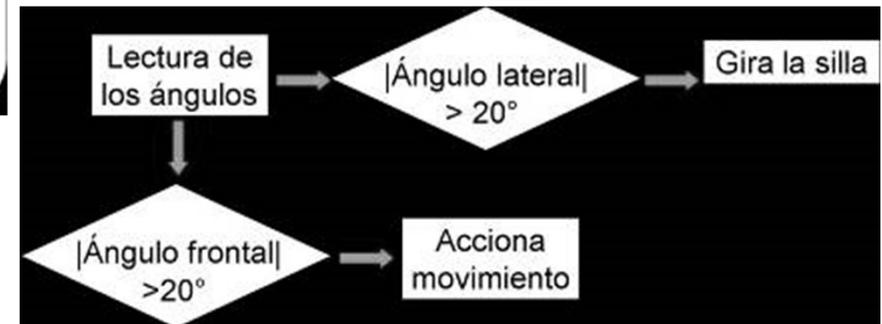
□ Vídeo

Cadeira de Rodas Controlada por Movimentos de Cabeça

-Usando Acelerômetro-



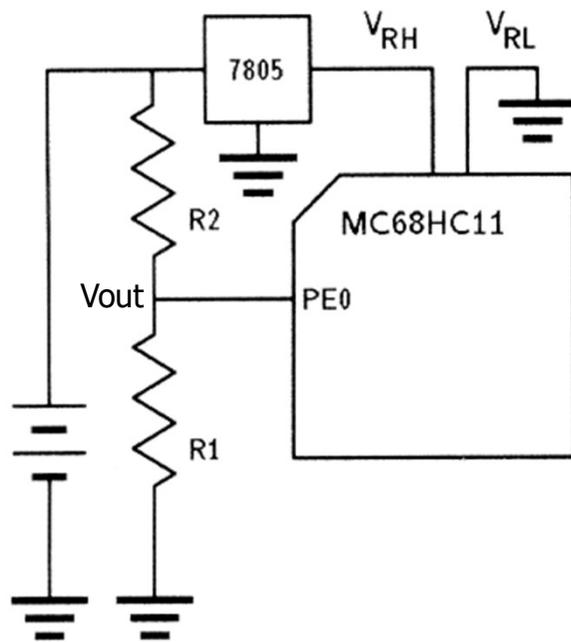
$$\alpha = \arccos (Gy/G)$$



- Experimentos realizados com cadeira de rodas comandada por movimentos 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

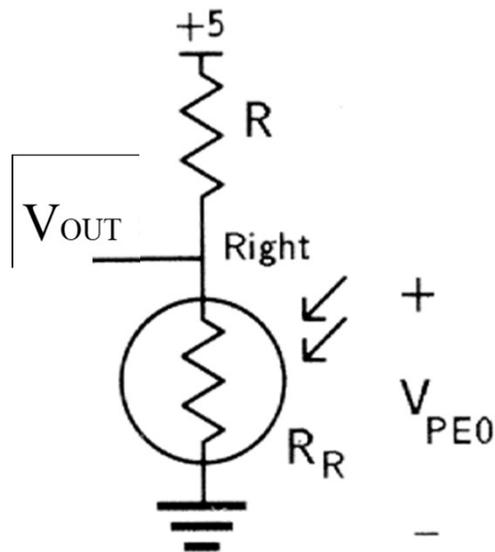
- Uma forma simples de detectar a corrente drenada por um motor é inserir uma pequena resistência ($\approx 1\Omega$) em série com o motor, amplificar a tensão sobre o resistor, e medir a tensão (por exemplo com um dos canais A/D do microprocessador)
- Pode-se também utilizar um sensor de efeito Hall

Sensores Externos

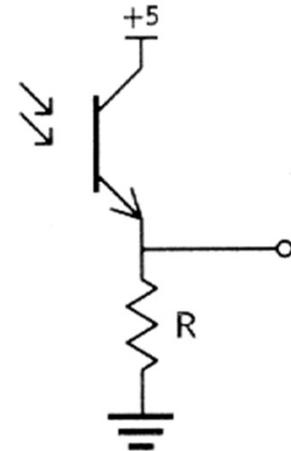
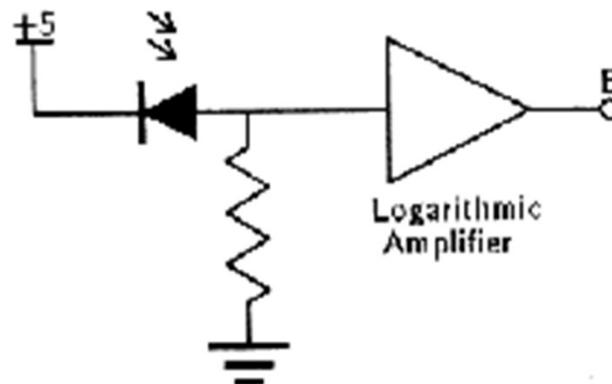
- ◇ Fotoresistor, fotodiodo, fototransistor (luz)
- ◇ Sensor de infravermelho (proximidade a obstáculos)
- ◇ Sensor piroelétrico (presença humana)
- ◇ Câmara de vídeo (imagem)
- ◇ *Strain Gages* e FSR (força)
- ◇ Micro-interruptor (contato com obstáculos)
- ◇ Sensor de curvatura (contato com obstáculos)
- ◇ Microfone (som)
- ◇ Sensor de ultrassom (distância)
- ◇ Sensor laser (distância)
- ◇ GPS (localização espacial – ambientes externos)

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.



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



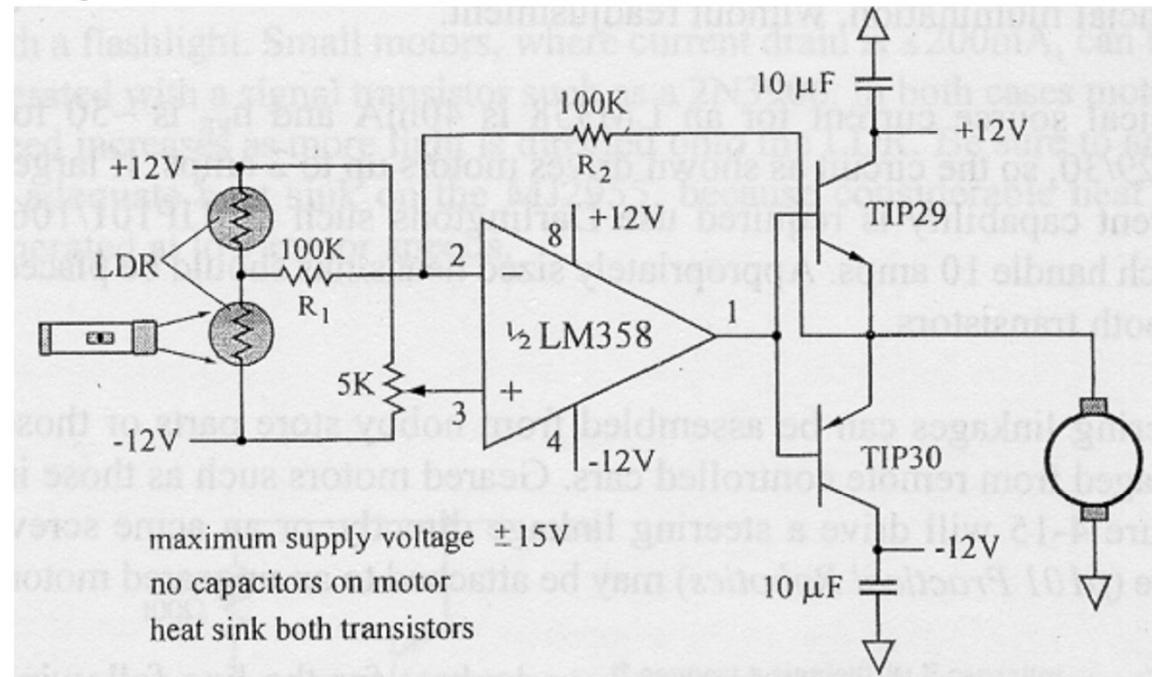
Exemplo de Uso de Fotoresistor (LDR)

- Seguir Fonte de Luz -

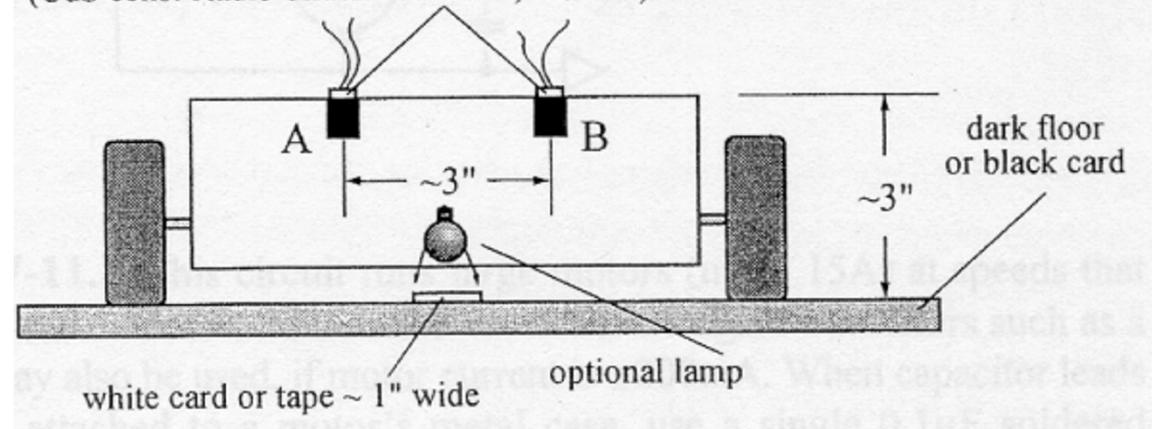
Vídeo

Vídeo

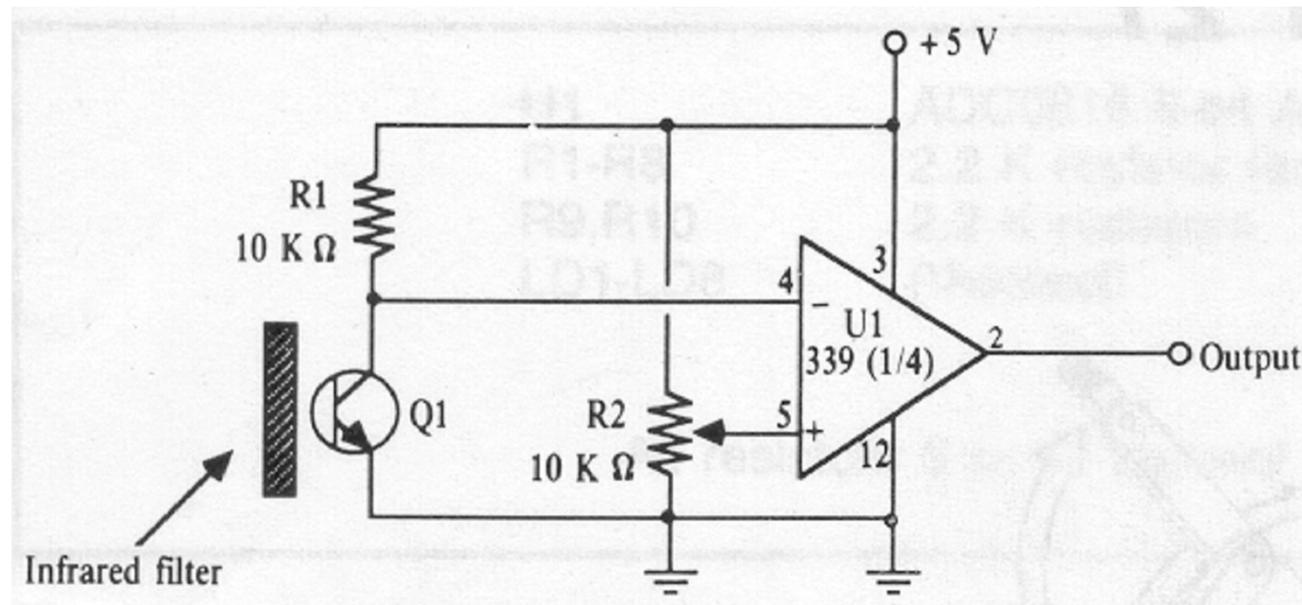
Vídeo



LDR with 0.5" cylindrical black shield
(CdS cells: Radio Shack 276-1657, 5/\$2.29)



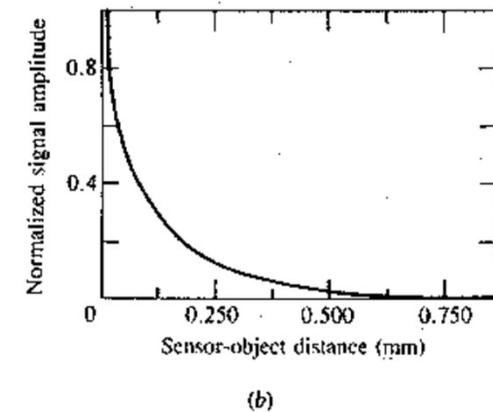
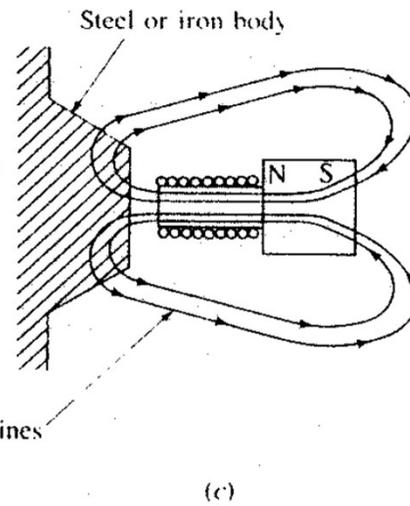
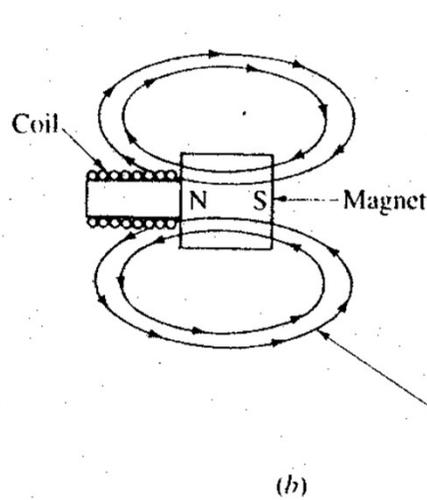
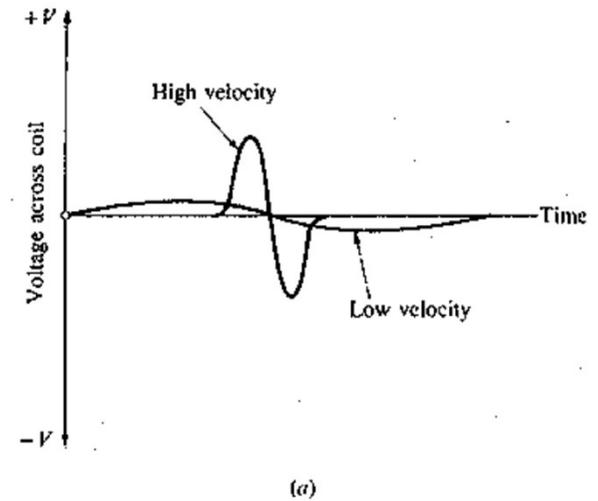
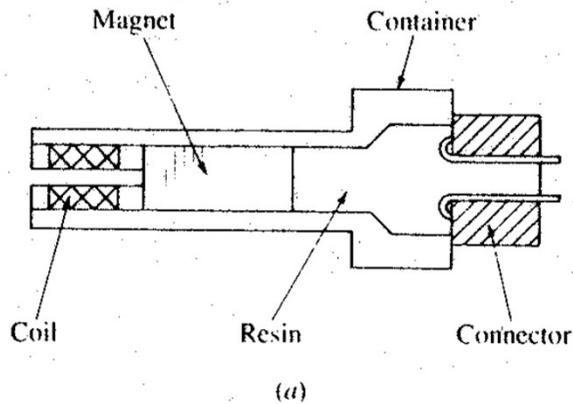
Exemplo de Uso de Fototransistor - Sensor de Fogo -



Vídeo

Sensor Indutivo

- Produzem uma variação na indutância na presença de objetos metálicos



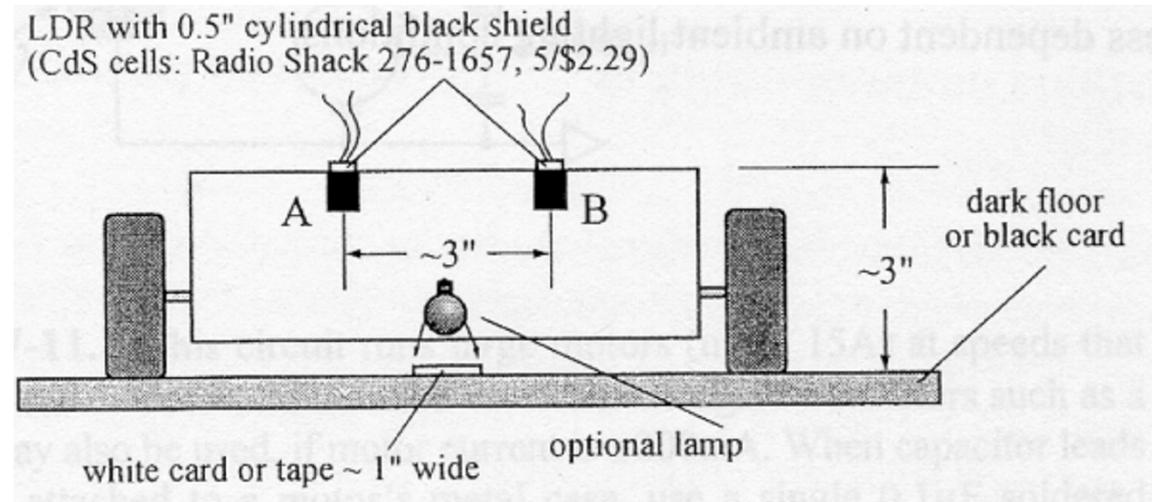
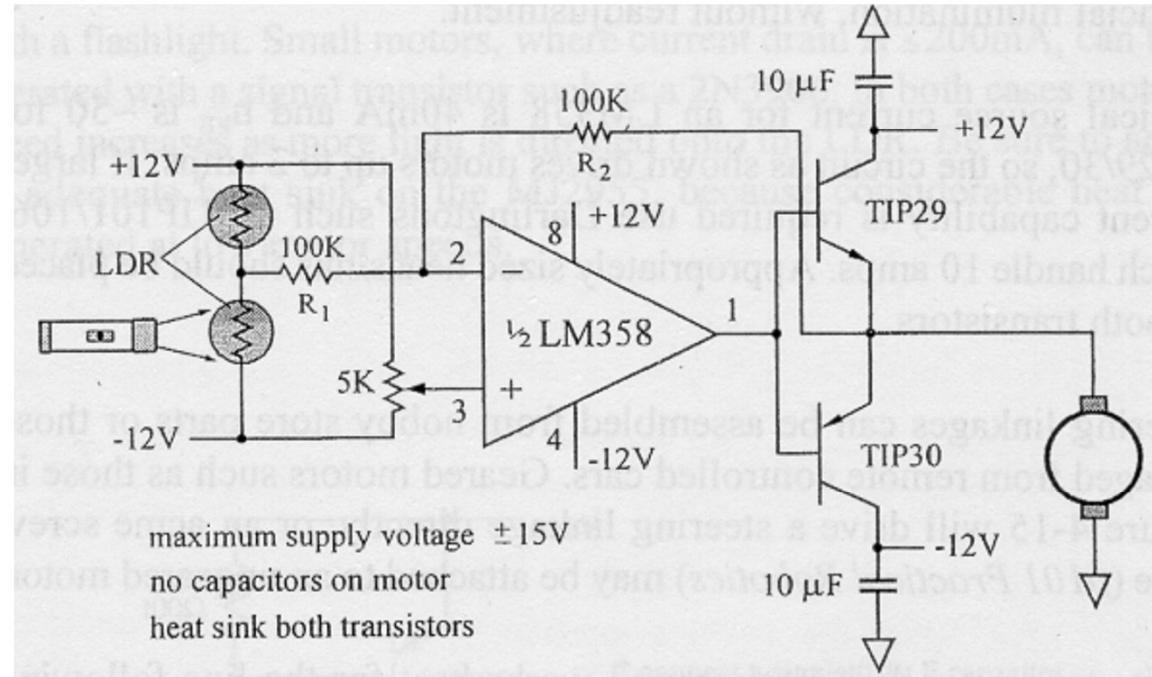
Exemplo de Uso de Sensor Indutivo

- Seguir Fita Metálica -

Vídeo

Vídeo

Vídeo

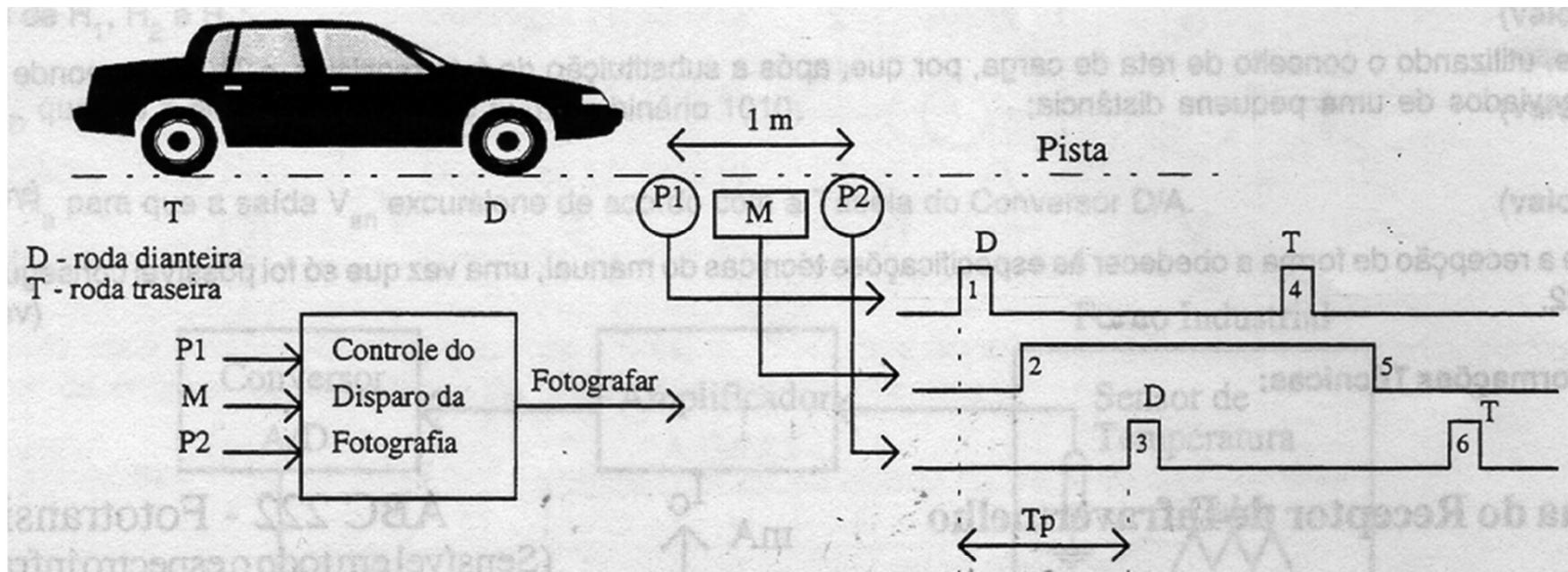


Aplicações de Sensor Indutivo

- Robô manipulador industrial de grandes dimensões, desenvolvido por Barnes and Reineke utilizado para limpar cascos de navios
- São utilizados três sensores indutivos para manter a ferramenta de limpeza dentro de uma faixa de 0 a 4 cm do casco

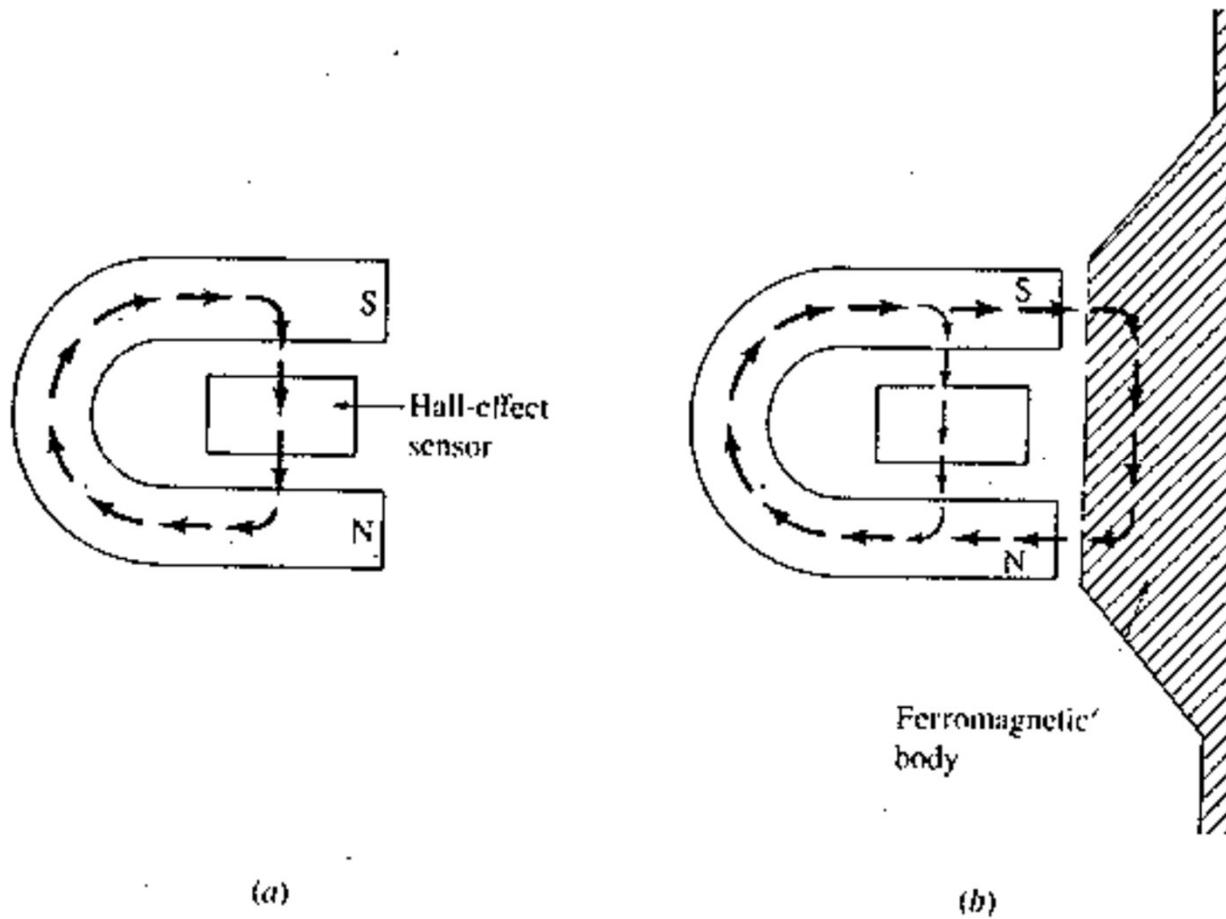


Sensor Indutivo: Exemplo de Aplicação



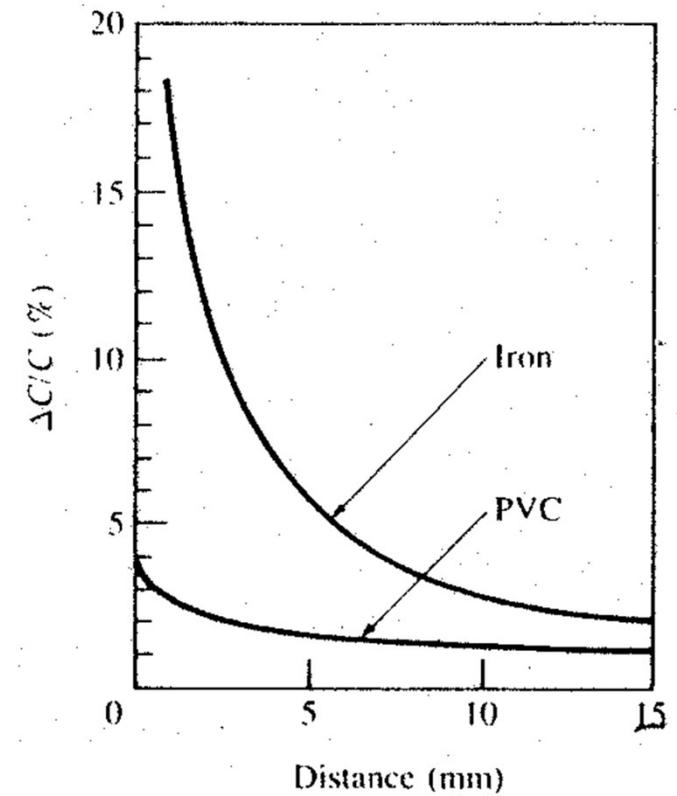
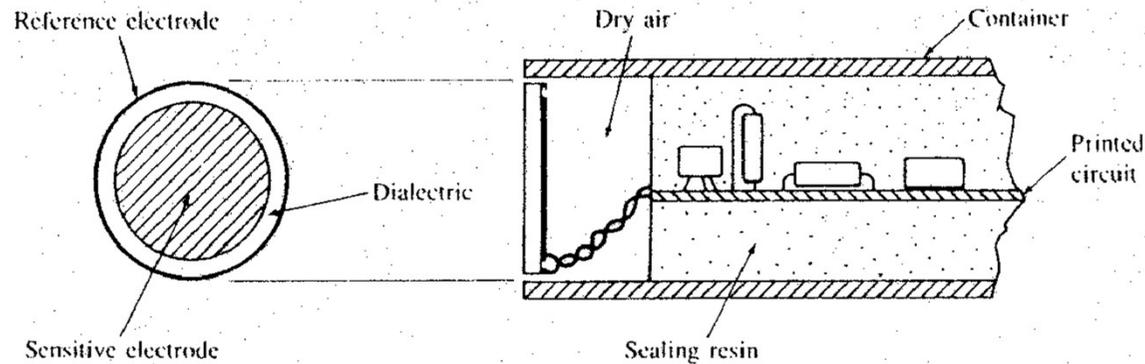
Sensor de Efeito Hall

- 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



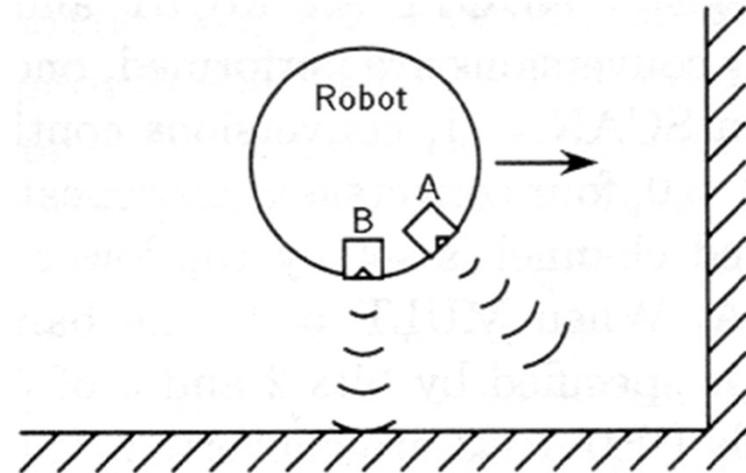
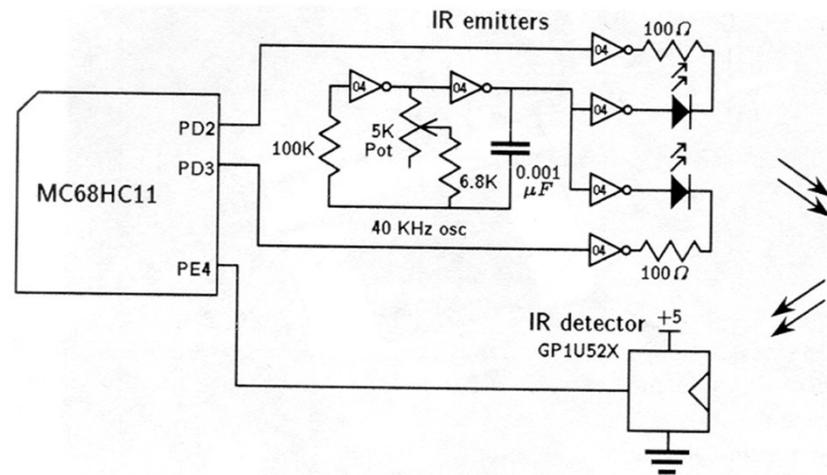
Aplicações de Sensor Capacitivo

▣ Robô N-MARIA

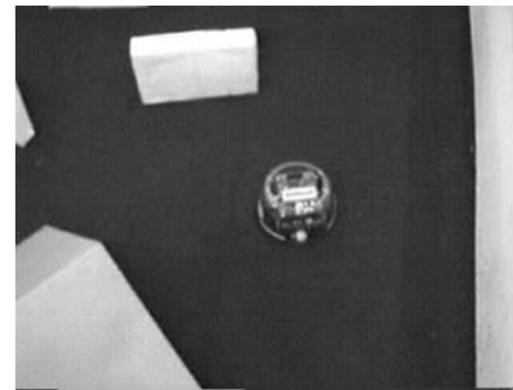


Sensor de Infravermelho

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



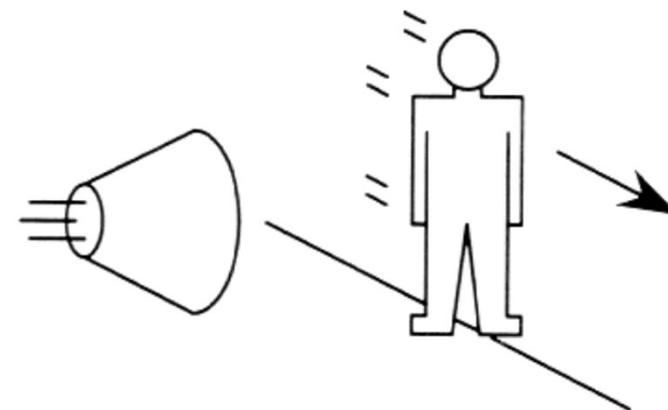
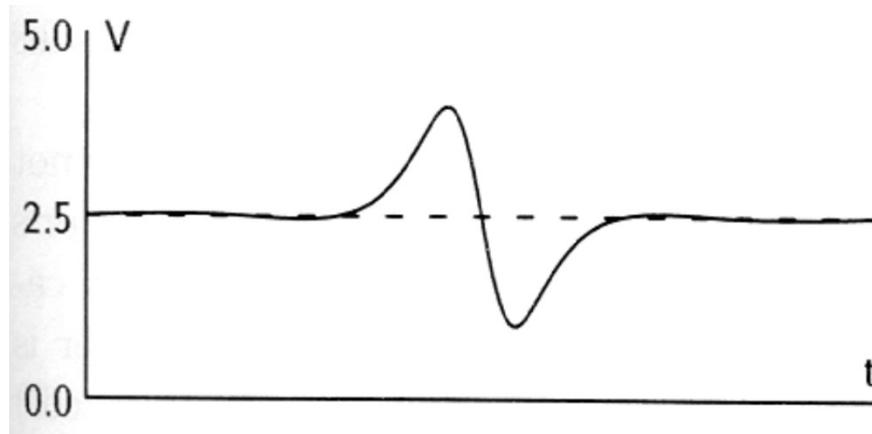
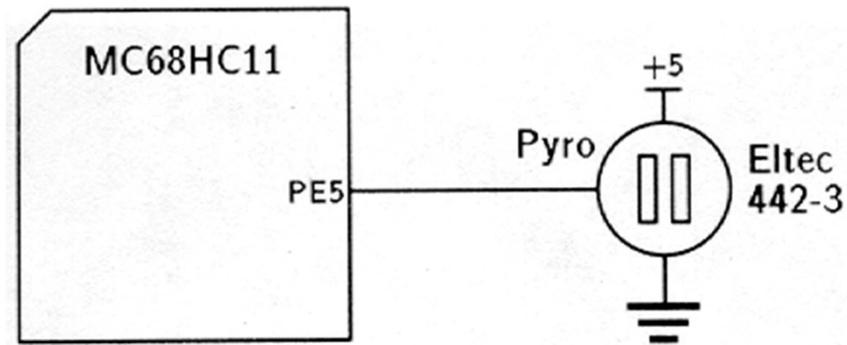
□ Vídeo



Sensor Piroelétrico

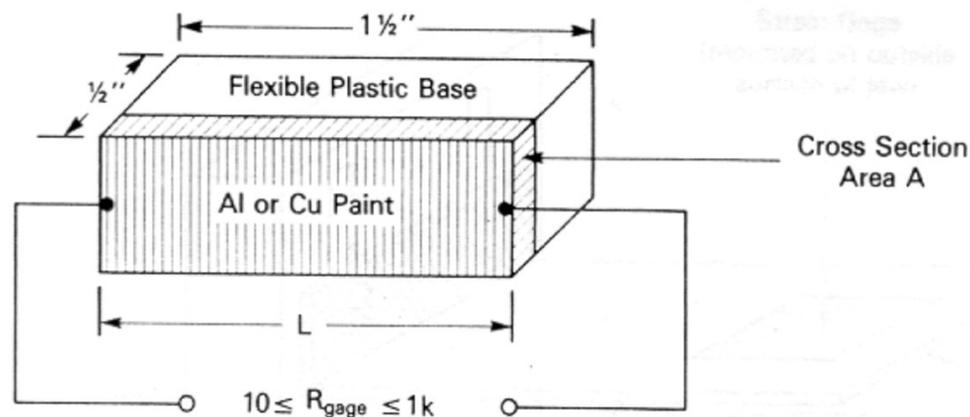
- Permite a detecção da presença de seres humanos
- Pode ser utilizado para inicializar movimento do robô

□ Vídeo



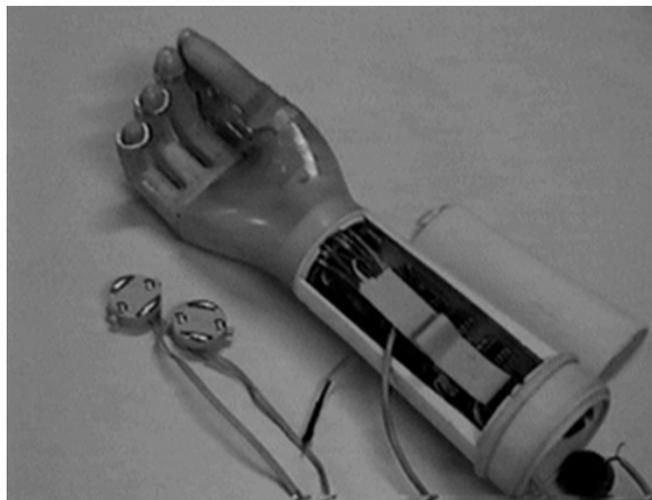
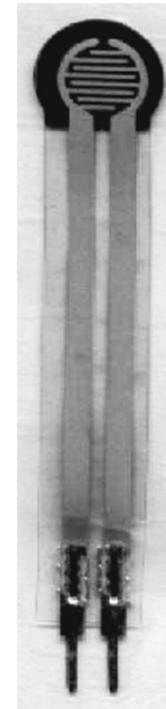
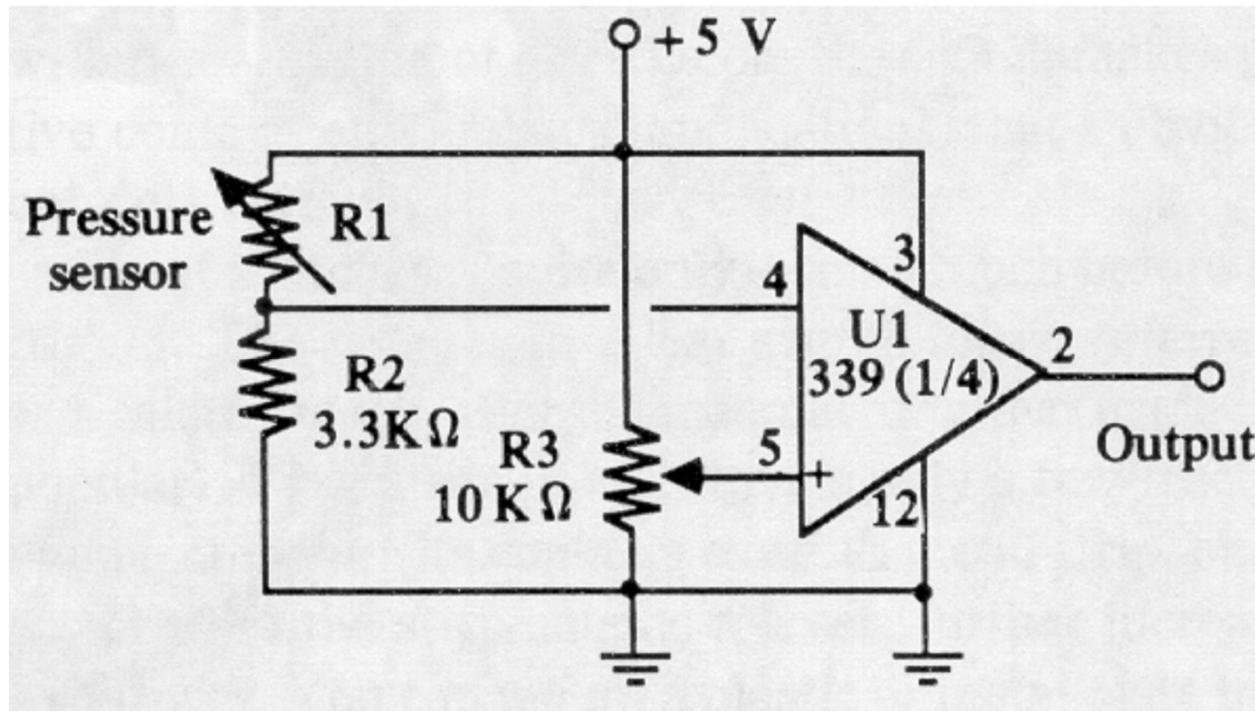
Sensor de Força

- 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



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

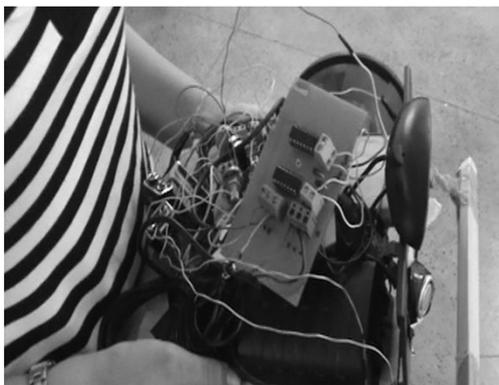
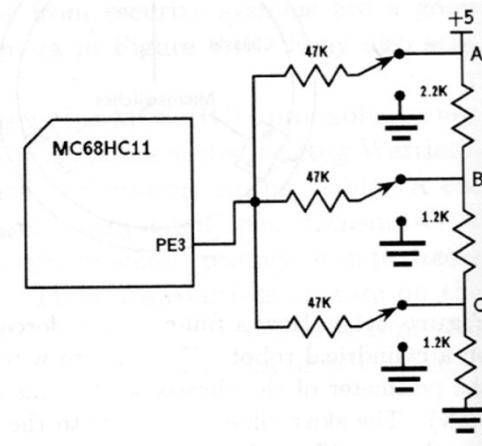
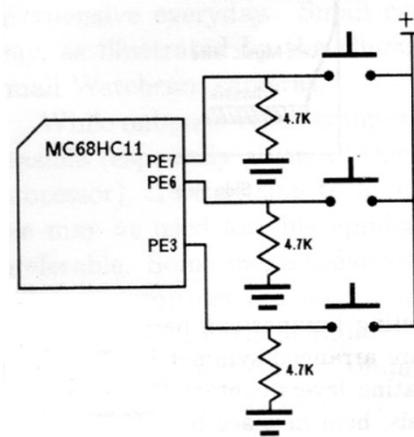
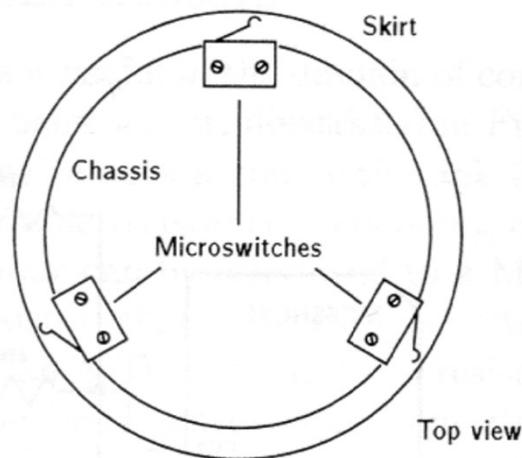
Exemplo de Uso de Sensor de Força (FSR)



Interruptor

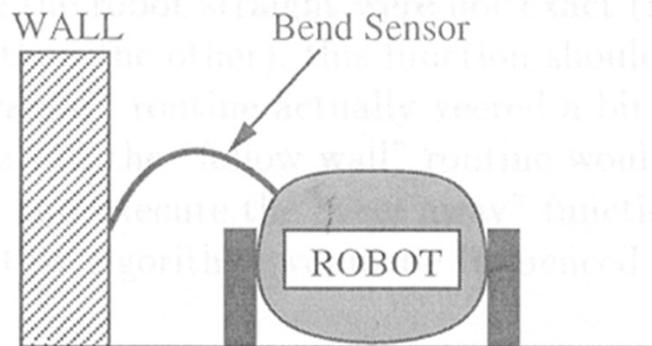
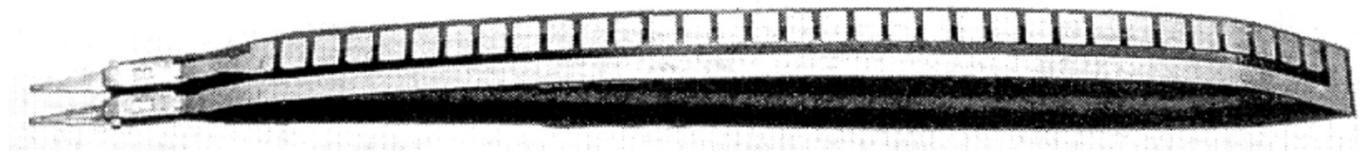
Permite detecção de contato

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



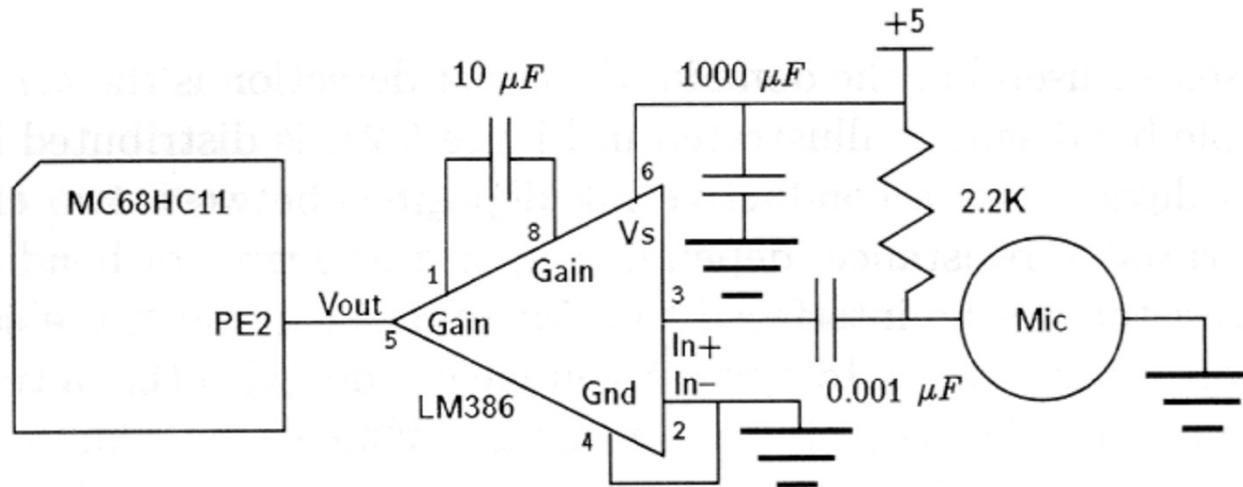
Sensor de Curvatura

- 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



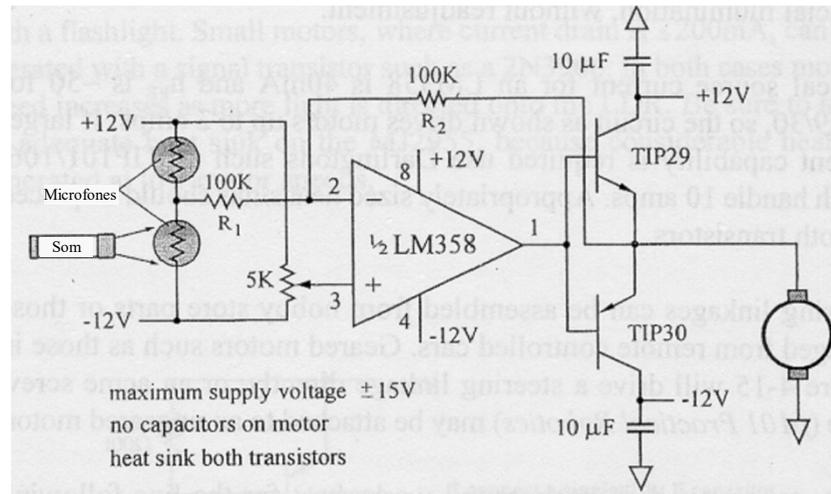
Sensor Acústico: Microfone

- São dispositivos que transformam energia mecânica (som) em energia elétrica (tensão)
- Permite que um robô móvel:
 - mova-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



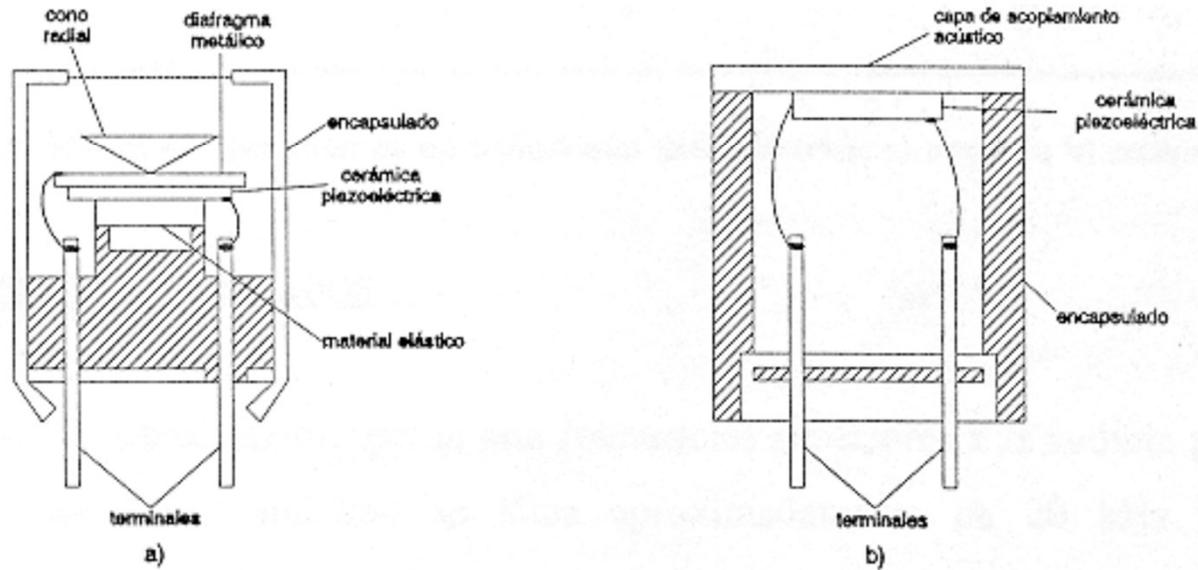
Vídeo



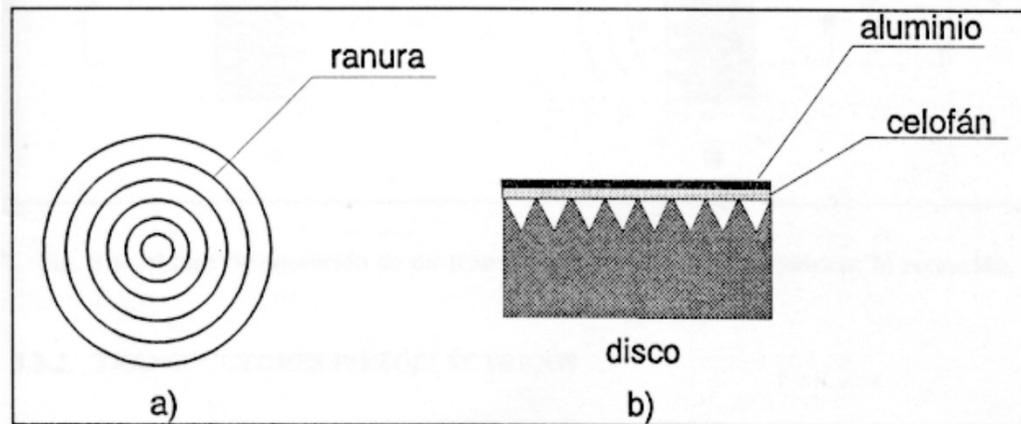
Sensor Acústico: Sensores de Ultrassom

- 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 Ultrassom

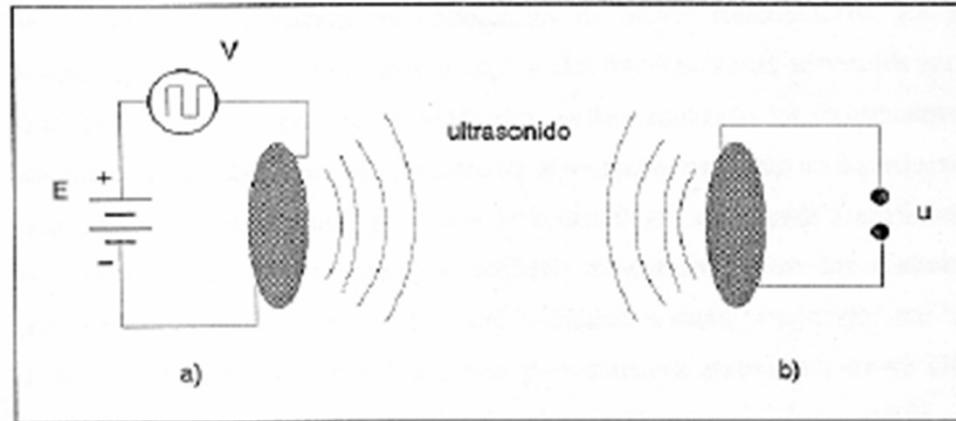


Transdutores Piezelétricos

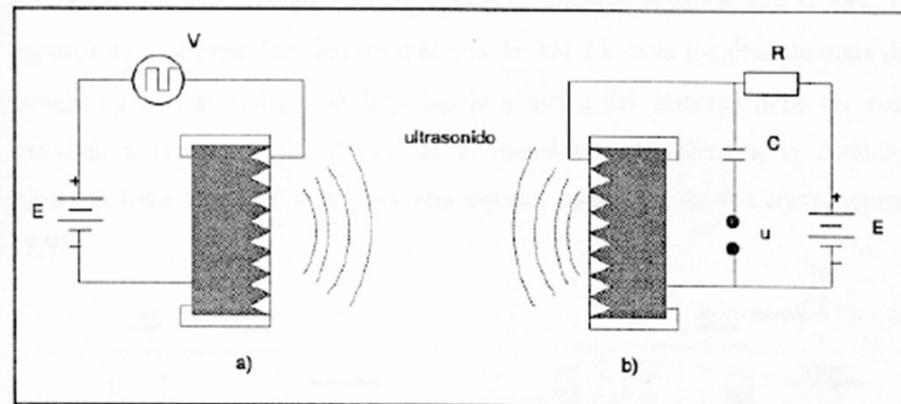


Transdutor Eletrostático

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):

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

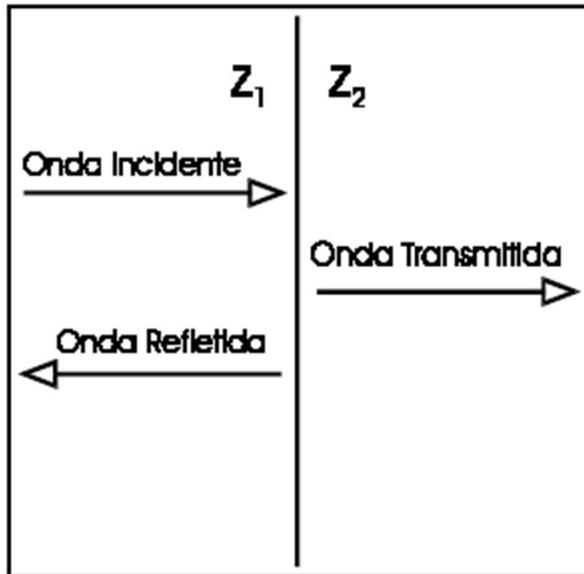
onde γ é a constante adiabática dos gases, R é a constante universal dos gases perfeitos, M é a massa molecular do gás e T_k é a temperatura (em Kelvin)

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

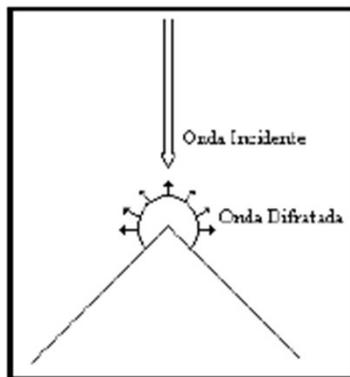
$$c = V_0 + 0,61T$$

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 frequência 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)

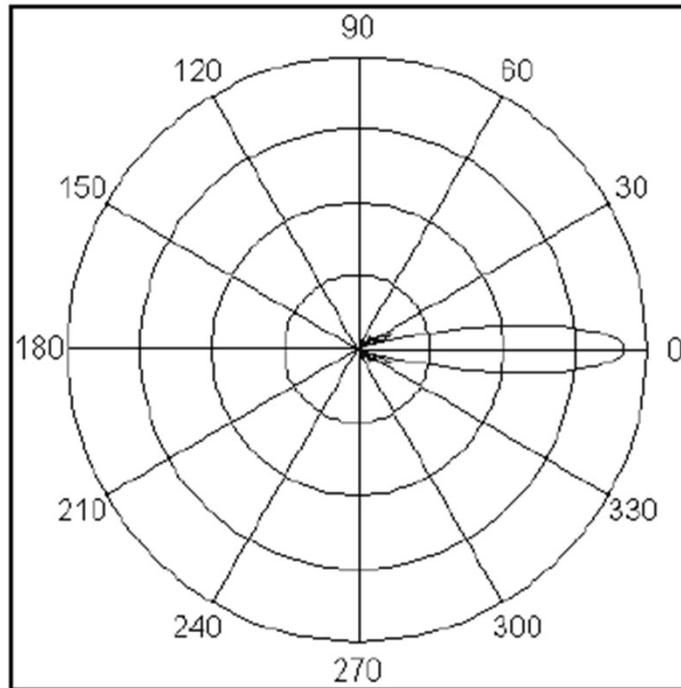
O lóbulo de emissão de um transdutor é definido como a linha virtual no espaço que une os pontos que vibram com uma mesma amplitude

Os lóbulos dependem da composição geométrica que envolve o transdutor, da frequência 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 diretivo 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

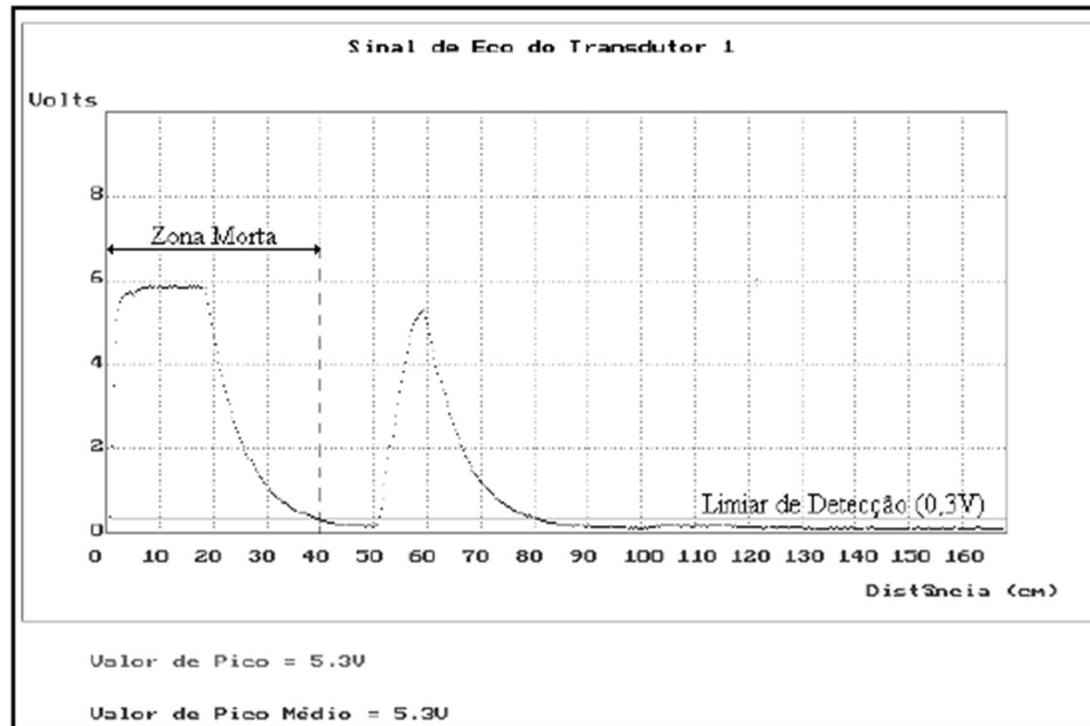


$$\theta = \arcsen\left(0,61 \frac{\lambda}{a}\right)$$

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 tratáveis 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:

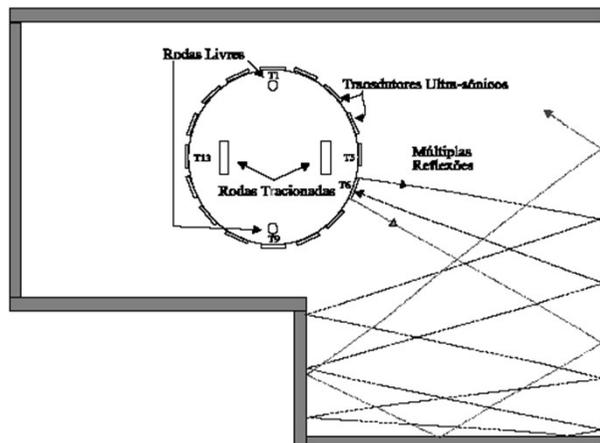
Fontes de Erro Indiretamente Tratáveis

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

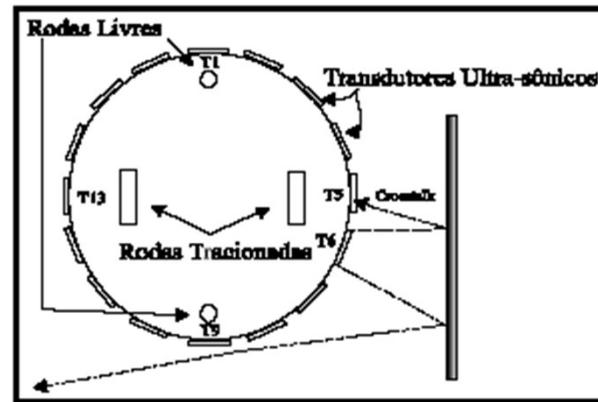
Isto faz com que o sistema de sensoriamento detecte a presença de um obstáculo a uma distância muito maior do que a real



Sensores de Ultrassom: Fontes de Erro Indiretamente Tratáveis

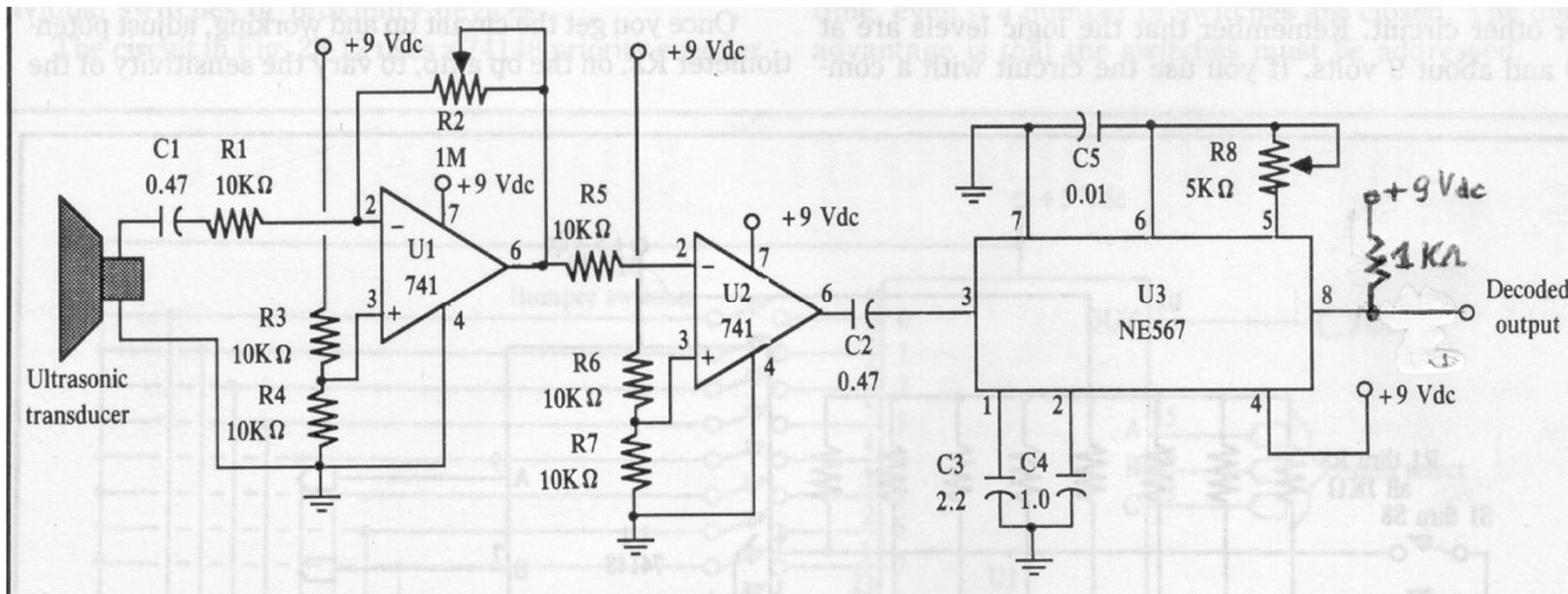
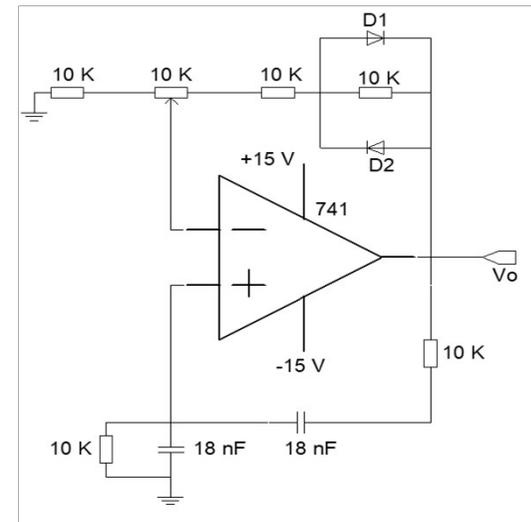
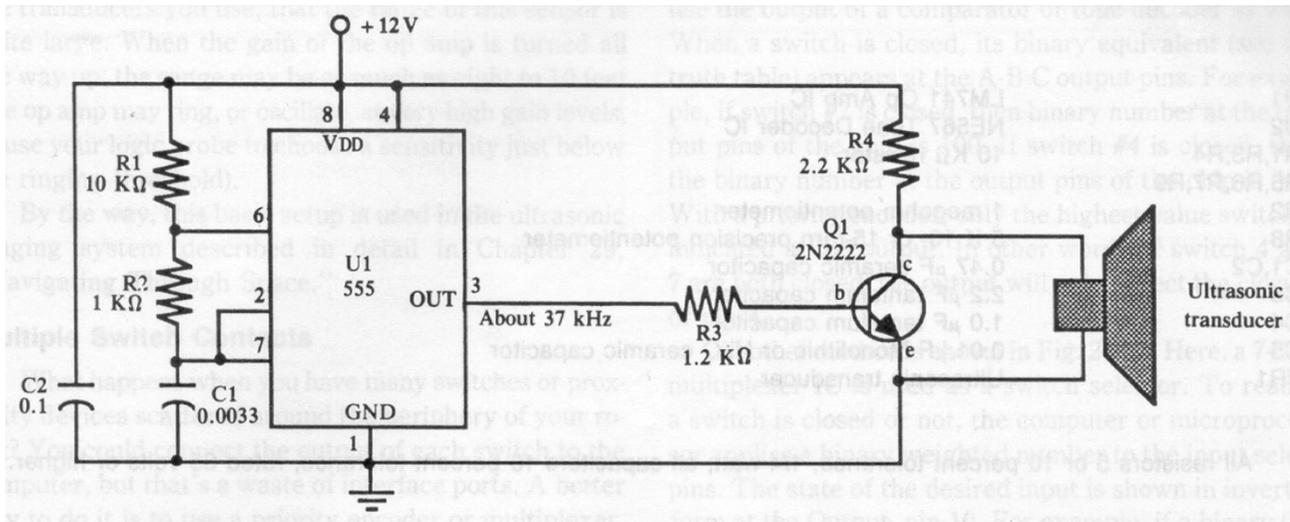
O crosstalk (linha cruzada), é um fenômeno que ocorre em sistemas que empregam mais de um transdutor ultrassônico

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

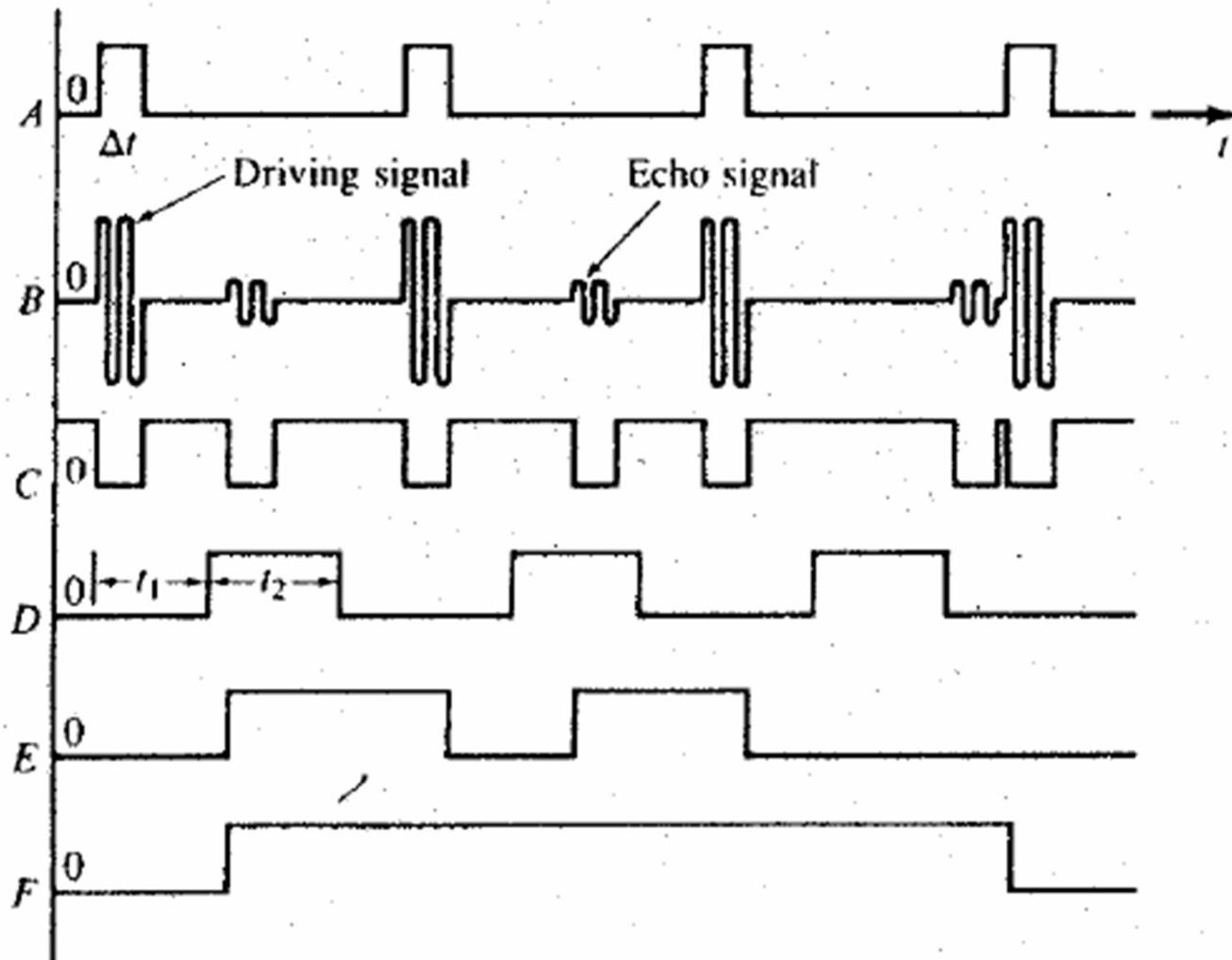
Sensor de Ultrassom: Exemplo de Aplicação



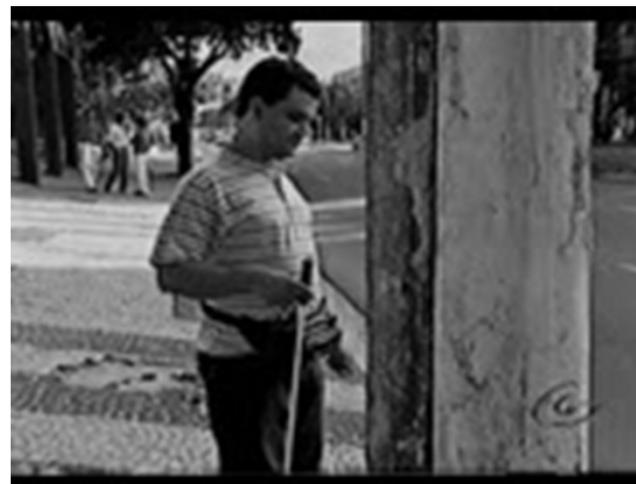
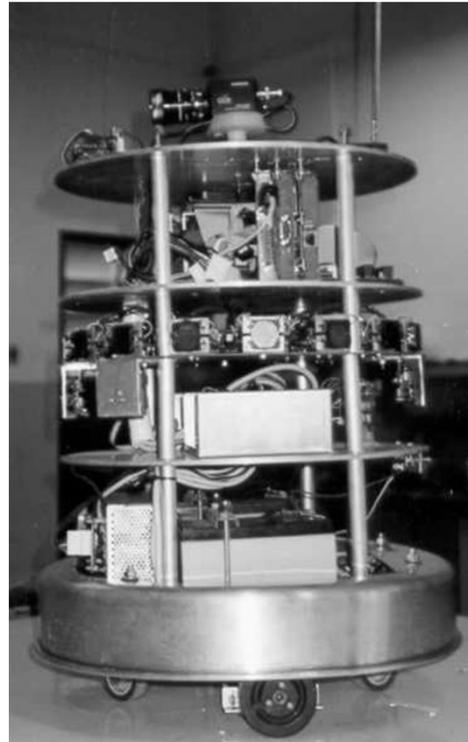
Vídeo

Vídeo

Sensores de Ultrassom: Detecção de Ecos

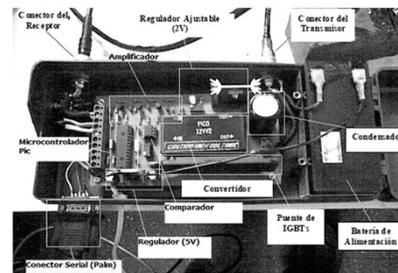
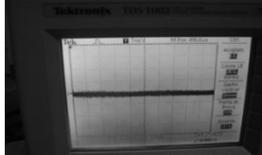
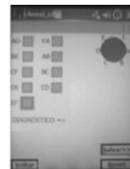
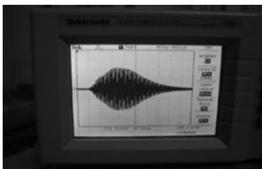


Sensor de Ultra-Som: Exemplos de Aplicação



Inspeção de Postes de Madeira por Sensores de Ultrassom

- Tecnologia para melhorar em precisão e tempo a avaliação do estado interno de postes de madeira
- O equipamento é portátil e utiliza o método de Ensaio Não-Destrutivo (END), baseado em ultrassom, para realizar a inspeção
- São utilizados dois transdutores ultrassônicos (um para transmissão e outro para recepção da onda ultrassônica), localizados na superfície externa do poste, em posições diametralmente opostas
- A interface gráfica mostra ao usuário informação on-line sobre a necessidade ou não de troca do poste, e a previsão temporal da necessidade de nova avaliação do poste



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

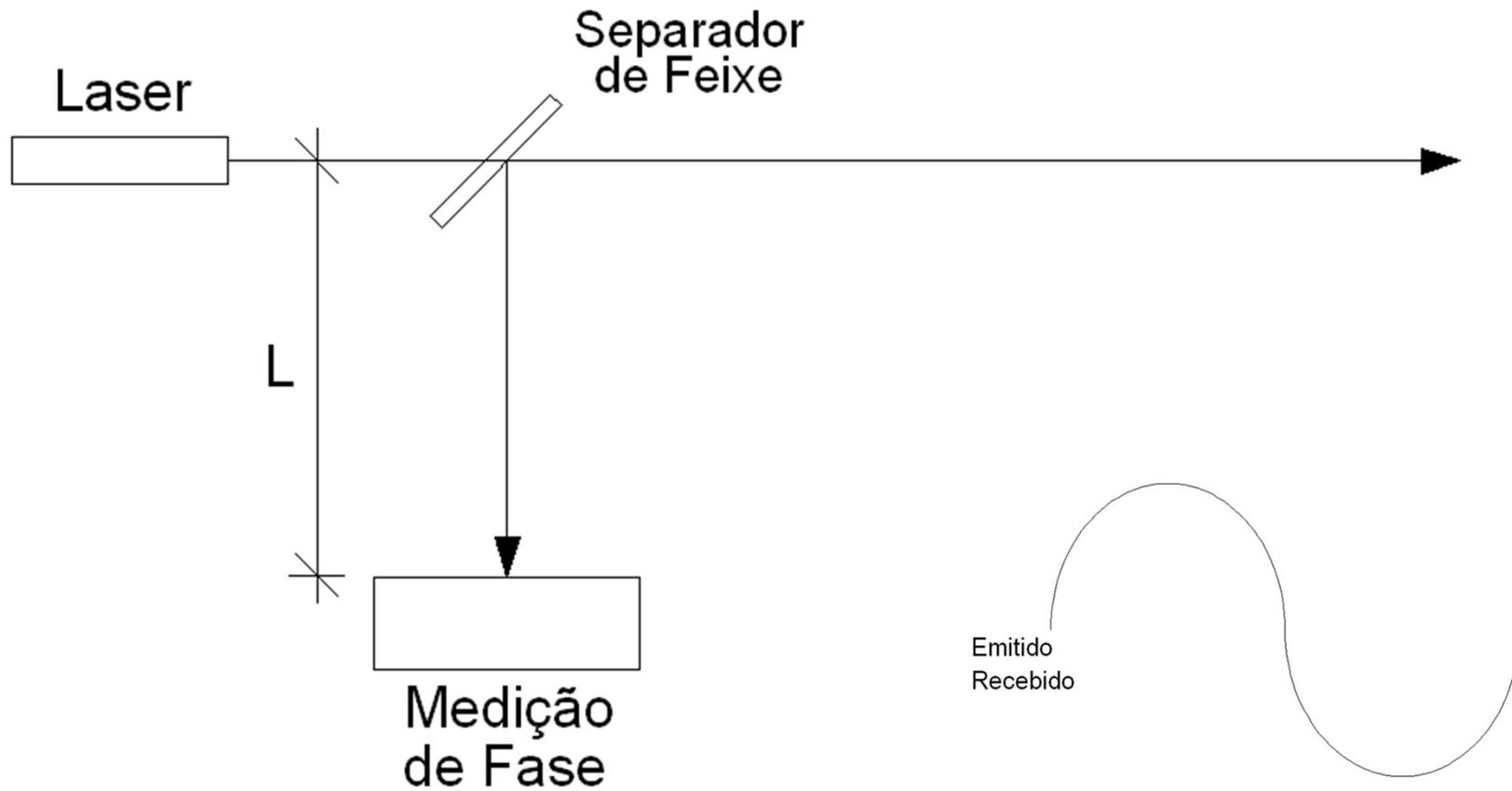
Métodos de Determinação de Distância

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

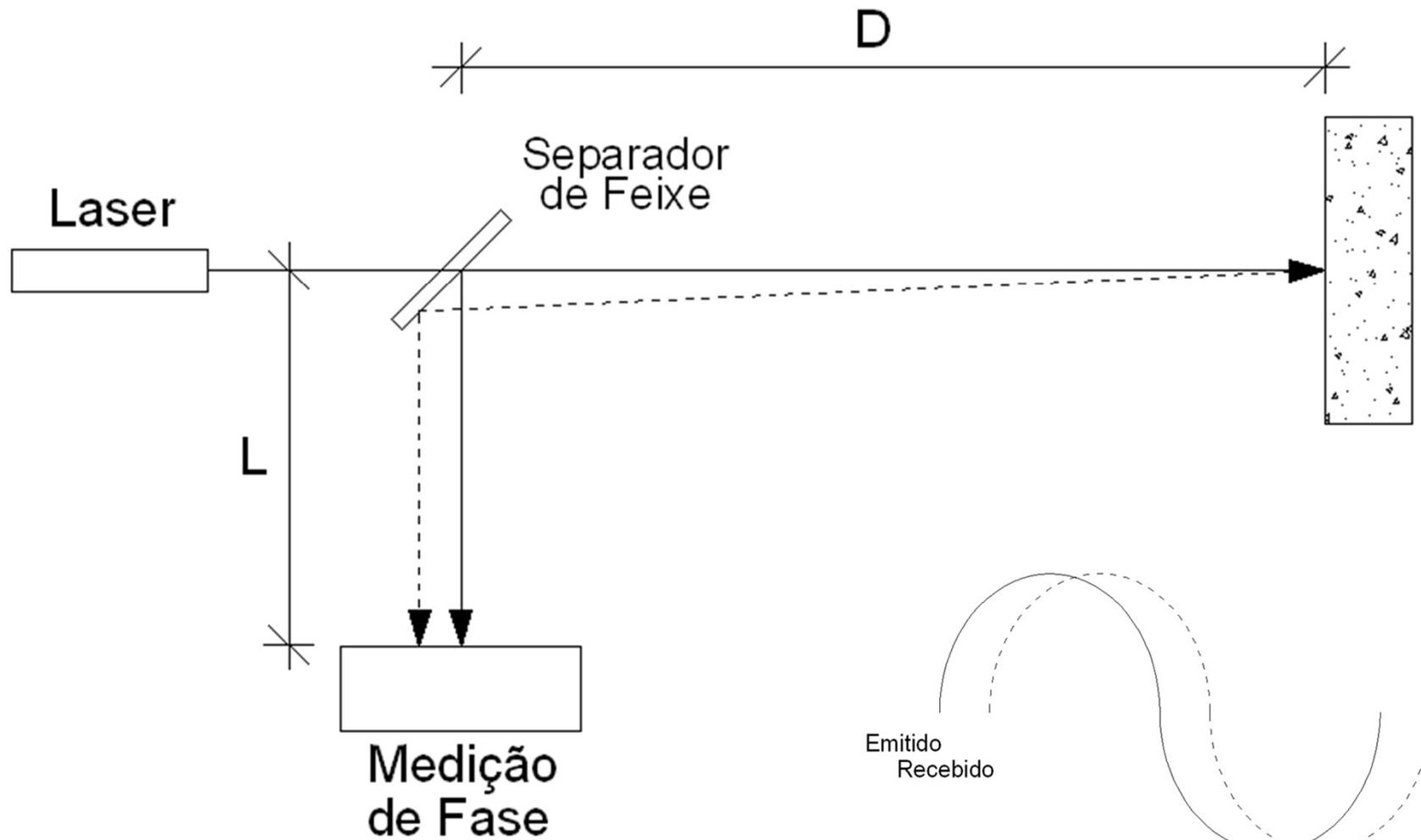
Métodos de Diferença de Fase

- 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

$$D' = L + 2D$$

$$D' = L + \frac{\theta}{360} \times \lambda$$

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

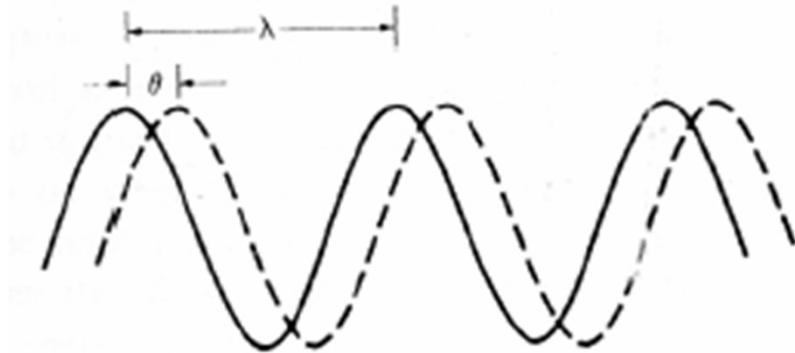
$$D = \frac{\theta}{360} \times \frac{\lambda}{2}$$

D Distância até obstáculo

L Distância interna sensor

λ Comprimento de onda

α Defasagem

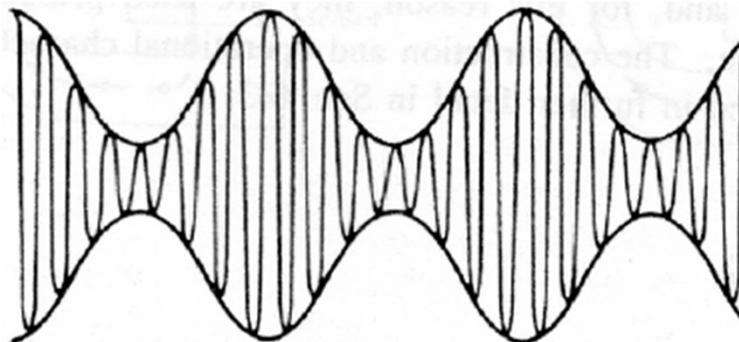


Método de Diferença de Fase

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

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 ($D < 316.4\text{nm}$).

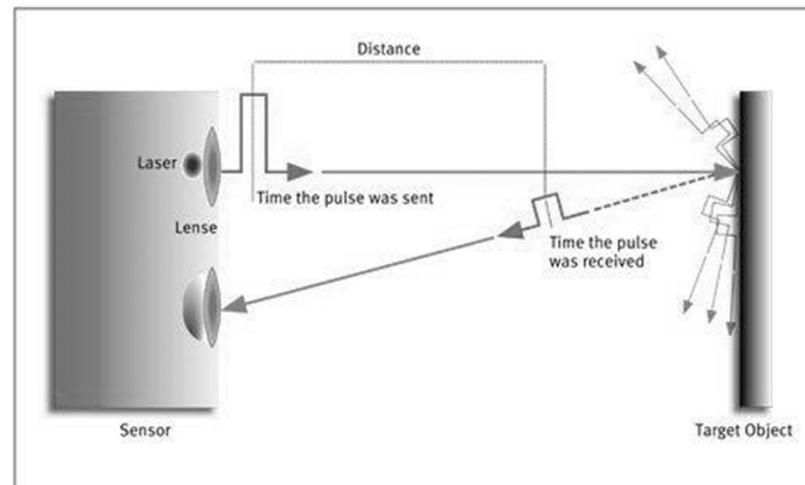
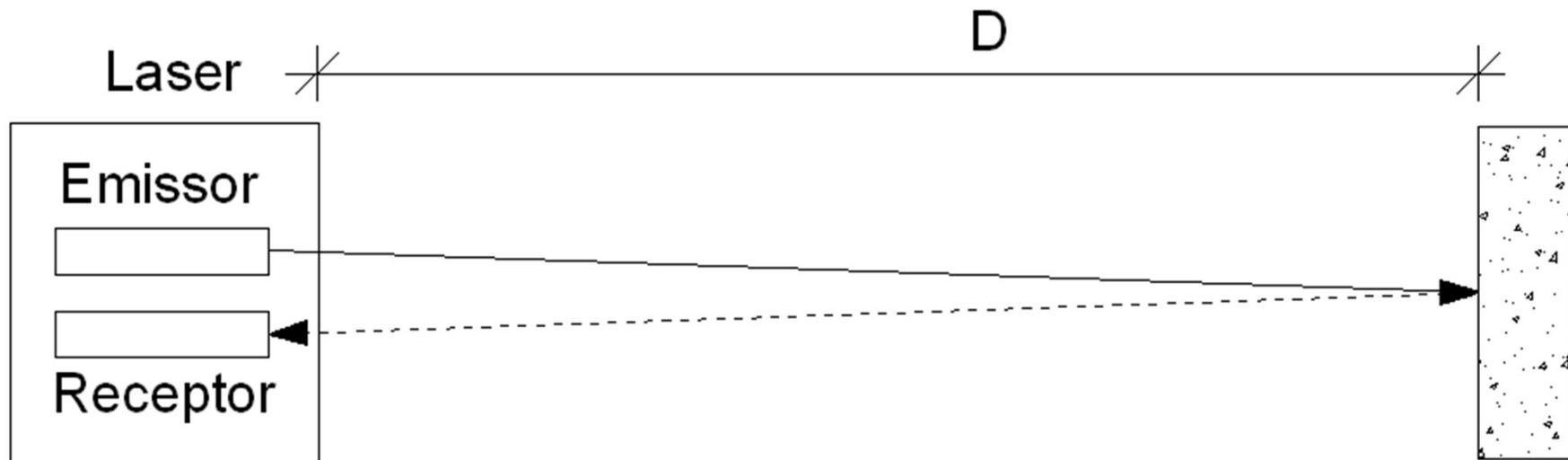
Uma solução simples é modular a amplitude do laser com uma forma de onda senoidal de frequência (por ex.: para $f = 10\text{ MHz}$ $\lambda = 30\text{ m}$ $D < 15\text{ m}$).



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

$$2D = c \times t$$

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

D Distância até obstáculo

t Tempo de vôo

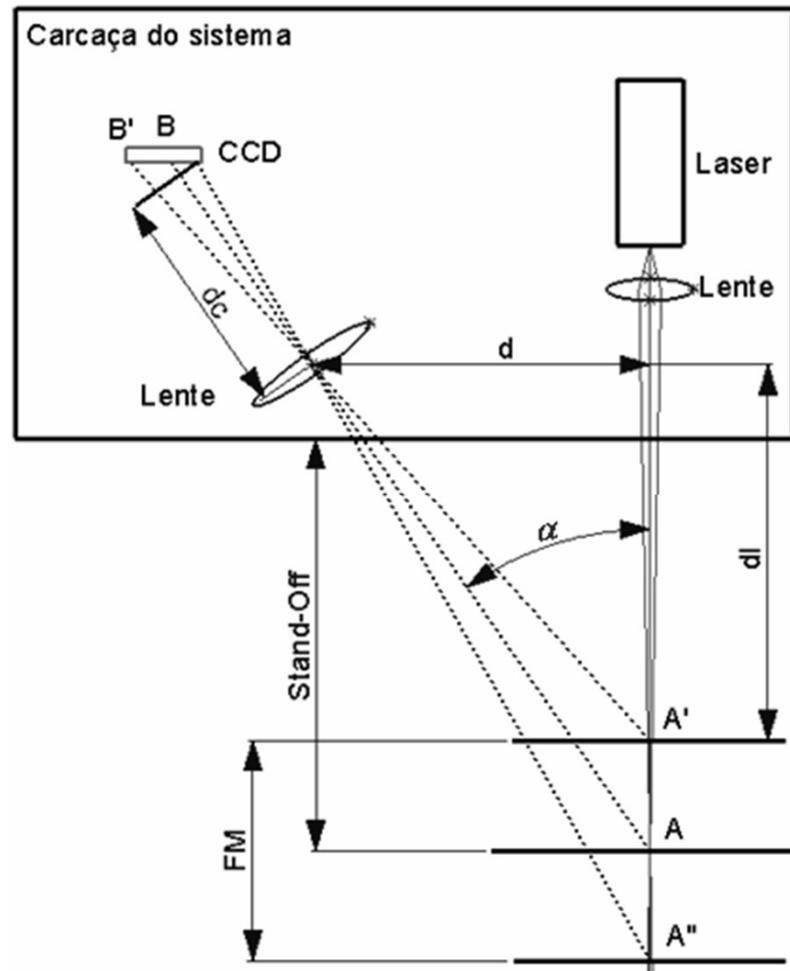
c Velocidade da luz

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

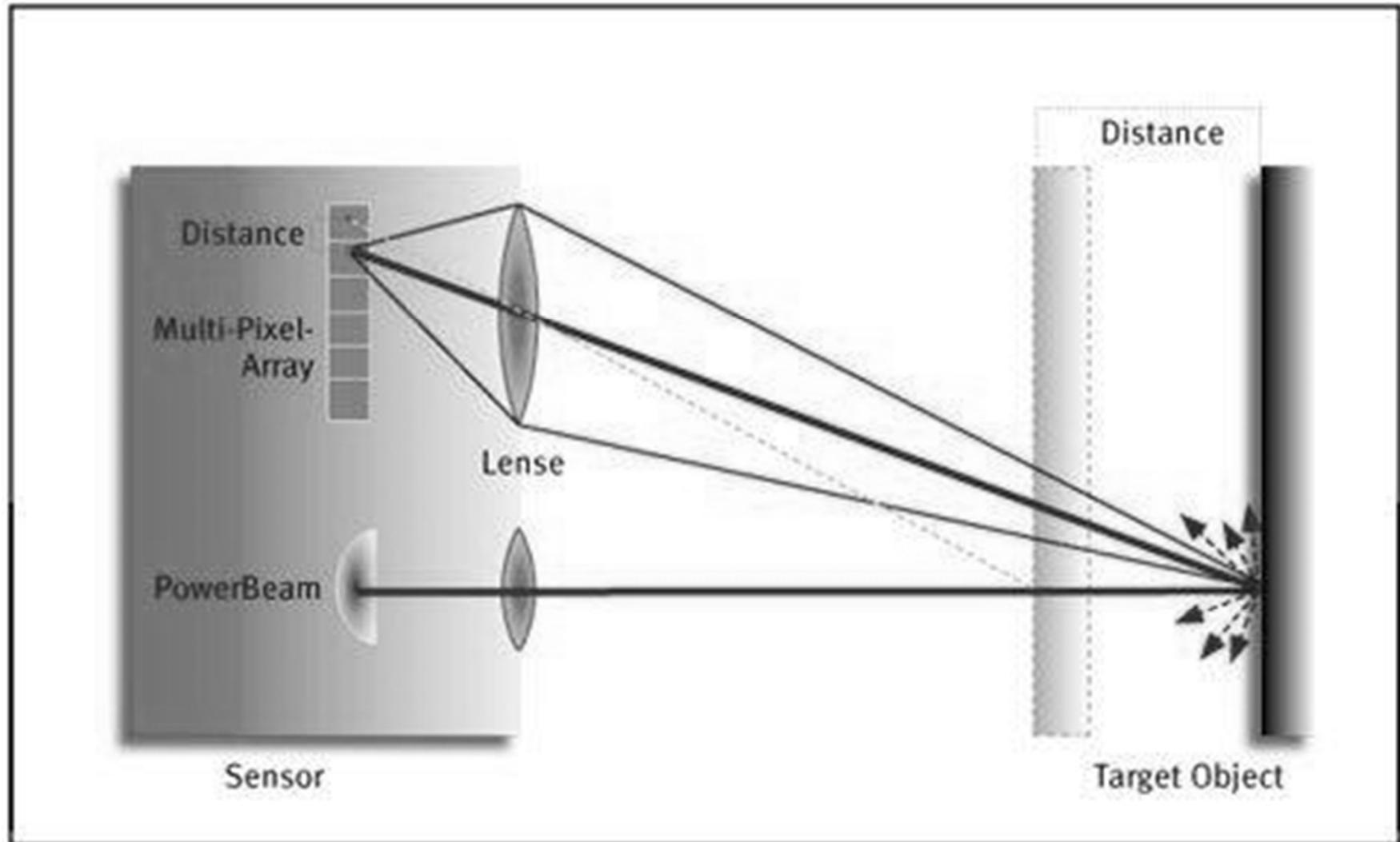
$$1 \times 10^{-8} \text{ s}$$

Obtenção da Distância

□ Triangulação

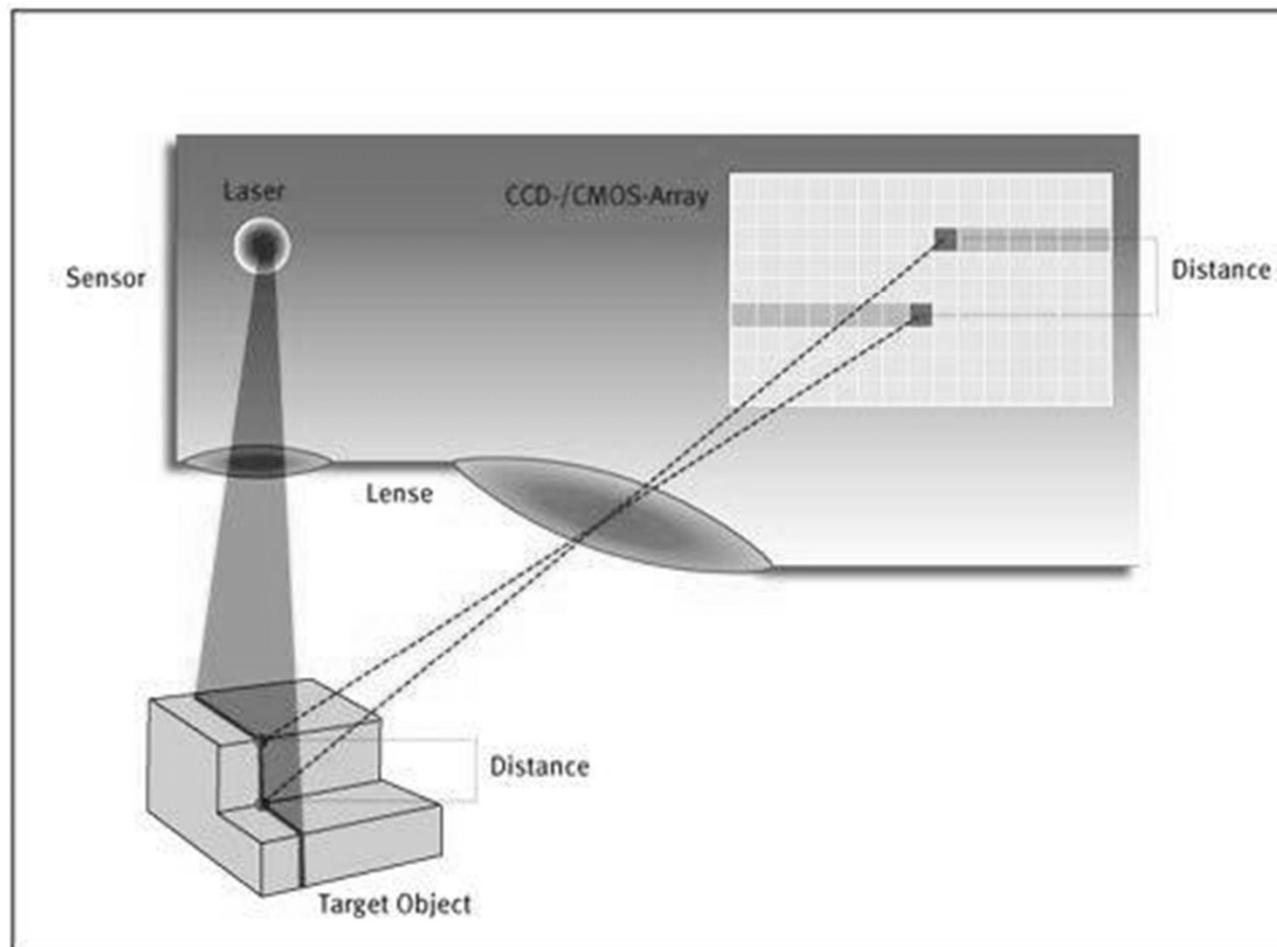


Obtenção da Distância

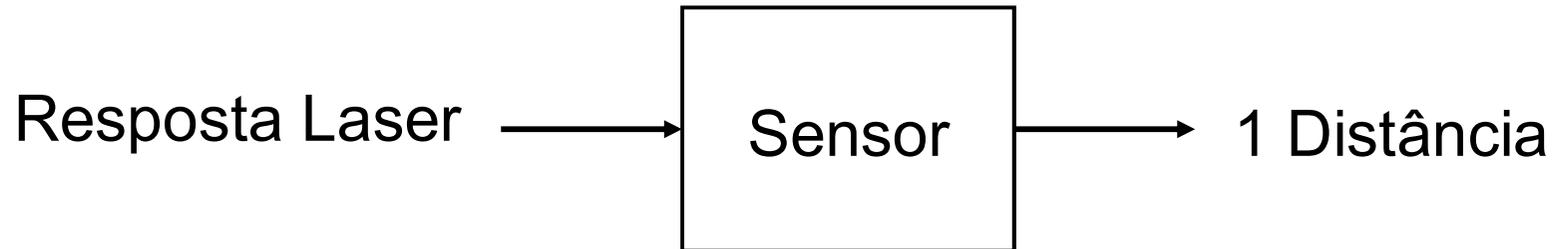


Obtenção da Distância

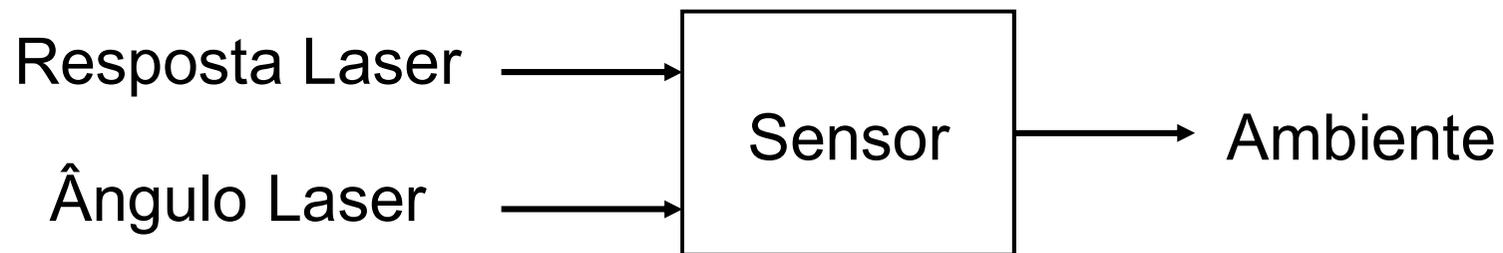
□ Luz Estruturada



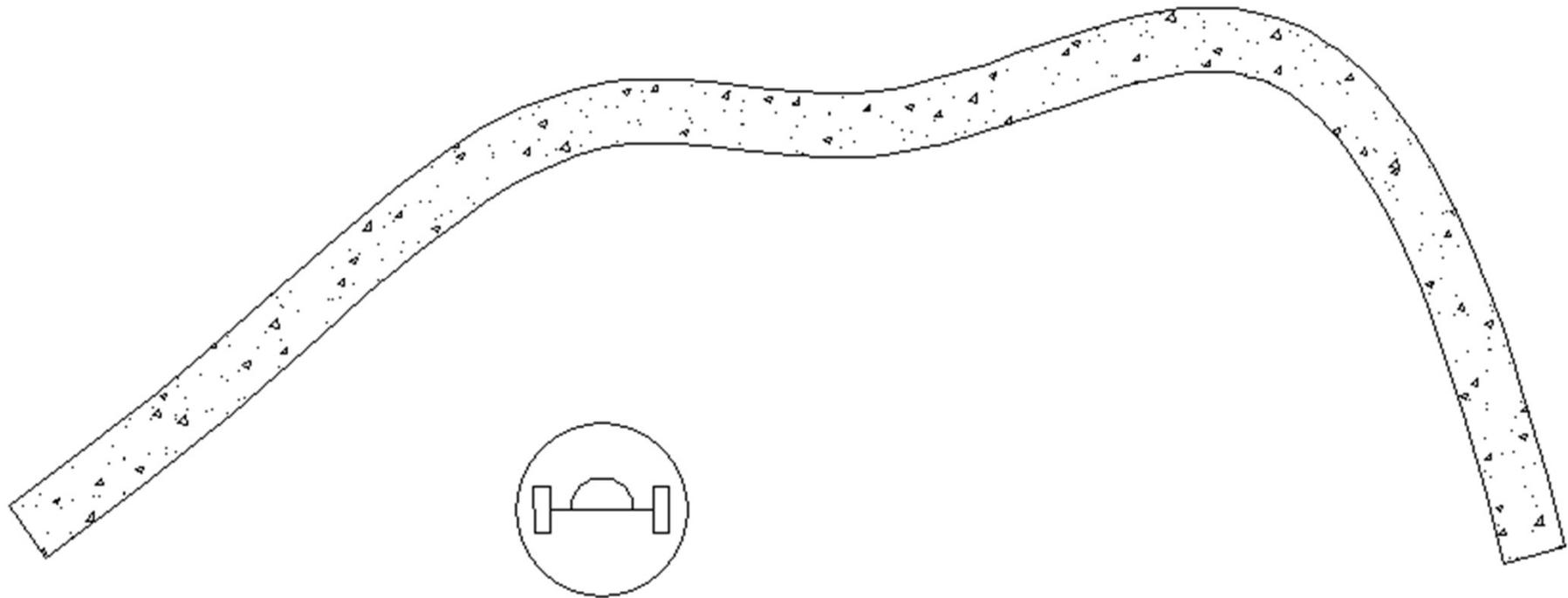
Sensor Laser



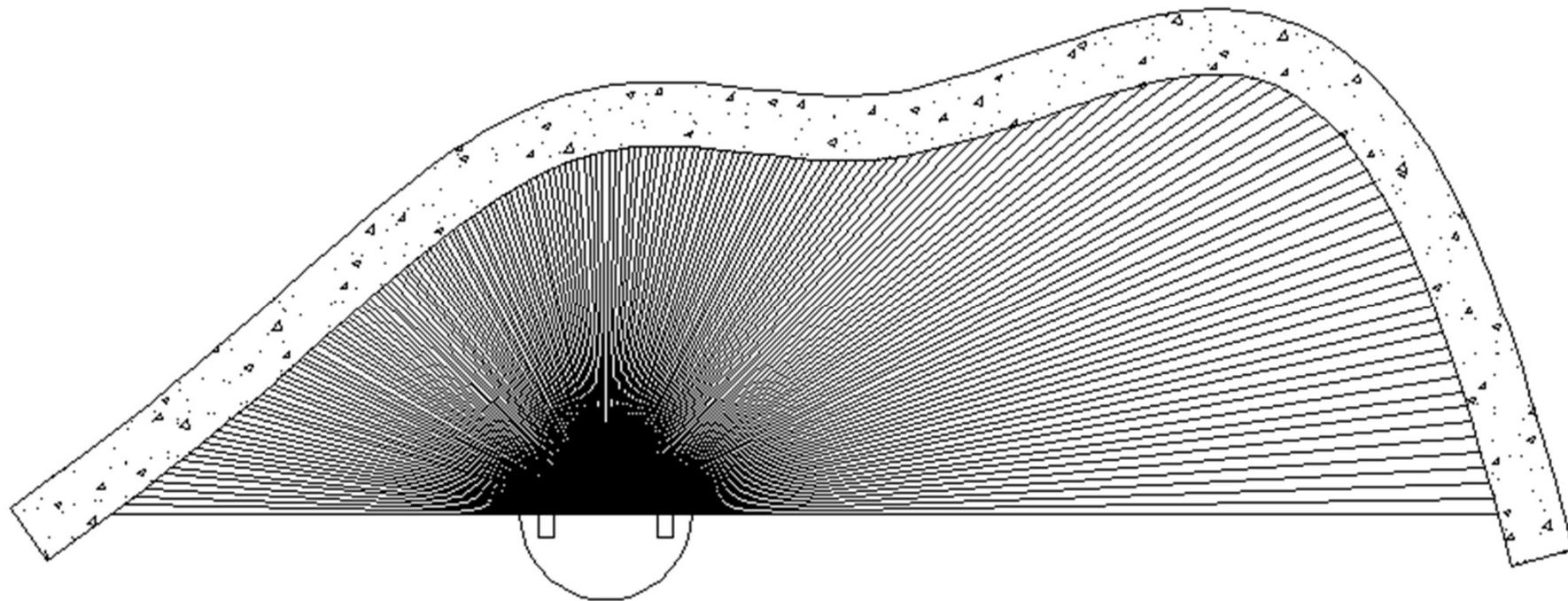
Sensor de Varredura Laser



Sensor de Varredura Laser



Sensor de Varredura Laser



Tipos de Sensores Laser



SICK - LMS 200

Laser Measurement Sensor



Sensor de Varredura Laser

- Fornece informações ao robô sobre obstáculos e sobre o entorno;
- Medição por tempo de voo de pulsos emitidos;
- Varredura em leque de 180° ;
- Resolução: 1° , $0,5^\circ$ ou $0,25^\circ$;
- 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.

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



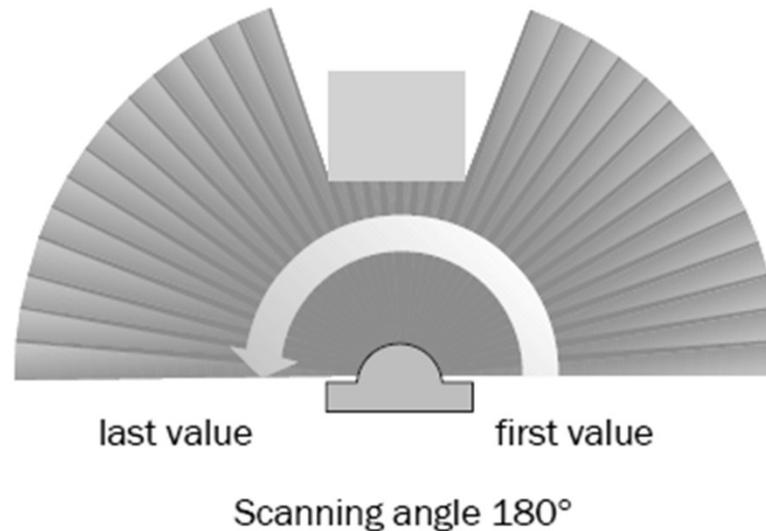
SICK - LMS 200

- Alimentação: 24vDC $\pm 15\%$;
- Potência: 20w;
- Tempo de Varredura = 13 - 53 ms;
- Precisão: 10mm;
- Peso: 4.5 Kg;
- Dimensões: 15.6 x 15.5 x 21.0 cm;
- Valor: £3916.80;
- R\$ 10301,18

SICK - LMS 200

- Ângulo de detecção: 180°
- Resolução: $1^\circ - 0.25^\circ$

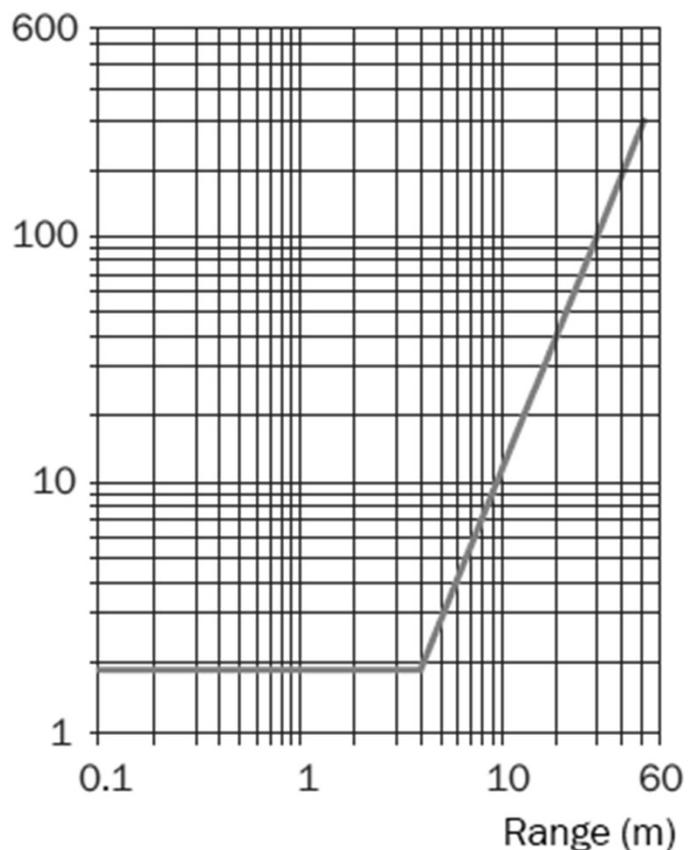
LMS200/LMS221/LMS291



SICK - LMS 200

- Distância máxima: 80m;

Reflectivity (%)



Material	Reflectivity
Cardboard, matt black	10 %
Cardboard, grey	20 %
Wood (raw pine, dirty)	40 %
PVC, grey	50 %
Paper, matt white	80 %
Aluminium, anodised, black	110 to 150 %
Steel, rust-free shiny	120 to 150 %
Steel, very shiny	140 to 200 %
Reflectors	>2,000 %

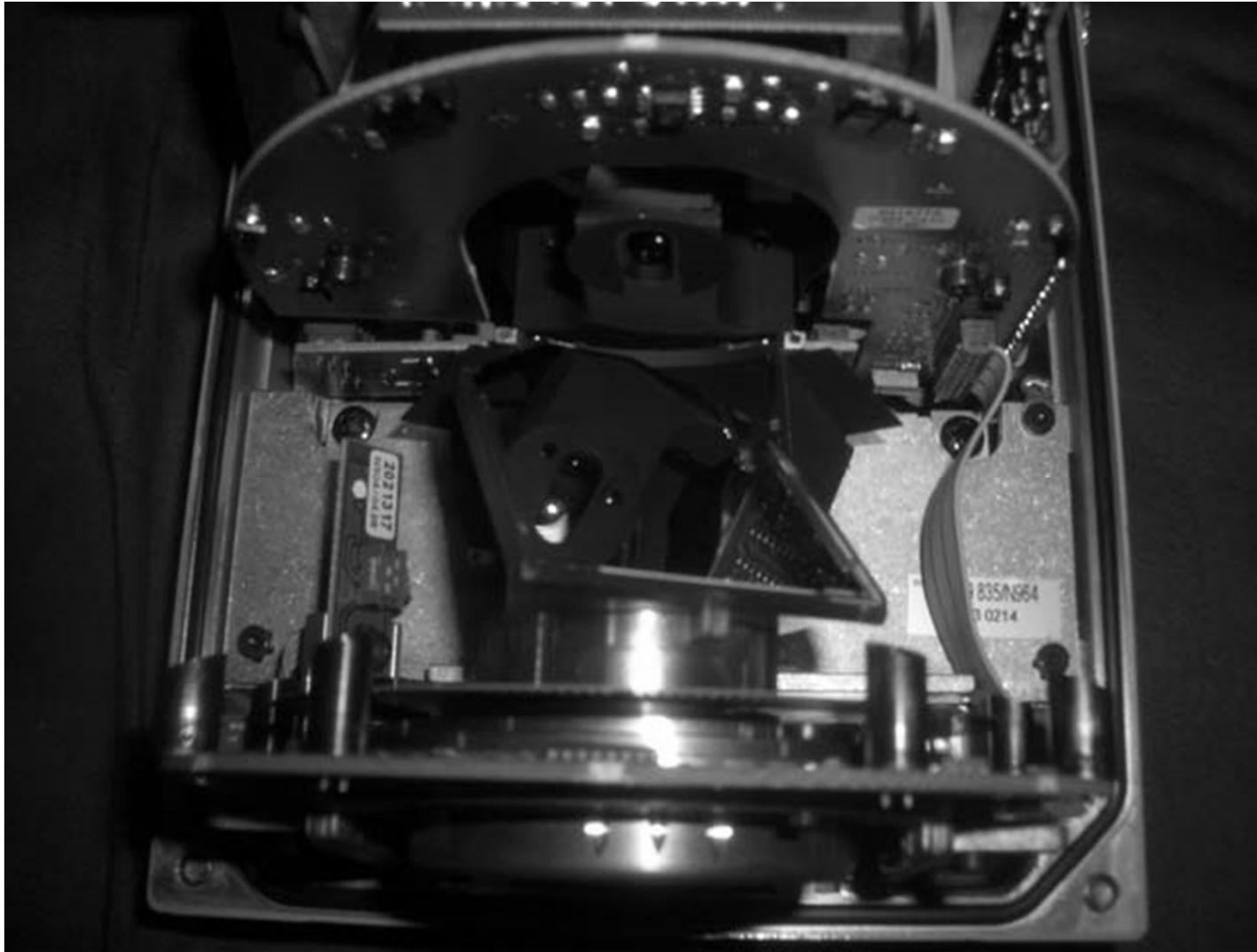
Table 4-2: Reflectivity values

SICK - LMS291

□ Outdoor



SICK - LMS291



SICK - LMS291



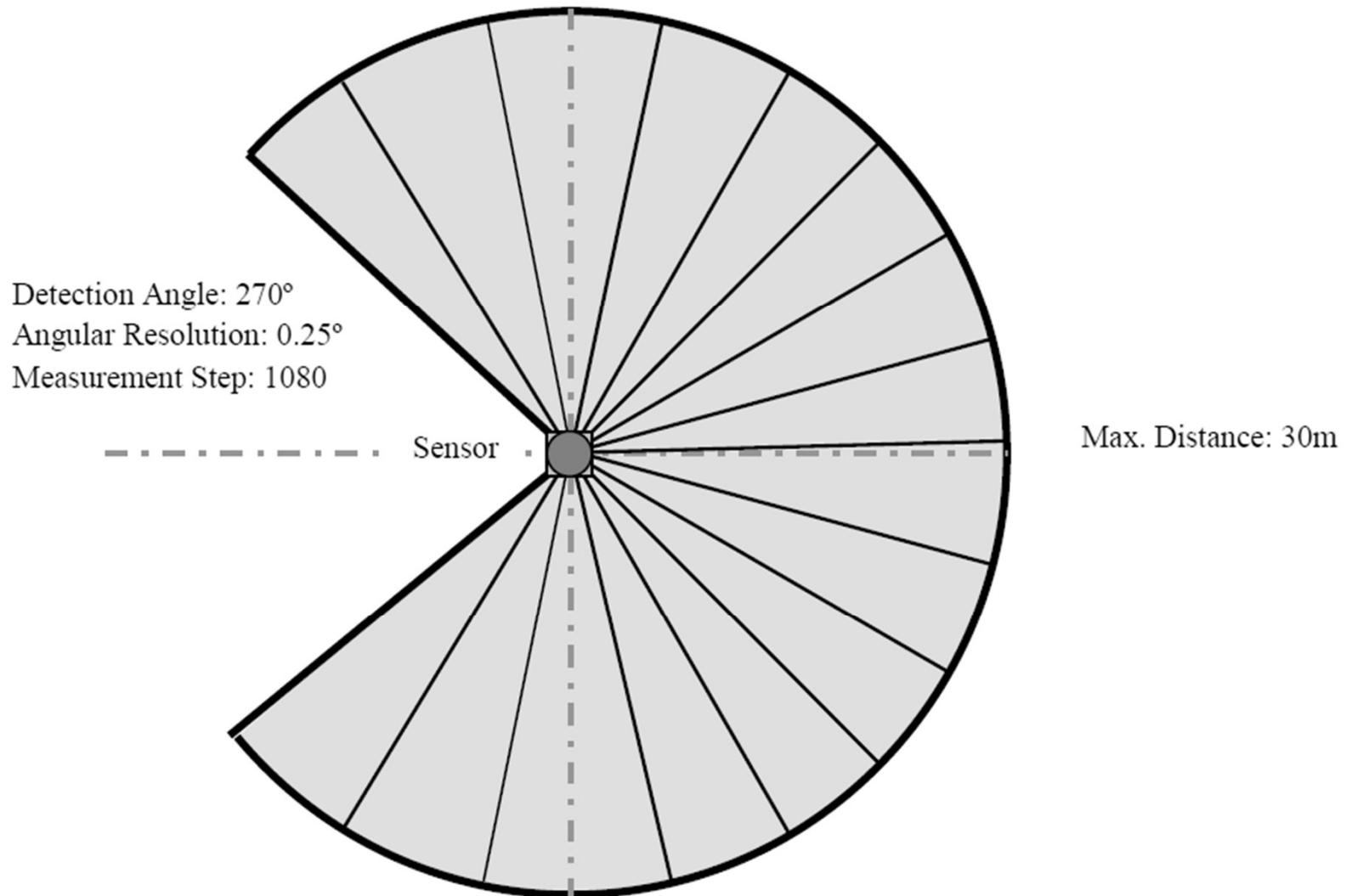
HOKUYO

- Tecnologia Japonesa;
- Active Robots - Reino Unido;
- Hokuyo Pbs-03jn
- Hokuyo Ubg-05ln
- Hokuyo Utm-30lx
- Hokuyo Ubg-04lx-f01
- Hokuyo Urg-04lx
- Hokuyo Urg-04lx-ug01

HOKUYO UTM-30LX



HOKUYO UTM-30LX



HOKUYO UTM-30LX

- Alimentação: 12vDC $\pm 10\%$;
- Fonte de luz: laser a semicondutor;
- Tempo de Varredura = 25 ms;
- Corrente: normal = 0,7A / máx = 1A;
- Precisão: 0,1 – 10m = ± 30 mm
10 – 30m = ± 50 mm

HOKUYO UTM-30LX

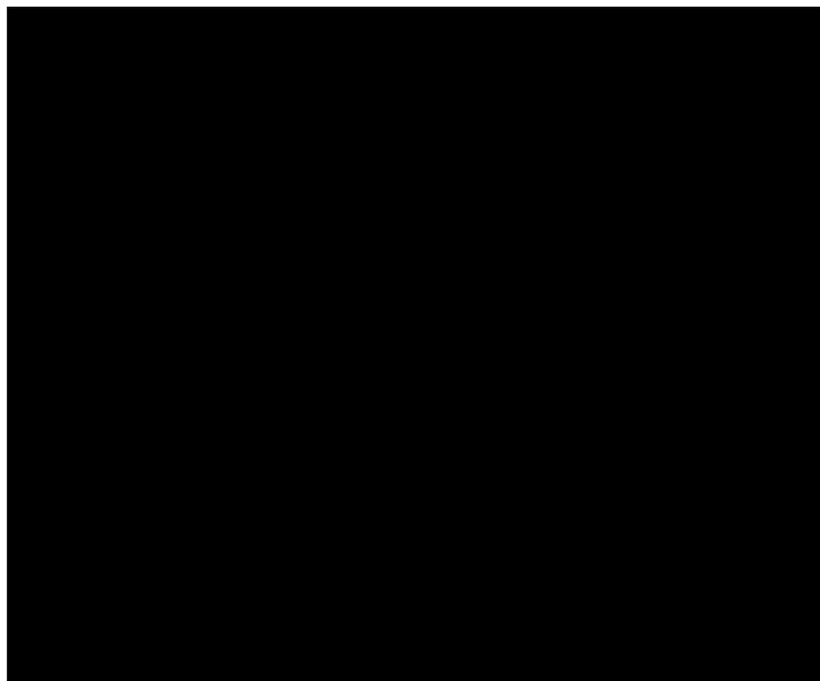
- Resistência a vibração: amplitude de 1,5mm para frequências de 10 a 55Hz, durante duas horas contínuas (direções X, Y e Z);
- Peso: 370g;
- Valor: £3,485.00;
- R\$ 9165,55

HOKUYO UTM-30LX



HOKUYO UTM-30LX

- Detectar uma pessoa caminhando no laboratório



HOKUYO URG-04LX-UG01



HOKUYO URG-04LX-UG01

- Ângulo de detecção: 240°
- Resolução: 0,35°
- Alimentação: 5vDC \pm 5%;
- Potência: 2,5w;
- Fonte de luz: laser a semicondutor;
- Distância: 0,02 – 5,6m

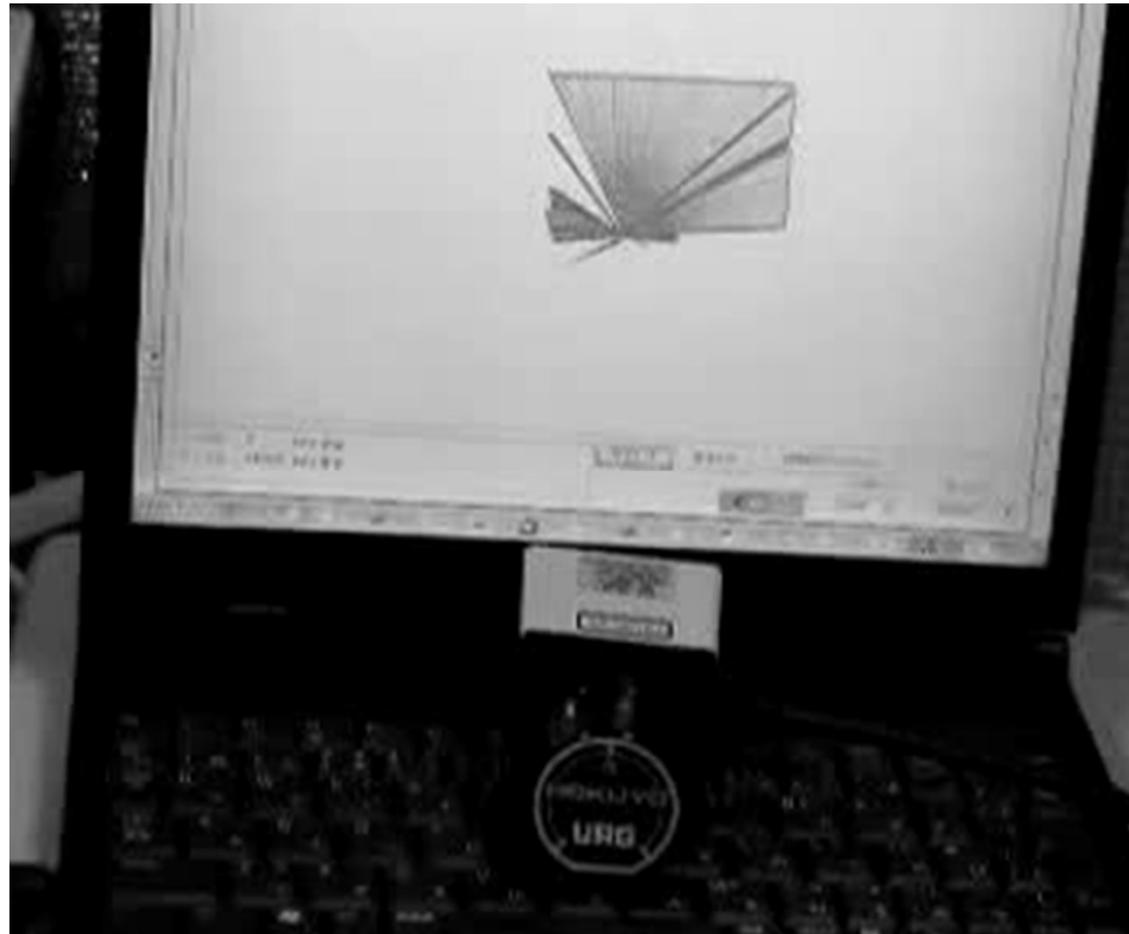
HOKUYO URG-04LX- UG01

- Tempo de Varredura = 100 ms;
- Precisão: 0,06 – 1,00m = $\pm 30\text{mm}$
1,00 – 4,10m = $\pm 3\%$
da medição
- Resistência a vibração: amplitude de 1,5mm para frequências de 10 a 55Hz, durante duas horas contínuas (direções X, Y e Z)

HOKUYO URG-04LX- UG01

- Peso: 160g;
- Dimensões: 5 x 5 x 7 cm;
- Valor: £870.00;
- R\$ 2.288,10

HOKUYO URG-04LX- UG01



Aplicações

- Desvio de obstáculos;
- Mapeamento;
- SLAM – Localização e Mapeamento Simultâneos;
- Reconstrução 3D de imagens;

NEW
LMS Fast

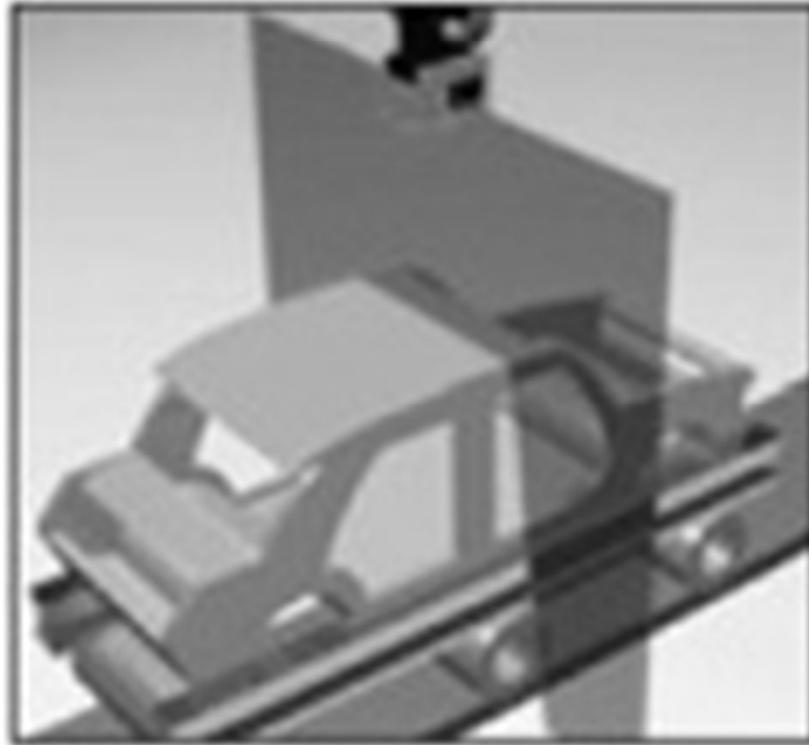


Product Information

LMS Fast
Laser Measurement Systems
Measurably more efficient



Aplicações de Sensor de Varredura Laser



E.g. Classifying bodywork

Desvio de Obstáculos



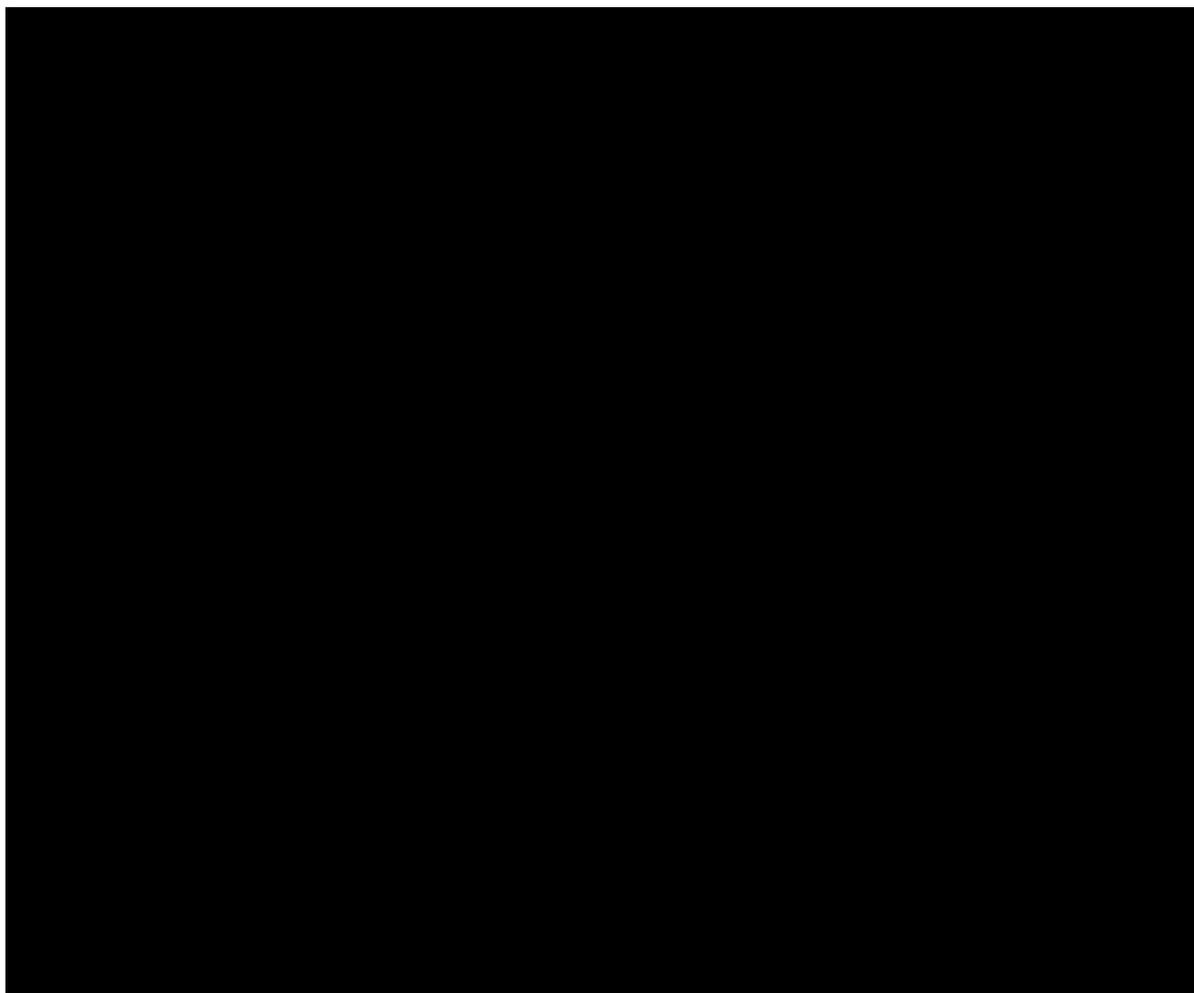
Mapeamento

**Continuous 3D Scan-matching
with a Spinning 2D Laser**

**Michael Bosse and Robert Zlot
CSIRO ICT Centre**



SLAM



Reconstrução 3D

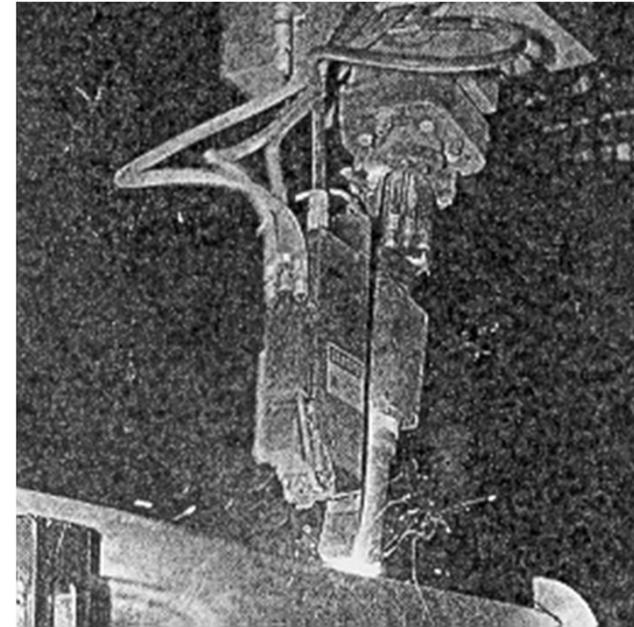


Detecção de Obstáculos



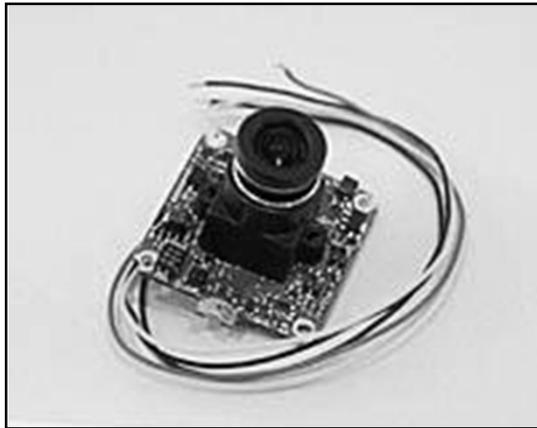
Guiagem de Soldador com Laser

- **Sensor laser utilizado em aplicações de soldagem por arco robotizada (Seampilot, da Oldfeldt)**
- **Este sensor utiliza laser de HeNe, de baixa potência (máxima de 1.5 mW) e possui sistema de refrigeração por líquido, além de filtro de luz**
- **Além de detectar a proximidade às superfícies a soldar, este sensor é capaz de reconstruir a topografia das juntas de soldagem, além de seguir um cordão a soldar, guiando uma tocha de soldagem**



Câmara 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

•As imagens capturadas são transmitidas por transmissor de vídeo

Cadeira de Rodas Controlada por Movimentos de Cabeça

-Usando Visão: Extração de Características-



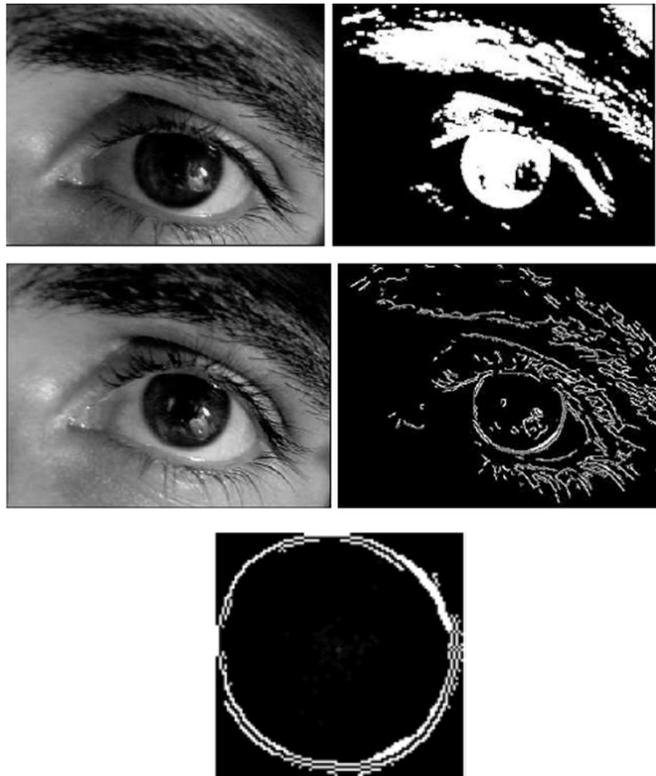
Cadeira de Rodas Controlada por Movimentos de Cabeça

-Usando Visão: Fluxo Óptico-

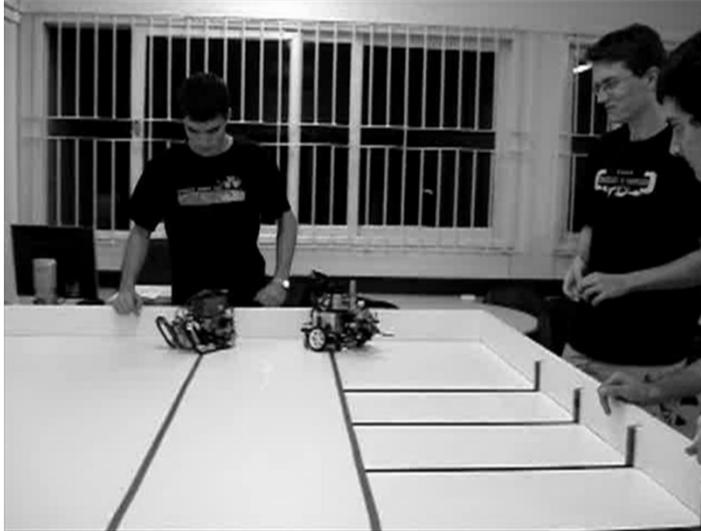


- Experimentos com a Cadeira de Rodas Comandada por Movimentos de Cabeça Obtidos por Fluxo Óptico: [Vídeo](#)

Cadeira de Rodas Controlada por Movimentos do Globo Ocular



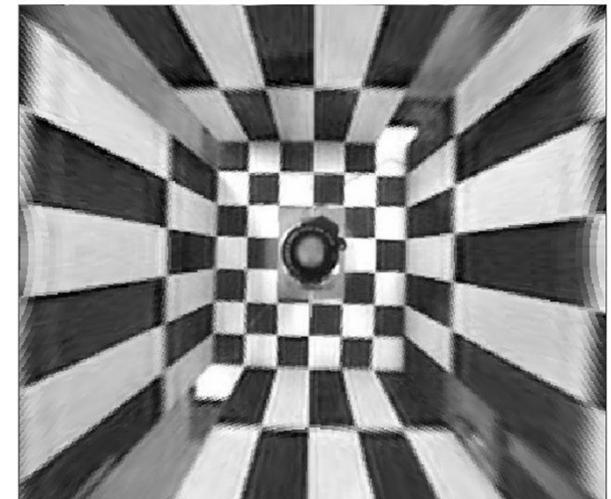
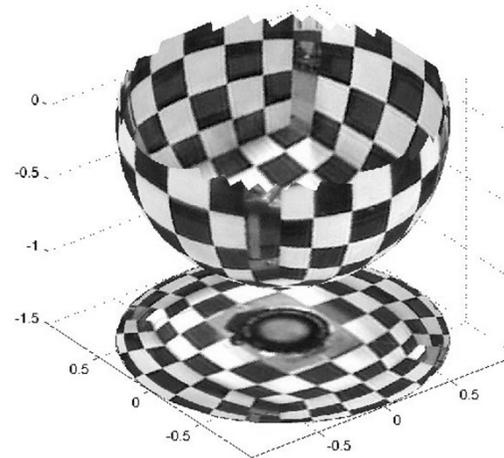
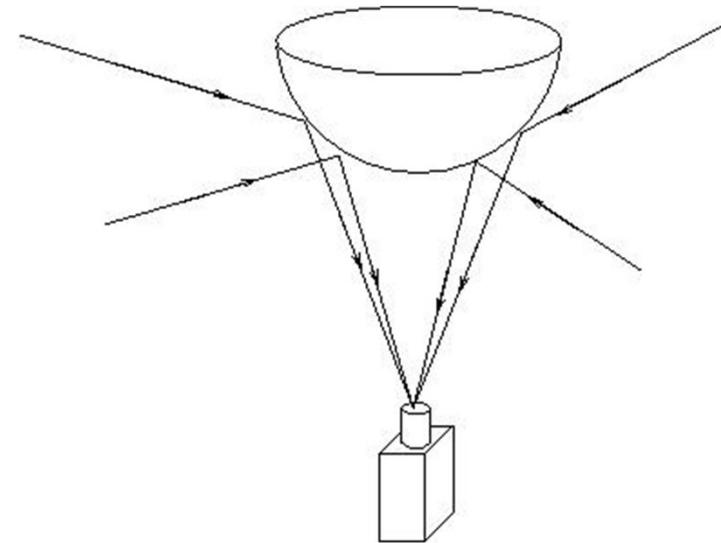
Robôs Cooperativos: Futebol de Robôs



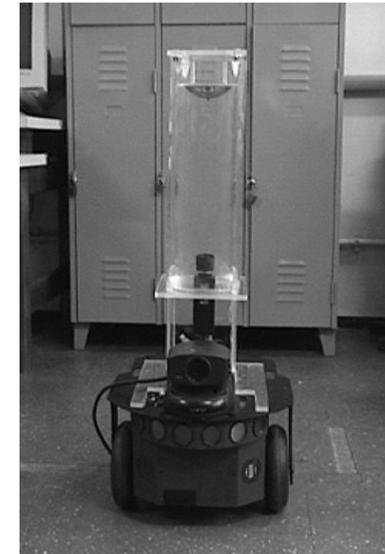
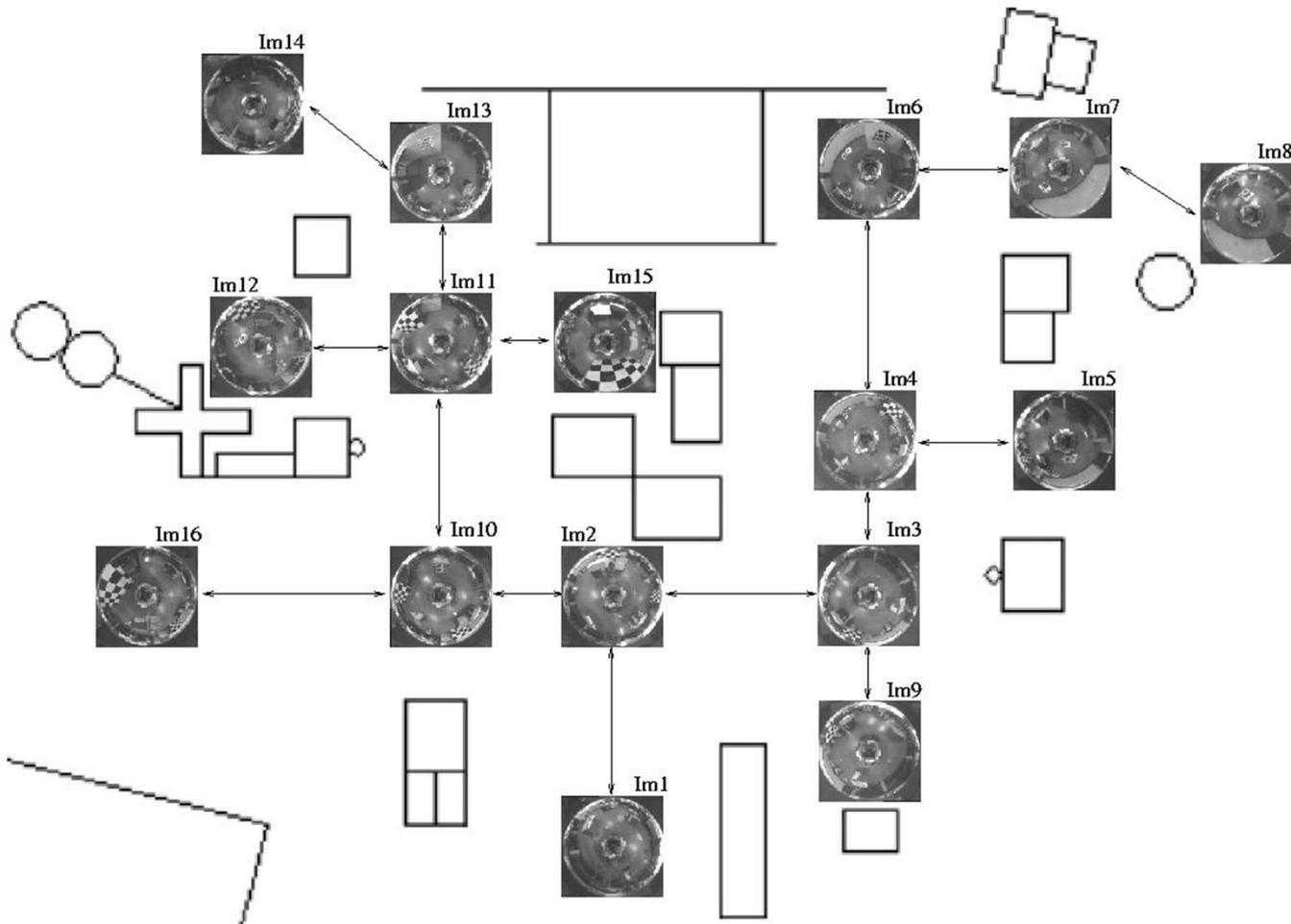
Robôs com Visão Omnidirecional

Câmera + Espelho

Visão de 360° em volta do robô



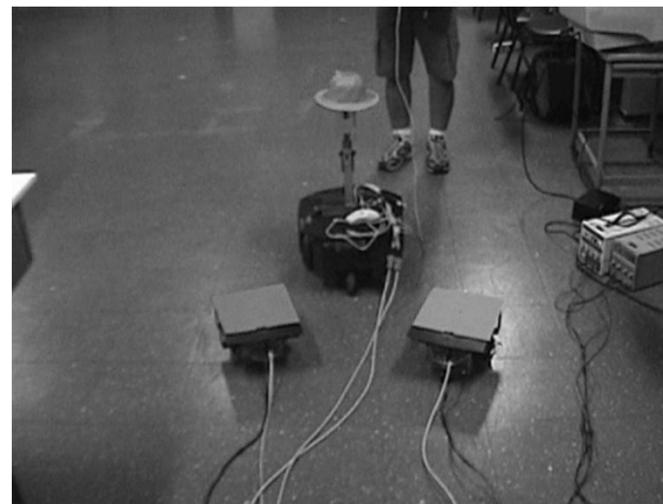
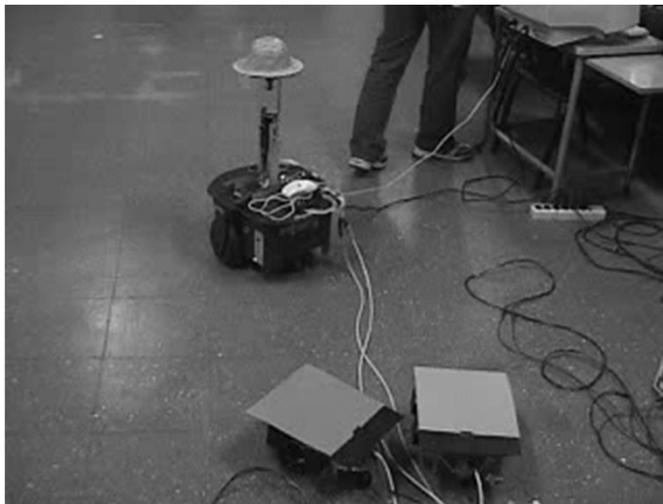
Navegação De Robôs: Mapas Topológicos



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

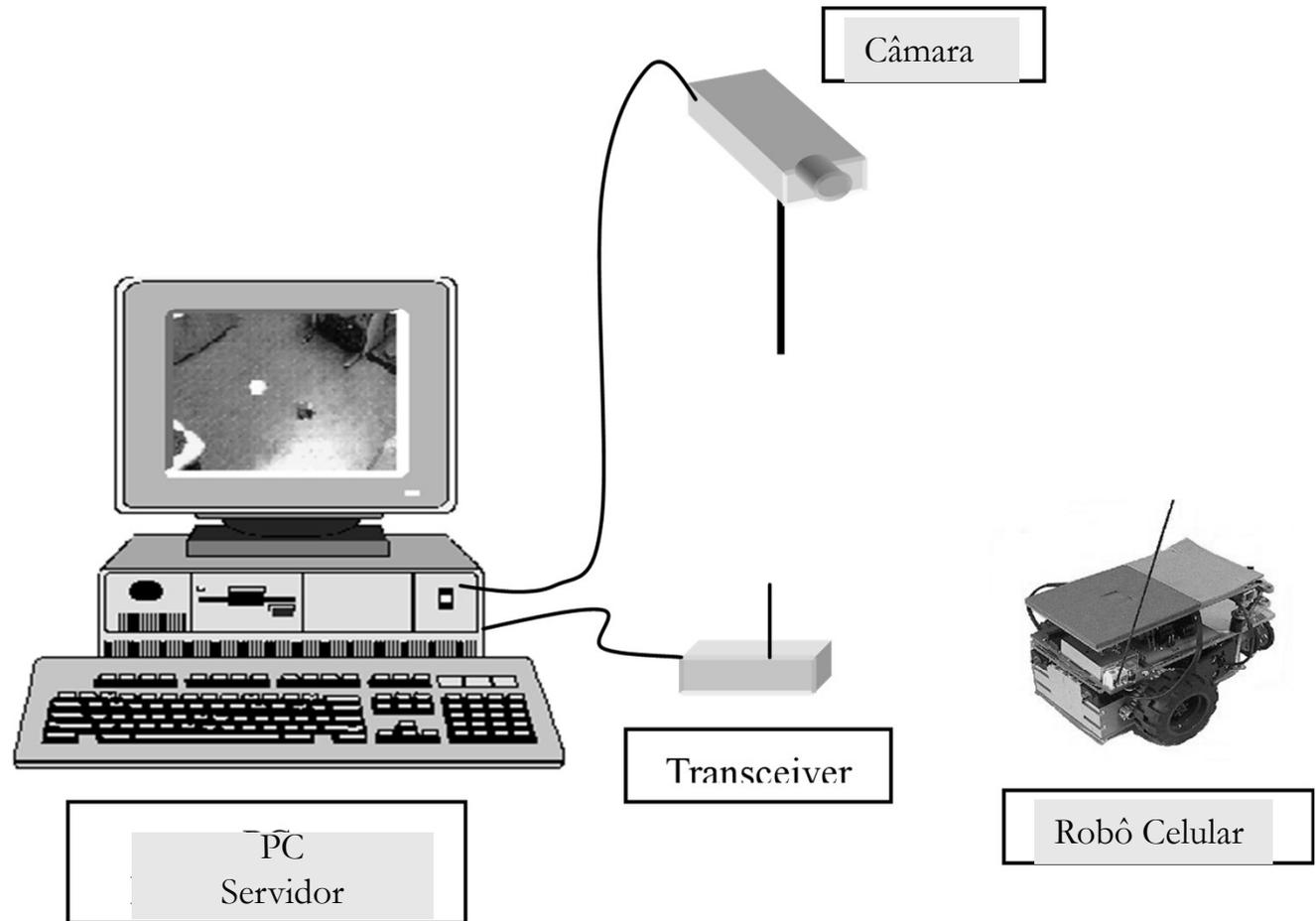
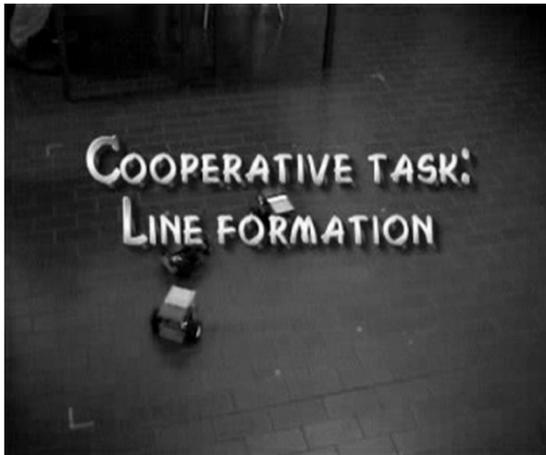
$$\omega_{ci} = \dot{\alpha}_{ri} + f_{\tilde{\alpha}}(\tilde{\alpha}_i) + \omega_l$$

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

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

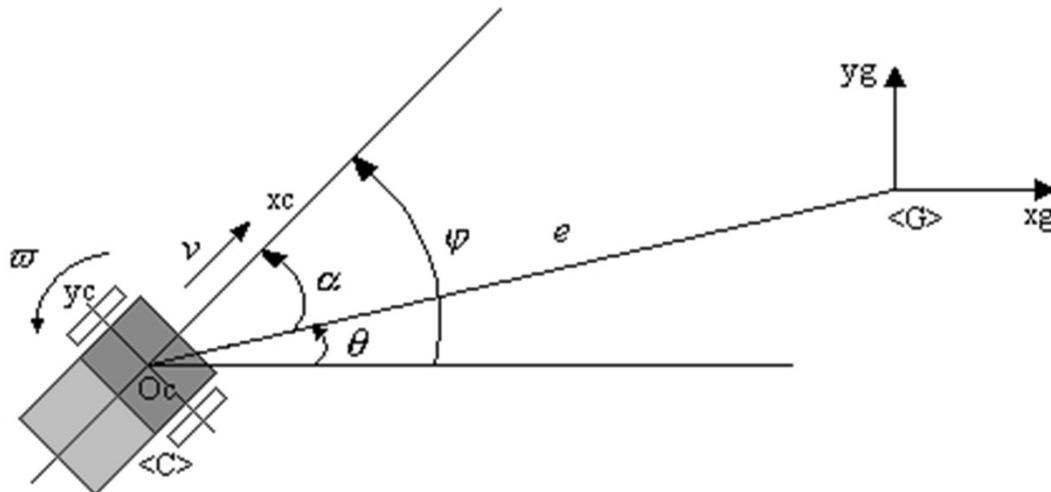
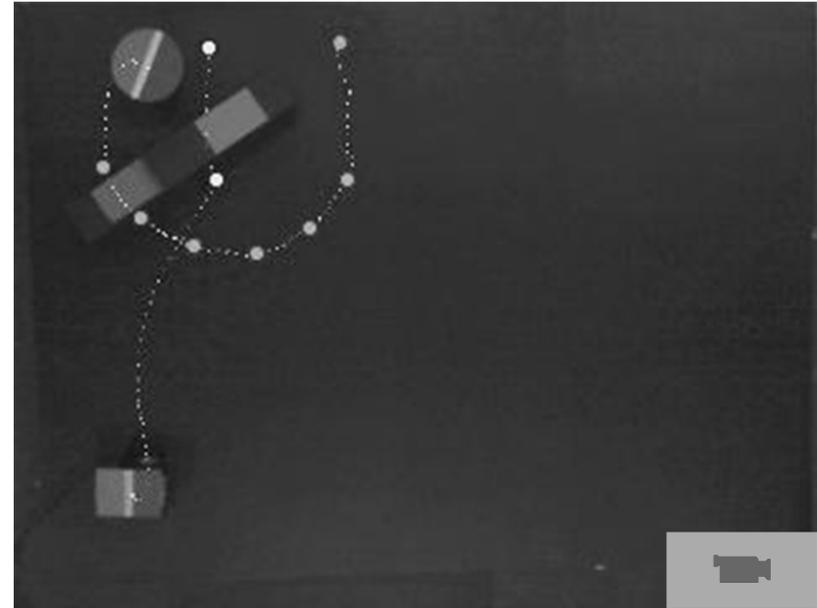
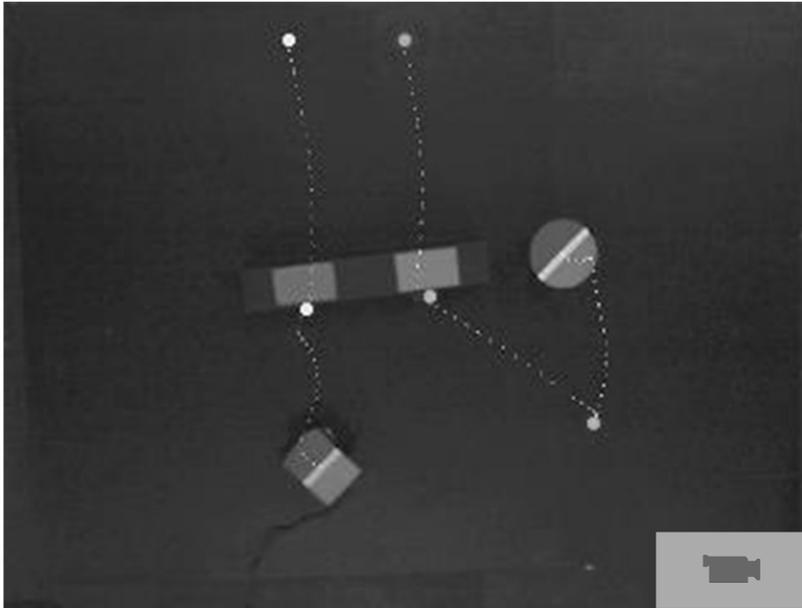
Sistemas Multi-Robôs

(Robôs Móveis Cooperativos)



Sistemas Multi-Robôs

(Robôs Móveis Cooperativos)



$$U_{dif} = \frac{\tau D}{KR} (k_a \alpha - k_b \omega)$$

$$U_{com} = \frac{2\tau}{KR} (k_c(e) e \cos \alpha - k_d v)$$

$$k_c(e) = \frac{k_c}{a+e}, \quad k_d > 0$$

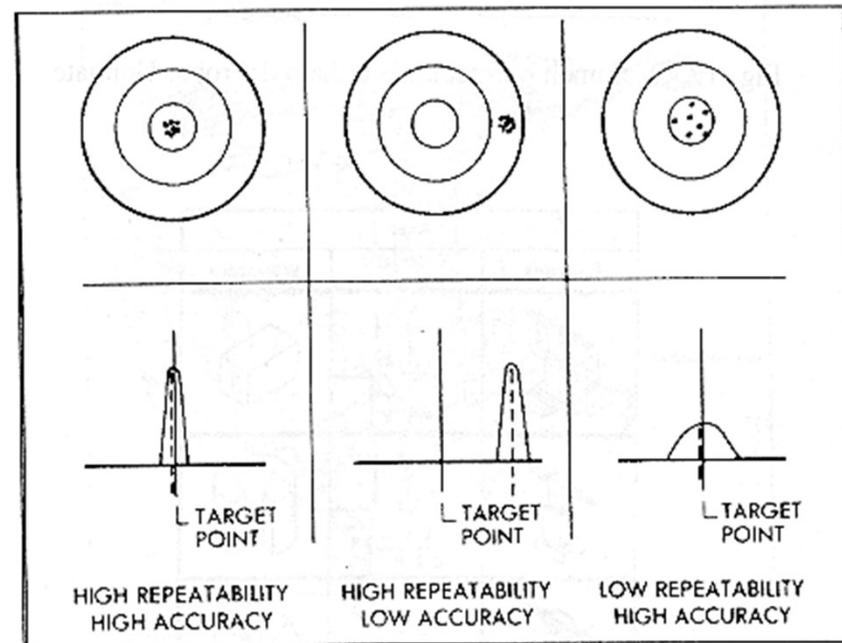
Interação com Crianças com Autismo



Sensores para Robôs Móveis

□ Precisão e Repetitividade

- ◇ Precisão: capacidade do robô de ir a uma posição desejada, com respeito a um sistema de referência fixo (normalmente a base do robô), com um erro determinado (por exemplo 1 mm), chamada precisão em posicionamento absoluto
- ◇ Repetitividade: capacidade do robô de, uma vez conhecida e alcançada uma posição, e partindo-se da mesma condição inicial, voltar a ir ("repetir") novamente a tal posição com um erro determinado
- ◇ A maioria dos manuais dos robôs informa sobre a repetitividade do robô e não a precisão absoluta, muito mais difícil de se obter



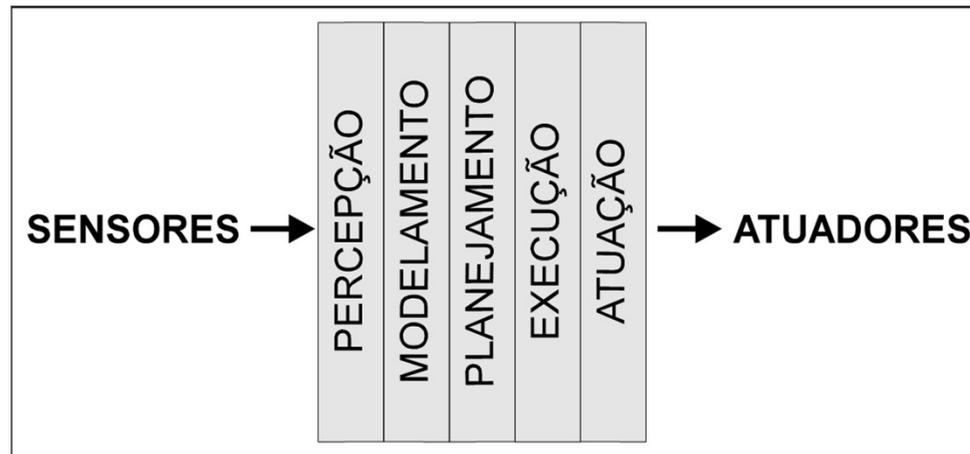
Técnicas de Controle Baseadas em Sensores

- Uma vez seleccionados os sensores que serão utilizados, é necessário incorporar uma arquitetura de controle para o sistema
- 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 controlar o sistema para que possa realizar uma série de tarefas
- Três tipos de arquitetura são atualmente utilizadas: 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 sistema antes de que este entre em funcionamento
- O sistema então 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

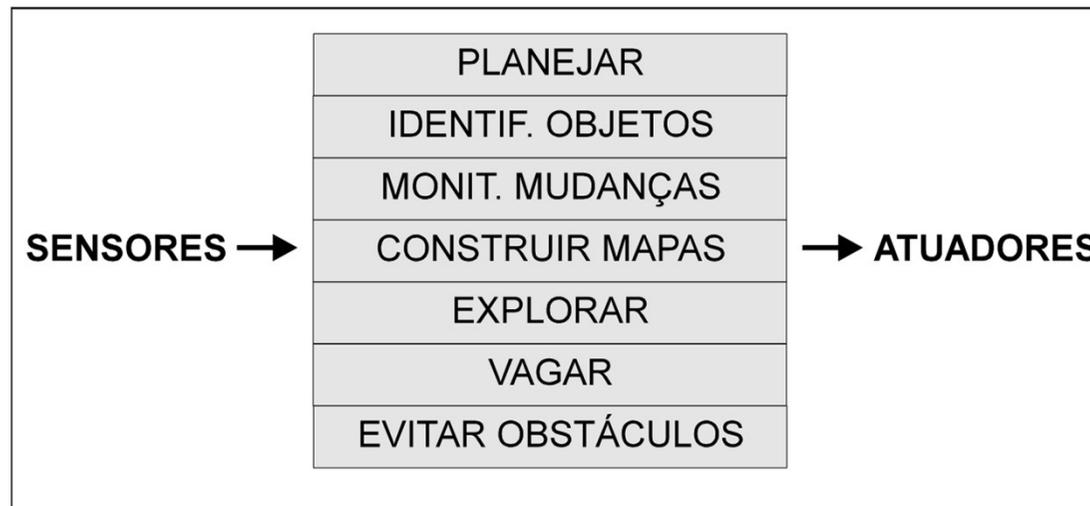
Arquitetura Tradicional



- ❑ 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 sistema 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, um sistema 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

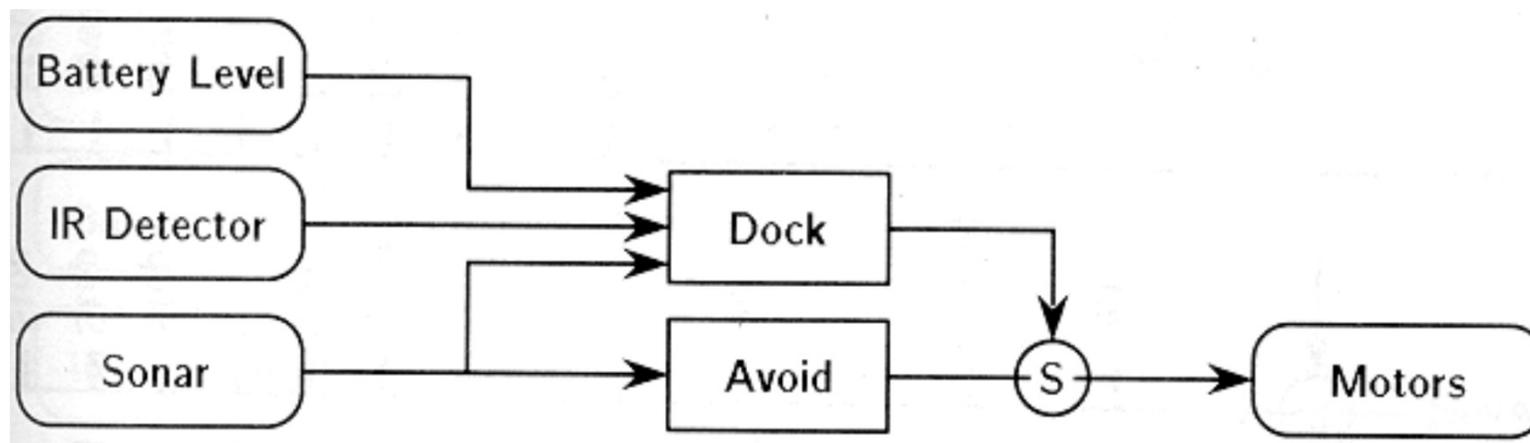
- Todos os comportamentos são executados em paralelo, mas comportamentos de níveis mais altos têm o poder de suprimir temporariamente comportamentos de níveis inferiores
- Cada comportamento por sua vez comunica-se diretamente com os atuadores
- Isto permite que estas arquiteturas possam ser implementadas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

Problemas da 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 sistema deve realizar

Exemplo de Controle Baseado em Comportamentos

- Considere a estrutura abaixo que realiza dois comportamentos: um chamado *atracar (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 (mas, caso seja necessário recarregar as baterias, não considere a tomada como obstáculo)



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

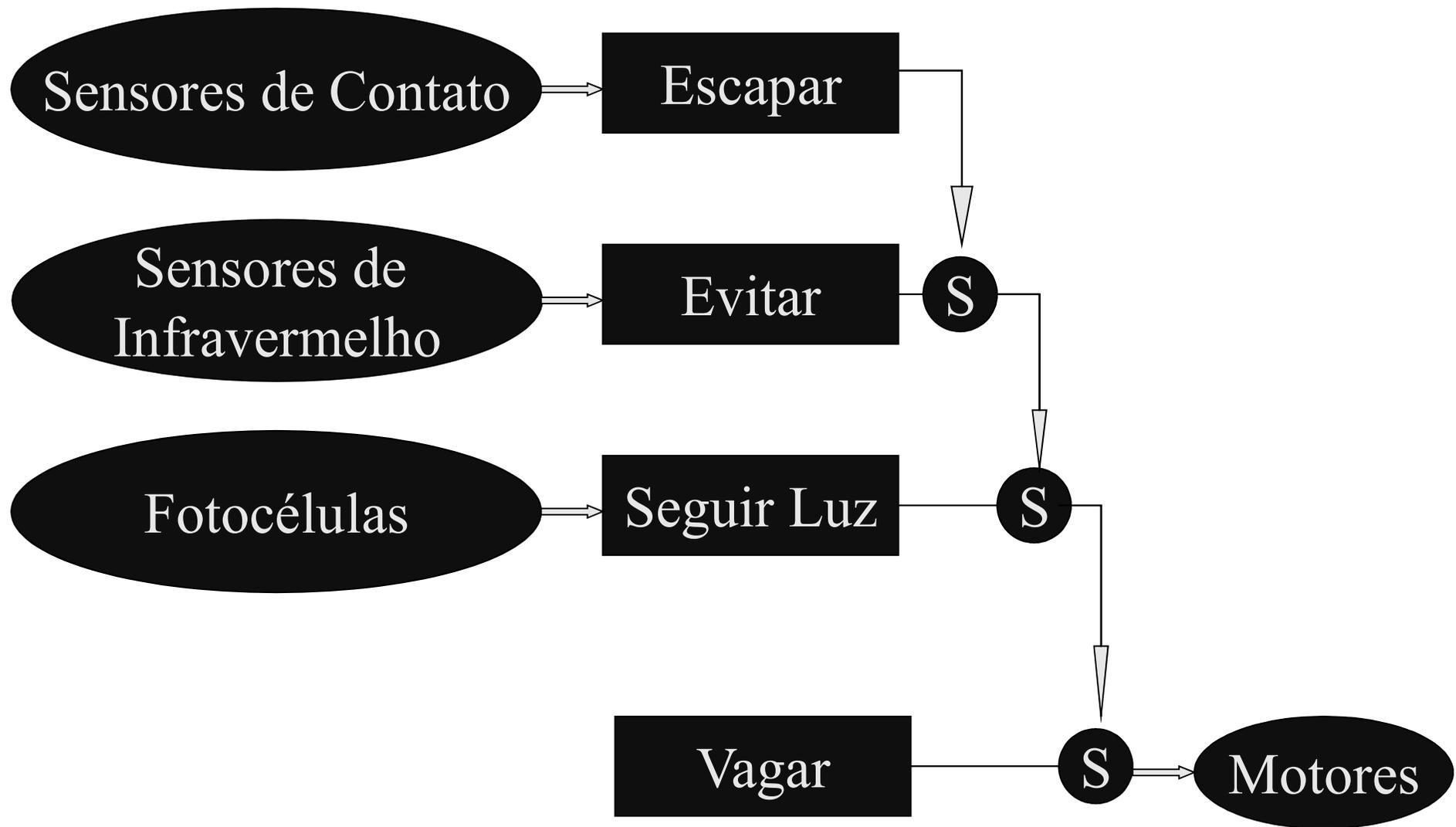
- Com o uso do scheduler é permitido a cada processo utilizar o processador por um curto período de tempo a intervalos regulares, o que é conhecido como multi-tarefa
- O scheduler consiste apenas de um loop infinito, no qual é chamado cada comportamento. Ao menos uma vez a cada loop, o scheduler chama 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 sobreescrevem (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_escapar == 1){  
      entrada_motor = saída_escapar;}}}}}
```



Exemplos de Comportamentos para Robôs Móveis

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

Exemplos de Comportamentos para Robôs Móveis

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

Vídeo

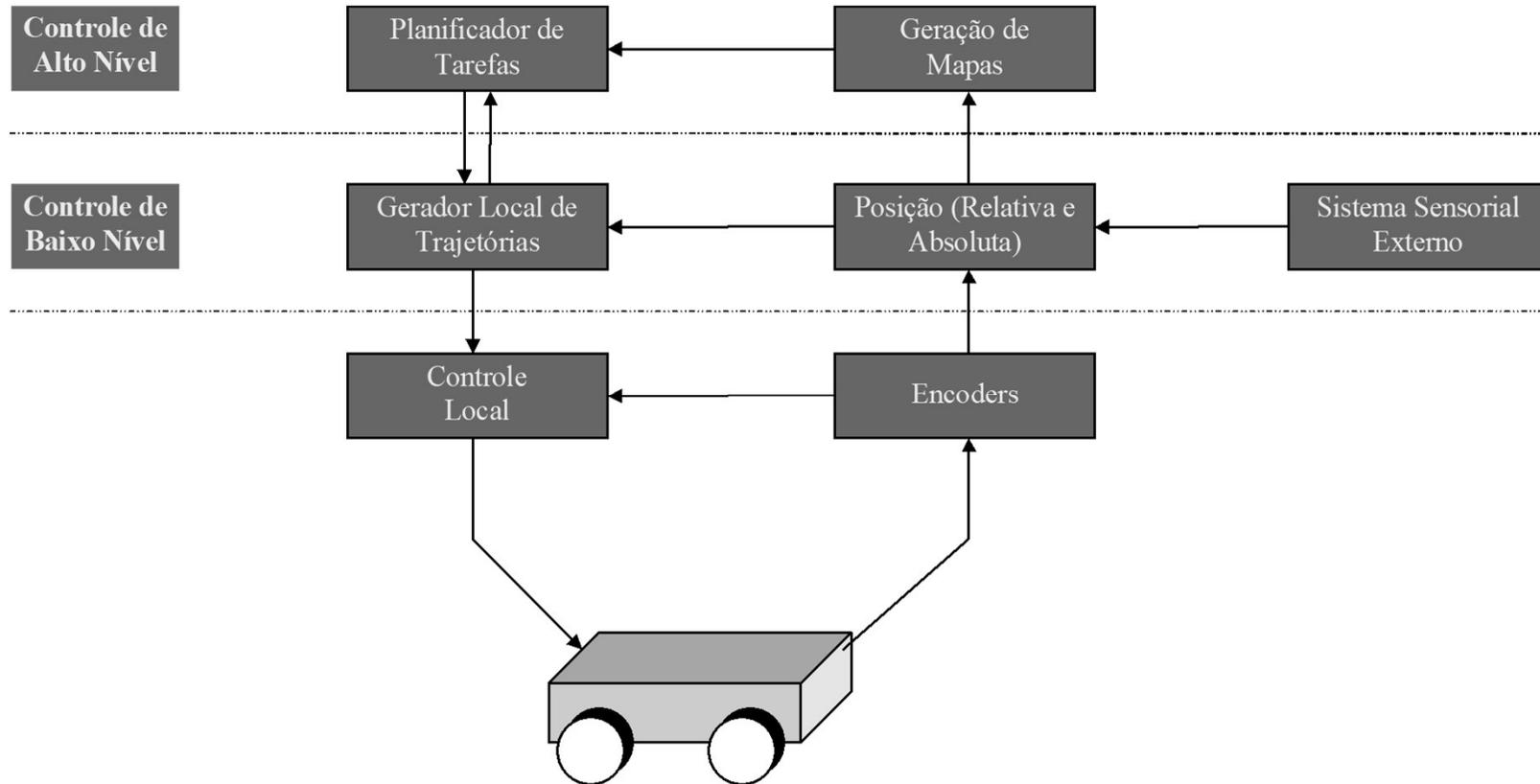
Arquiteturas Reativas

- 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 planejador
- 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 sistema (robô)

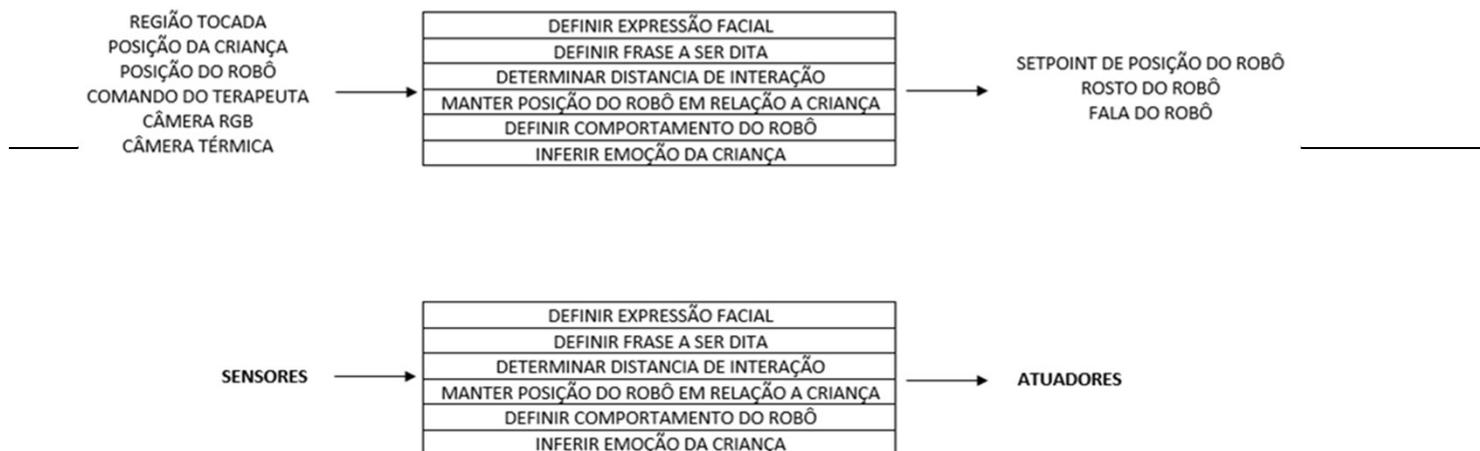
Arquiteturas Híbridas

- 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 planejador estabelece tarefas de mais alto nível
- Os processos de baixo nível se encarregam da integridade do robô em cada instante, enquanto que o planejador seleciona uma série de ações a executar no futuro, em função da tarefa selecionada

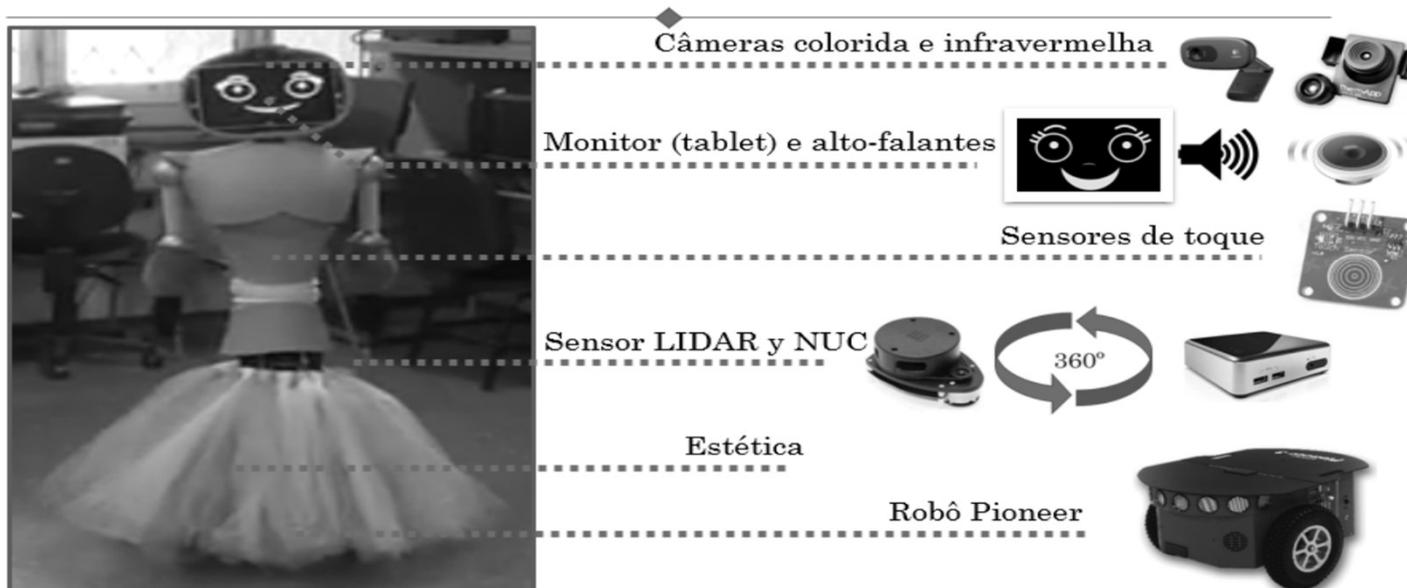
Arquiteturas Híbridas



Exemplo de Arquiteturas Híbridas



N-MARIA

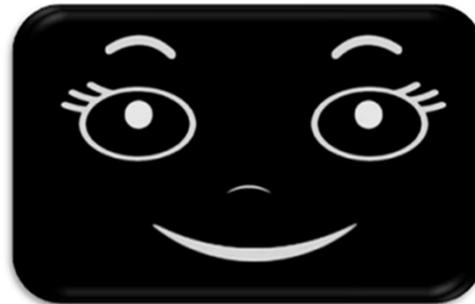
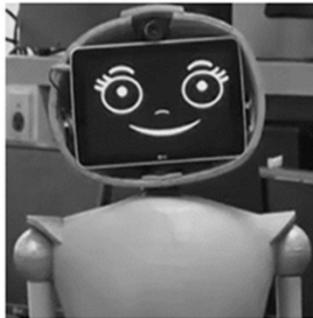


Sensores do Robô N-MARIA

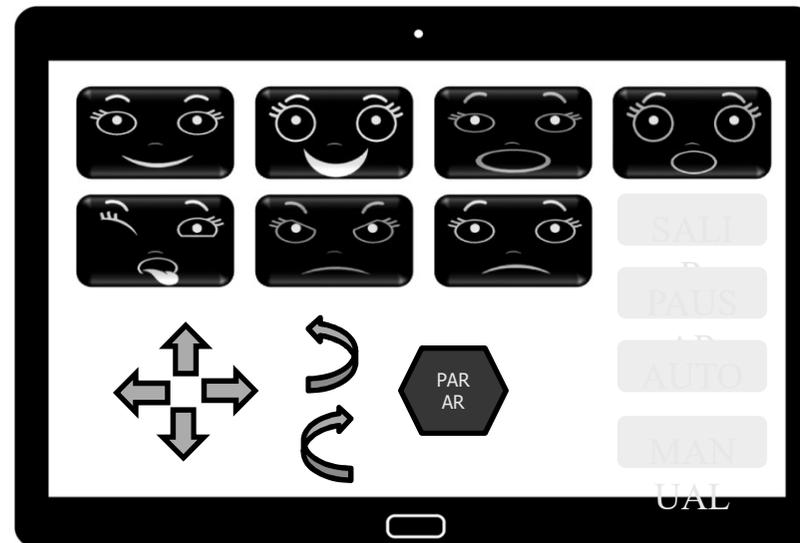
N-MARIA

Rosto

- Rostos com emoções básicas e expressão neutra utilizada para os diálogos



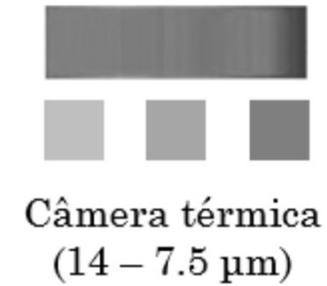
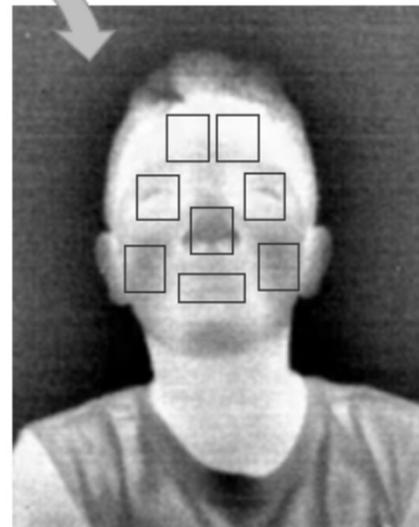
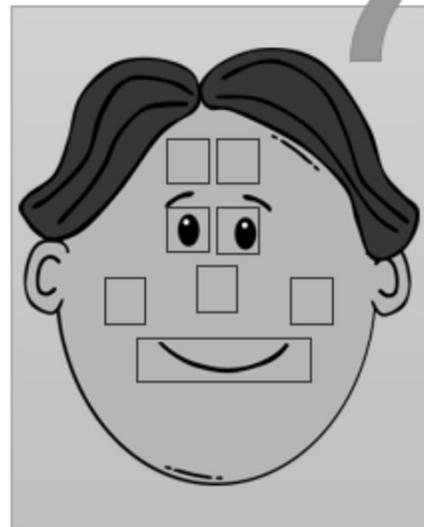
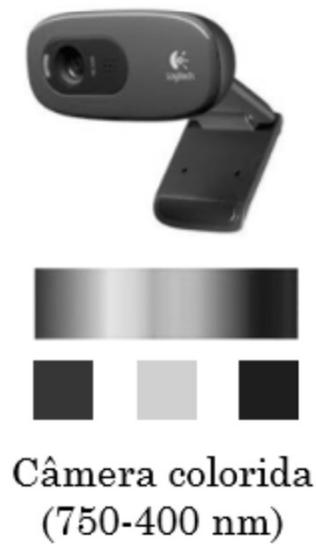
Neutra
Feliz
Medo
Nojo
Raiva
Tristeza
Surpresa



Sensores do Robô N-MARIA

N-MARIA

Câmeras e processamento de imagens

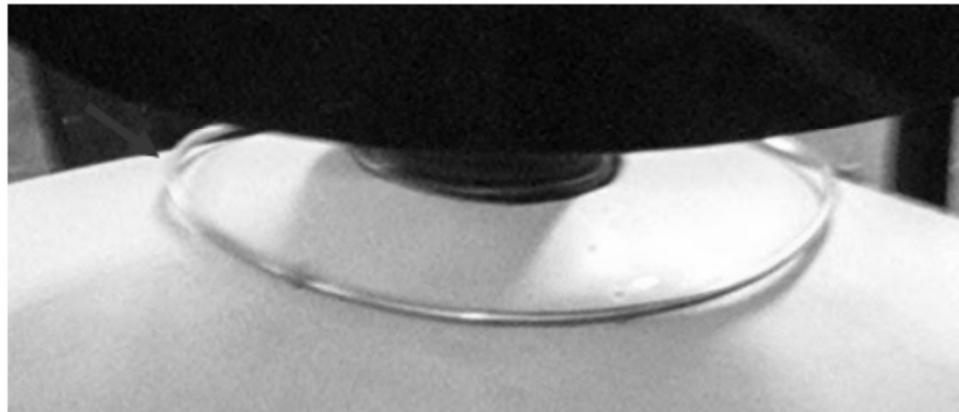
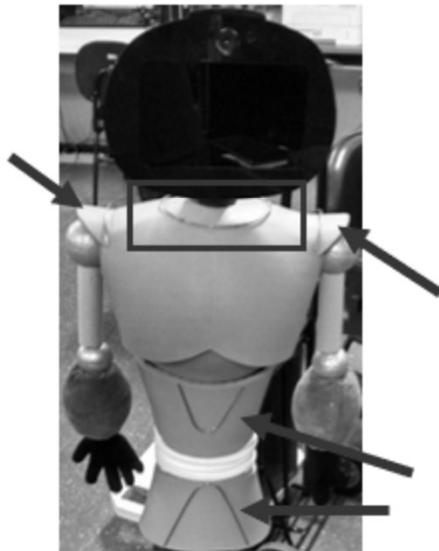


Sensores do Robô N-MARIA

N-MARIA

Sensores de Toque

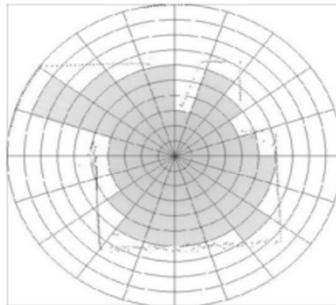
- Localizados em varias partes do robô
- Identifica a capacidade de interação social da criança através do toque



Sensores do Robô N-MARIA

N-MARIA

Sensor Laser LIDAR

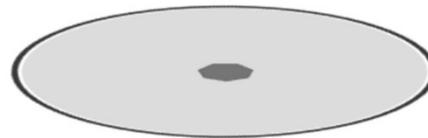


- Utilizado para encontrar a localização da criança no ambiente



Proxêmica

- Distâncias pessoal, social e pública: esta informação é utilizada para modelar o comportamento do robô



Pessoal: 46 – 120 cm

Social: 120 – 360 cm

Pública: Mais de 360 cm

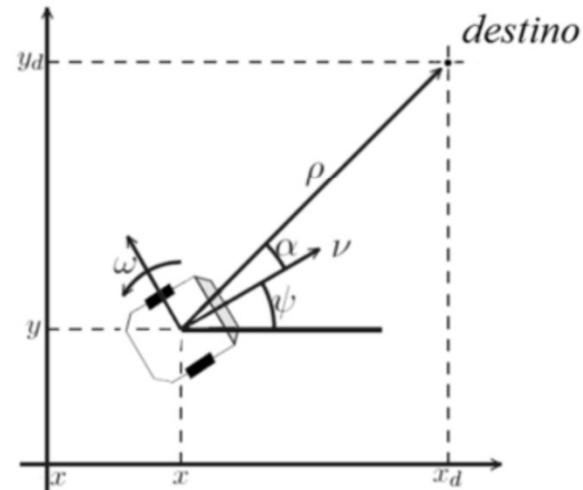
Controladores do Robô N-MARIA

Controle de posição

- Controle de posição baseado em Secchi (1998)

$$v = v_{max} \tanh \rho \cos \alpha$$

$$\omega = k_{\omega} \alpha + v_{max} \frac{\tanh \rho}{\rho} \sin \alpha \cos \alpha$$



Estabilidade

Candidata de Lyapunov - definida positiva:

$$V(\rho, \alpha) = \frac{\rho^2}{2} + \frac{\alpha^2}{2}$$

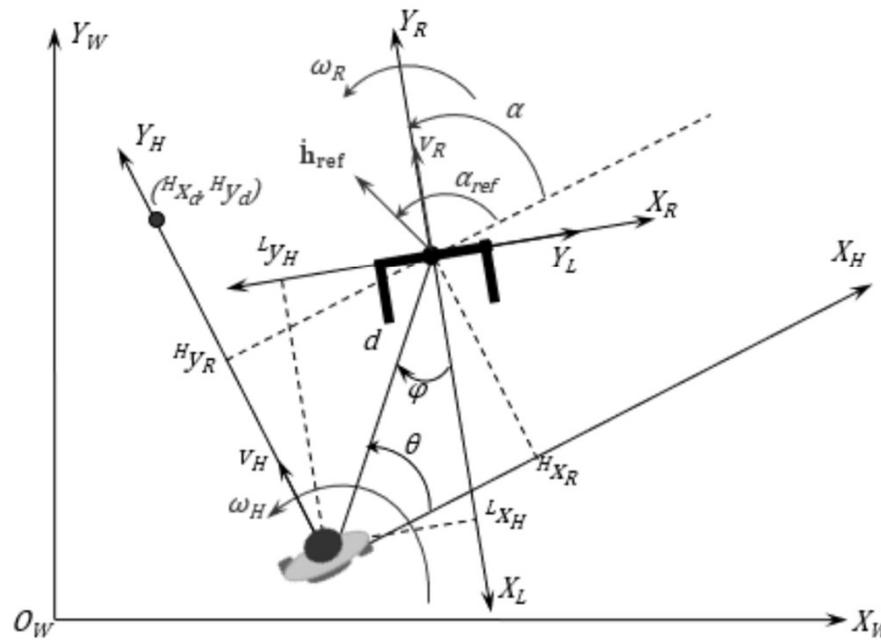
Derivada da candidata - definida negativa

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = v_{max} \tanh \rho \cdot \tanh d \cdot \left(-\rho \cdot \cos \alpha + \frac{\alpha}{\rho} \sin \alpha \right) - \alpha \omega_{max} \tanh \alpha \tanh d$$

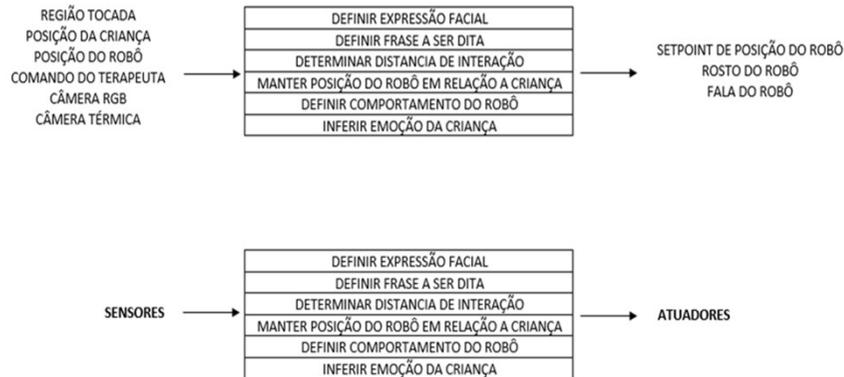
Controladores do Robô N-MARIA

Controle por cinemática inversa

$$v_c = |\dot{\mathbf{h}}_{\text{ref}}| \cdot \cos \tilde{\alpha}$$
$$\omega_c = k\tilde{\alpha} + \dot{\alpha}_{\text{ref}} + \omega_h$$



Interação do Robô com a Criança

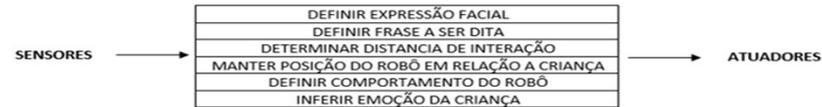
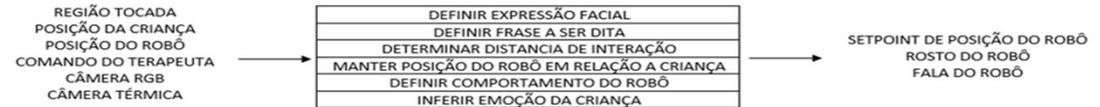


□ Fase 1

- Robô inicialmente parado
- Auto-apresentação
- Se a criança se afasta, o robô faz o mesmo; se se aproxima, o robô também se aproxima, até uma distância mínima de segurança
- Diálogos
- Se espera que a criança toque o robô e, assim, possa ser iniciada a segunda fase da interação



Interação do Robô com a Criança



□ Fase 2

- O robô convida a criança para passear por um caminho circular pintado marcado no chão
- Se a criança toca o robô, ele se move, seguindo a criança lateralmente
- O robô se mantém a uma distância de 70 cm, a 90° , da criança

