



**USP - ICMC - SSC  
SSC 0714 (RMA) - 1o. Semestre 2010**

**Disciplina de  
Robôs Móveis Autônomos  
SSC-0714**

**Prof. Fernando Santos Osório**

**Email: fosorio [at] { icmc. usp. br , gmail. com }**

**Estagiário PAE: Maurício Acconcia Dias - maccdias [at] gmail.com**

**Web: <http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>**

**Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>**

**Aula 03 – Sensores e Atuadores**

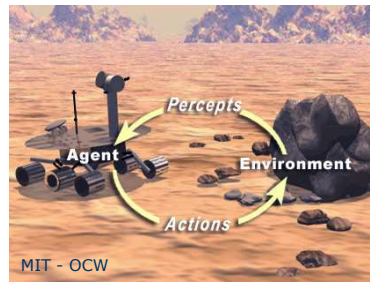
**Agenda:**

**Sensores e Atuadores:**

- 1. Tipos de Sensores**
- 2. Tipos de Atuadores**
- 3. Modelos Sensoriais**
- 4. Modelos Cinemáticos**
- 5. Simulação**

## Aula 03 – Sensores e Atuadores

Robôs Móveis:  
Agentes Autônomos dotados de SENSORES e ATUADORES



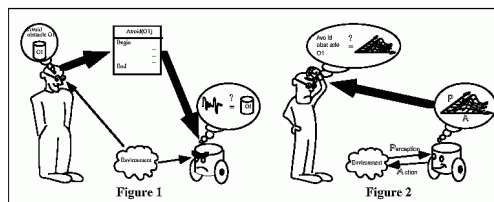
## Aula 03 – Sensores e Atuadores

Robôs Móveis:  
Agentes Autônomos dotados de SENSORES e ATUADORES



Como Agir?

Como Interpretar  
as Percepções?



Como Tomar Decisões?

### Tipos de Sensores

#### Sensores mais comuns...

#### Deteção de Luz, Som, Ondas Eletromagnéticas, Contato

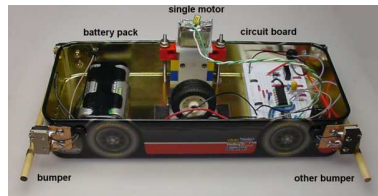
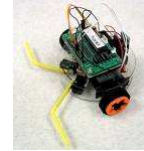
- **Bumpers**
- **Odômetros**
- **Sensores Infra-Vermelho (IR)**
- **Sensores do tipo Ultra-Som (Sonar)**
- **Sensores do tipo Laser (LIDAR - Light Detection and Ranging)**
- **Bússola (Compass)**
- **Sistema de GPS (Global Positioning System)**
- **Sistemas Inerciais (Acelerômetros, Giroscópios)**
- **Sistemas de Visão: Câmera de Vídeo**

### Tipos de Sensores

Sensor	Principal Função	Exemplos
De Posição e Orientação	Determinar a posição absoluta ou direção de orientação do robô	GPS (Sistema de Posicionamento Global)
		Bússola [Compass]
		Inclinômetro
		Triangulação usando marcas (Beacons)
De Obstáculos	Determinar a distância até um objeto ou obstáculo	Sensor Infra-Vermelho (IR - Infrared)
		Ultrassom (Sonar)
		Radar
		Sensor Laser (Laser rangefinder)
De Contato	Determinar o contato com um objeto ou posição de contato com marcação	Sistemas de Visão Estéreo (Stereo Vision)
		Sensores de Contato (Bumpers, Switches)
		Antenas e "bigodes" (Animal whiskers)
De Deslocamento e Velocidade	Medir o deslocamento do robô e medidas relativas da posição e orientação do robô	Marcações (barreiras óticas e magnéticas)
		Inercial (Giroscópio, Acelerômetros)
		Odômetro (Encoders: Optical, Brush)
		Potenciômetros (Angular)
Para Comunicação	Envio e recepção de dados e sinais externos (troca de informação)	Sensores baseados em Visão
		Sistemas de Visão e Sensores Óticos
Outros tipos	Sensores magnéticos, indutivos, capacitivos, reflexivos	Sistemas de Comunicação (RF)
		Sensores de temperatura, carga (bateria), pressão e força, etc.
		Detectores: detector de movimento, de marcações, de gás/odores

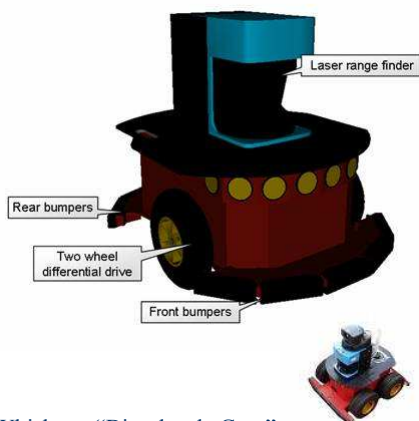
### Tipos de Sensores

Sensor do Tipo *Bumper* (Sensor de Contato / “Pára-choque”)



### Tipos de Sensores

Sensor do Tipo *Bumper* (Sensor de Contato / “Pára-choque”)



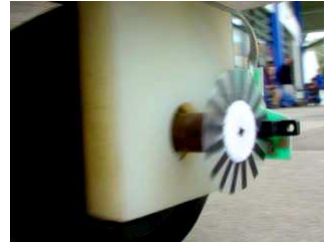
Whiskers: “Bigodes de Gato”

### Tipos de Sensores

#### Sensores do tipo Odômetro



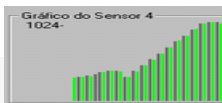
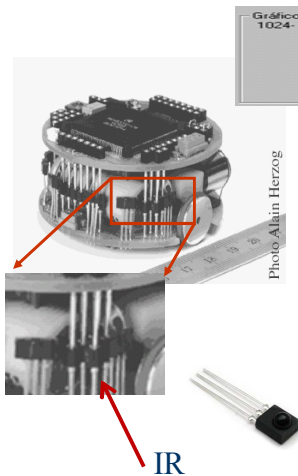
Odômetro



Encoder: Controle do giro da roda

### Tipos de Sensores

#### Sensores Infra-Vermelho (IR)



•Características dos Sensores Infra-Vermelho do Khepera:

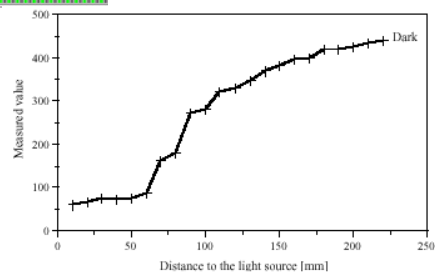
Sensibilidade a luz ambiente/ Reflexão da Luz

Distância: 50 a 500mm (aproximadamente)

Valor lido: 0..450 (aproximadamente)

Dependente de: Potência = 1 Watt

Ângulo = -180 a +240 graus



Typical measurement of the ambient light versus the distance of a light source of 1 Watt.

As it can be seen, the measured value decreases when the intensity of the light increases. The standard value in the dark is around 450.

The measurement of the ambient light versus the angle between the forward direction of the robot and the direction of the light has the shape illustrated in figure 10.

## Tipos de Sensores

### Sensores Infra-Vermelho (IR)

Resposta do sensor em função:

- Do tipo de material que reflete a luz
- Do ângulo deste em relação a fonte de luz;

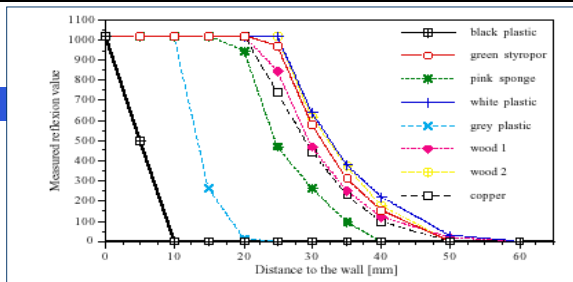
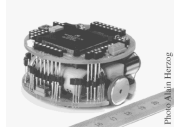
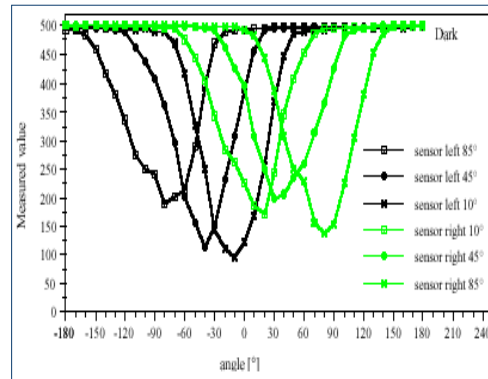


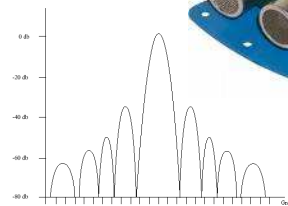
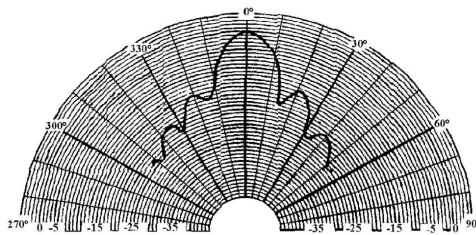
Figure 11: Measurements of the light reflected by various kinds of objects versus the distance to the object.



## Sensores e Atuadores

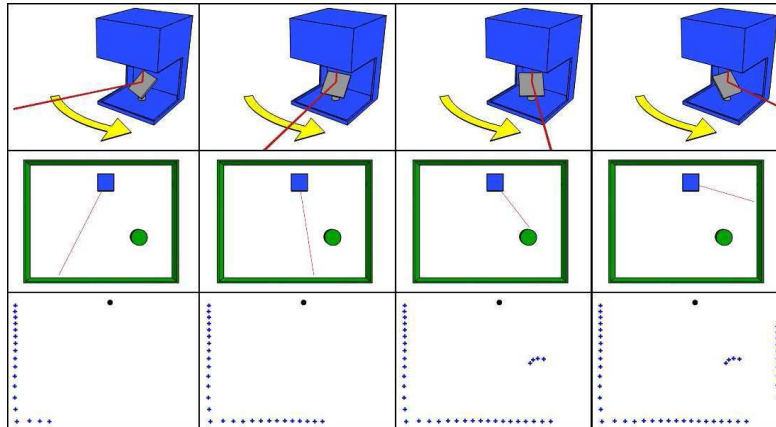
### Tipos de Sensores

#### Sensores Ultra-Som (Sonar)



**Tipos de Sensores**

**Sensores LASER (Lidar - Light Detection and Ranging)**



**Tipos de Sensores**

**Sensores LASER (Lidar)**

SICK  
 IBEO  
 VELODYNE

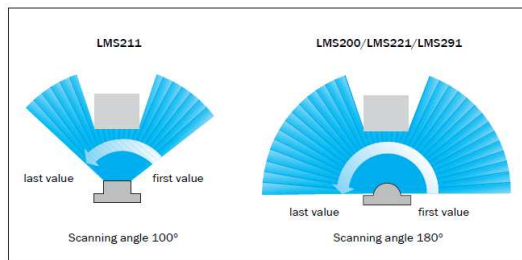
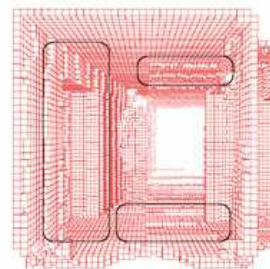
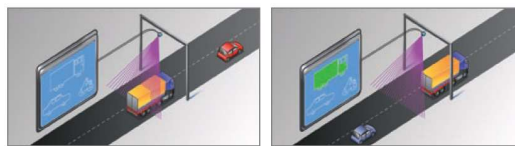


Fig. 5-1: Direction of transmission and maximum scanning angle (standard devices) on top view of the devices

### Tipos de Sensores

#### Sensores

- **Bússola (Compass)**
- **Sistema de GPS (Global Positioning System)**
- **Sistemas Inerciais (Acelerômetros, Giroscópios)**
- **Sistemas de Visão: Câmera de Vídeo**

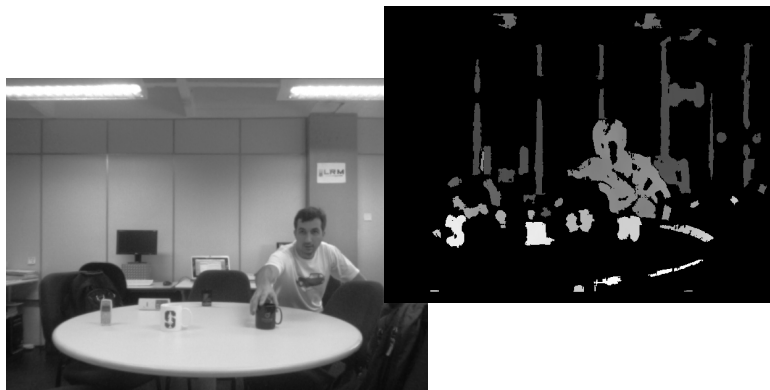


Da esquerda para a direita: GPS 18x da Garmin, Sick LMS 291, IMU MicroStrain Inertia Link e Câmera de vídeo SCC-B2315

### Tipos de Sensores

#### Sensores

- **Sistemas de Visão: Câmera de Vídeo Monoculares e Estéreo**





## Localização: Estimativa

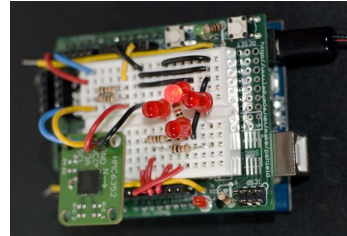
### Estimativa de Posição e Orientação

Sensores e Medidas

- Encoders
- Compass (bússola)
- GPS
- Tracking (externo)

ERRO  
DE  
ESTIMATIVA

COMPASS: Orientação do robô em relação ao “norte magnético”  
> Bussola [Medida Absoluta de Orientação]



17

Mai 2009

## Localização: Estimativa

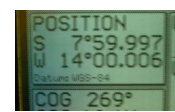
### Estimativa de Posição e Orientação

Sensores e Medidas

- Encoders
- Compass (bússola)
- GPS
- Tracking (externo)

ERRO  
DE  
ESTIMATIVA

GPS: Posição (3D) e Orientação do robô com estimativa de velocidade de desloc.  
[Medida Absoluta de Posição, Altura e Orientação]



18

Mai 2009

### Tipos de Sensores

#### Sensores

- **Bússola (Compass)**
- **Sistema de GPS (Global Positioning System)**
- **Sistemas Inerciais (Acelerômetros, Giroscópios)**
- **Sistemas de Visão: Câmera de Vídeo**

#### *SENSORES*

- **Tipo de dados coletado**
- **Precisão e Sensibilidade**
- **Intervalo de Valores Fornecidos**
- **Frequência de Leitura dos Dados**
- **Imprecisão, Incerteza, Erro (flutuação dos dados)**
- ...

### Tipos de Atuadores

#### Atuadores mais comuns...

- **Motor DC**
- **Motor de Passo (Step-Motor)**



Servomotor

Atuador	Principal Tipo/Função	Exemplos
Base Fixa	Braço robótico com base fixa	Robôs industriais PUMA
Base Móvel: Rodas	2 Rodas independentes (diferencial)	Robôs Khepera e Pioneer 3-DX
	3 Rodas (triciclo, omni-direcionais)	Robô BrainStem PPRK
	4 Rodas (veículos robóticos - ackermann)	Stanley - Stanford (Darpa Challenge)
Base Móvel: Esteira	Esteira (Slip/Skid locomotion - tracks)	Tanques e veículos militares
Base Móvel: Juntas e	Bípedes	Robôs Humanóides
Articulações	4 Patas (quadpods)	Robôs Sony Aibo, BigDog
	6 Patas (hexapods)	Robôs Inseto (Lynxmotion Hexapods)
Base Móvel: Propulsão	Veículos aéreos com hélices	Aviões, Helicópteros e Dirigíveis
Hélices ou Turbinas	Veículos aquáticos com hélices	Barcos autônomos
	Veículos sub-aquáticos	Submarinos autônomos
Outros tipos	Braços manipuladores com base móvel	Garras (Grippers) embarcadas
	Garras com ou sem feed-back sensorial	Mão robótica
	Mecanismos de disparo	Disparo do chute (futebol de robôs)

## Tipos de Atuadores

### Atuadores: Robôs Móveis

#### ATUADORES

- Aceleração
- Limite de Velocidade
- Inércia

#### ACIONAMENTO

- AC/DC Servo Motors
- Step Motors

#### CONTROLE

- Open Loop
- Closed Loop: P, PI, PID

#### SET POINT

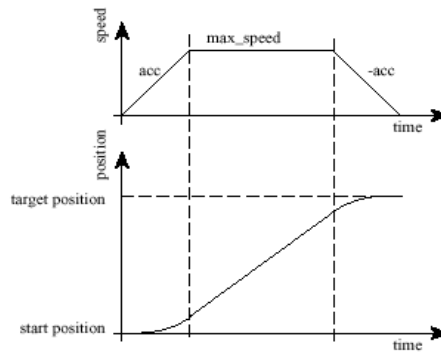
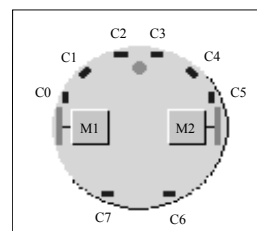
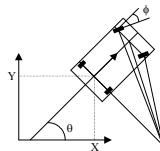
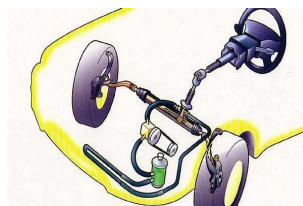


Figure 7: Speed profile used to reach a target position with a fixed acceleration (acc) and a maximal speed (max speed).

## Tipos de Atuadores

### Atuadores: Robôs Móveis



## Sensores e Atuadores

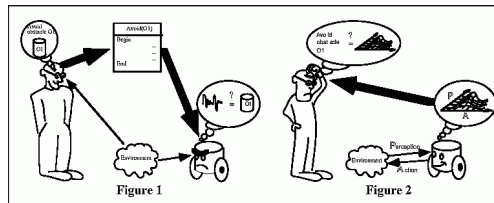
### Modelos Sensoriais e Modelos de Atuadores



Como Agir?

Como Interpretar as Percepções?

Como Tomar Decisões?

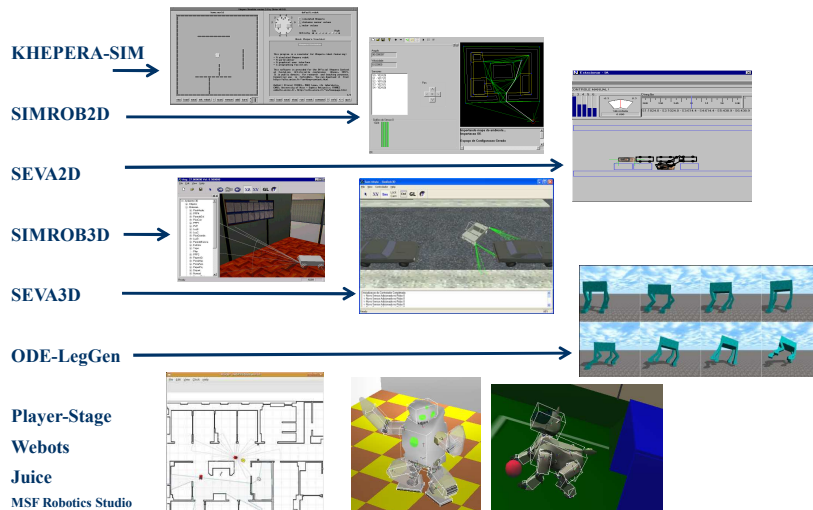


23

Agosto 2008

## Sensores e Atuadores: Simulação

### Modelos Sensoriais e Modelos de Atuadores



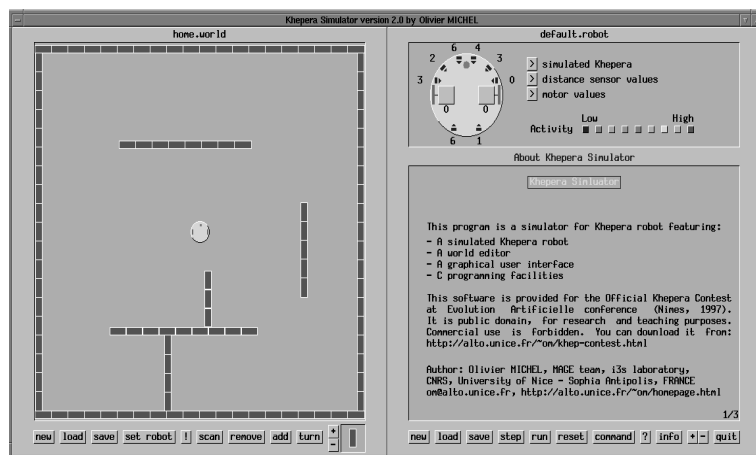
24

Agosto 2008

## Sensores e Atuadores: Simulação

### Robótica Autônoma Inteligente Simuladores [Clássicos]

Simulador do Khepera / SIM 2.0 Unix / Olivier Mitchell / INRIA Sophia Antipolis



25

Agosto 2008

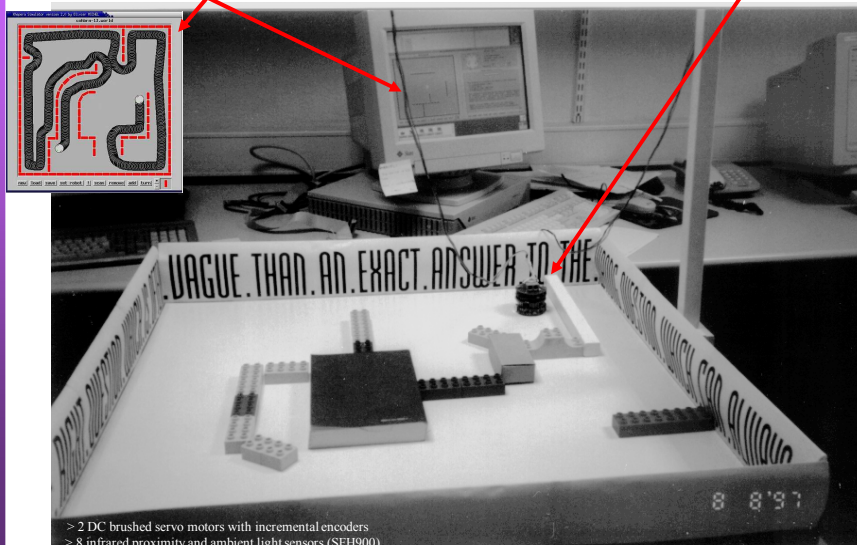
Sensores: 8 IR / Atuadores: 2 motores com cinemática diferencial

1997/98

## Sensores e Atuadores: Simulação

Simulador do Khepera

Robô Khepera



26

Agosto 2008

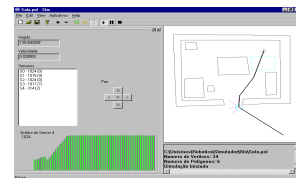
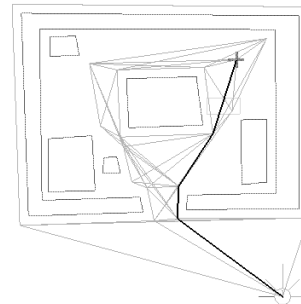
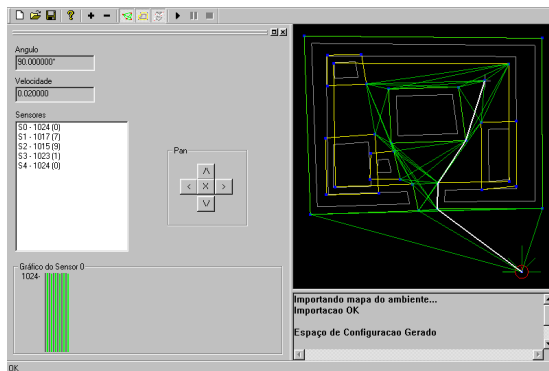
> 2 DC brushed servo motors with incremental encoders  
> 8 infrared proximity and ambient light sensors (SFH900)

### SIMROB2D

#### Referência:

Farlei Heinen (Orientador: Fernando Osório )  
Robótica Autônoma: A integração entre planificação e comportamento reativo. 2000.

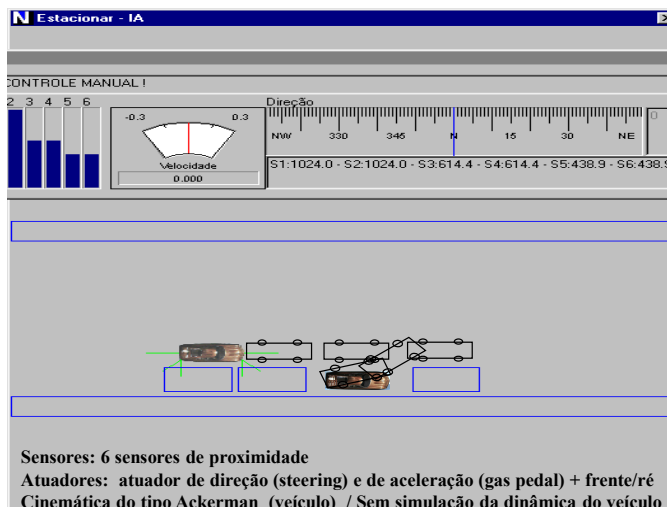
Sensores: 5 IR / Atuadores: 2 motores (diferencial)



27

Agosto 2008

### SEVA2D – Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 2D



Sensores: 6 sensores de proximidade

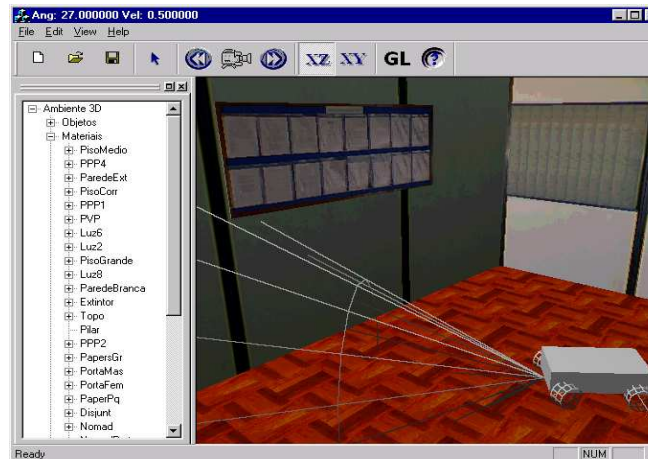
Atuadores: atuador de direção (steering) e de aceleração (gas pedal) + frente/ré  
Cinematica do tipo Ackerman (veículo) / Sem simulação da dinâmica do veículo

28

Agosto 2008

## Sensores e Atuadores: **Simulação**

### SIMROB3D – Simulador de Robôs 3D / Controle Híbrido COHBRA



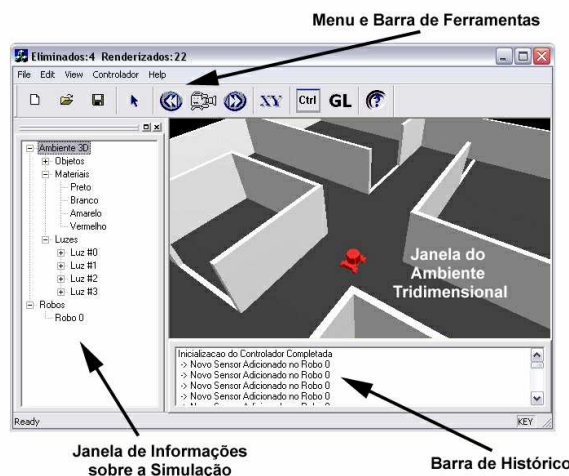
**Sensores:** Bumper, IR ou Sonar (configurável pelo usuário)  
**Atuadores:** Cinemática diferencial ou Ackerman (configurável pelo usuário)

29

Agosto 2008

## Sensores e Atuadores: **Simulação**

### SIMROB3D – Simulador de Robôs 3D / Controle Híbrido COHBRA



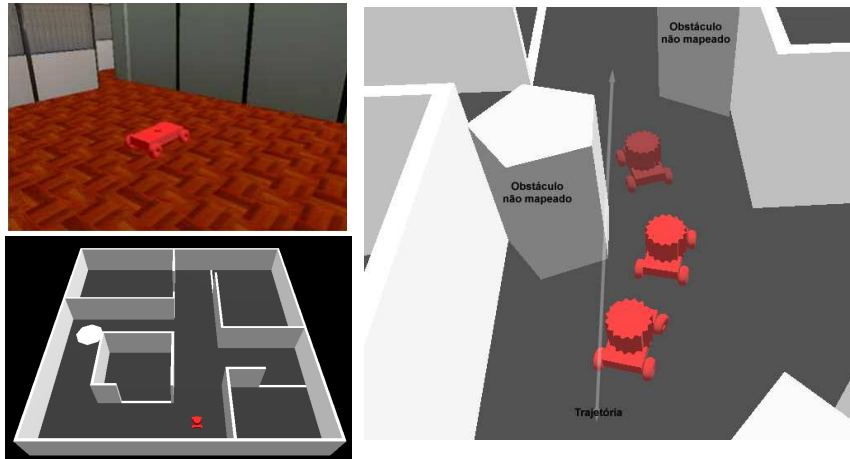
**Sensores:** Bumper, IR ou Sonar (configurável pelo usuário)  
**Atuadores:** Cinemática diferencial ou Ackerman (configurável pelo usuário)

30

Agosto 2008

## Sensores e Atuadores: Simulação

### SIMROB3D – Simulador de Robôs 3D / Controle Híbrido COHBRA



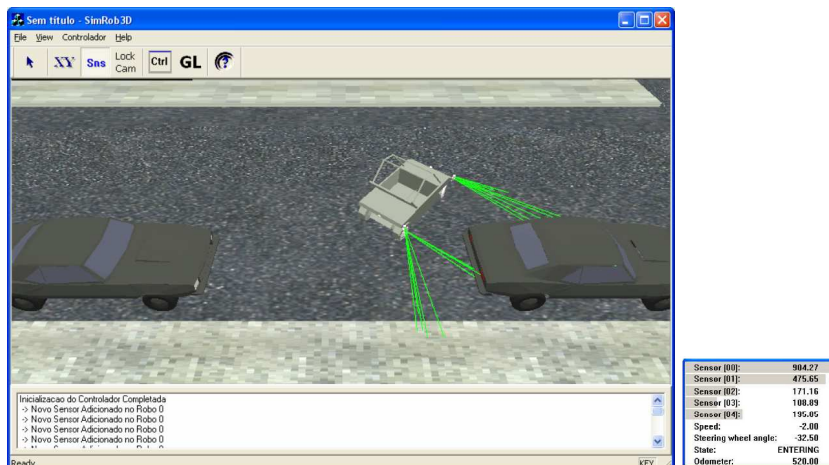
Sensores: Bumper, IR ou Sonar (configurável pelo usuário)  
Atuadores: Cinemática Diferencial ou Ackerman (configurável pelo usuário)

31

Agosto 2008

## Sensores e Atuadores: Simulação

### SEVA3D – Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 3D



Sensores: Sonar (configurável pelo usuário) e Odômetro  
Atuadores: Cinemática Ackerman  
Usual: 6 sonares com posições específicas, odômetro, controle de velocidade e de giro da direção

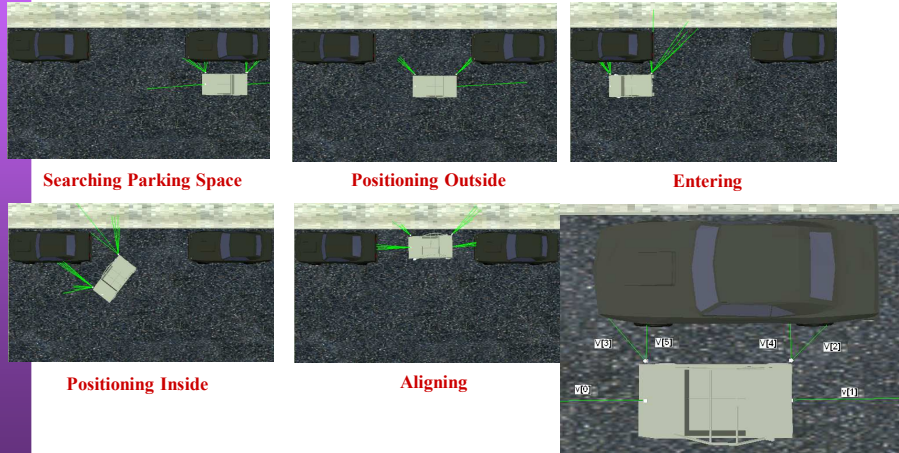
32

Agosto 2008



## Sensores e Atuadores: Simulação

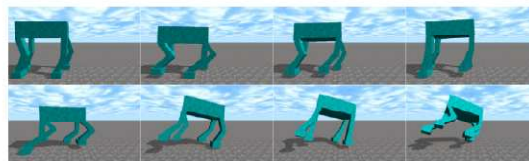
### SEVA3D – Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 3D



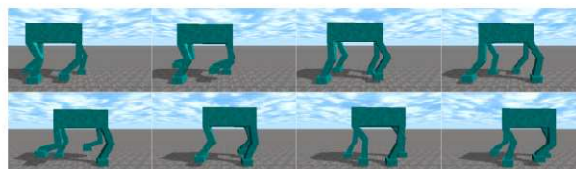
Sensores: Sonar (configurável pelo usuário) e Odômetro  
Atuadores: Cinemática Ackerman (velocidade e giro da direção)

## Sensores e Atuadores: Simulação

### LegGen – Simulador Robôs Articulados com Patas



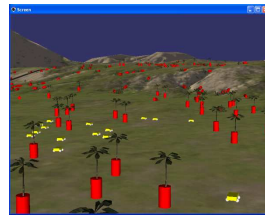
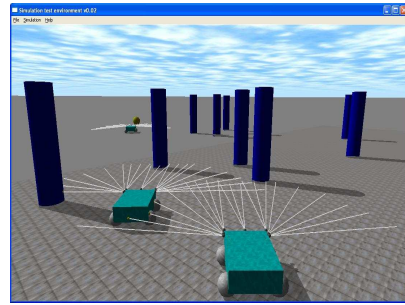
Simulação Física usando a ODE



Sensores: Acelerômetro (XYZ), Bumper (nas patas), Odômetro  
Atuadores: Controle dos Motores das Juntas  
Simulação: Cinemática e Dinâmica do Movimento (gravidade, inércia, fricção, colisão, torque, etc)

## Sensores e Atuadores: **Simulação**

### RoBombeiros – Simulador Robôs para Combate à Incêndios



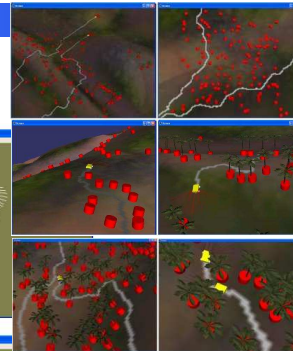
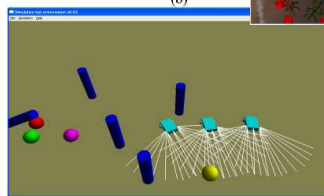
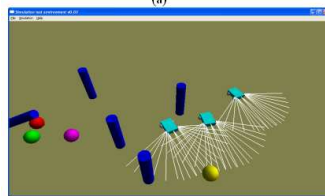
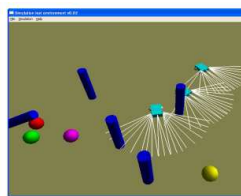
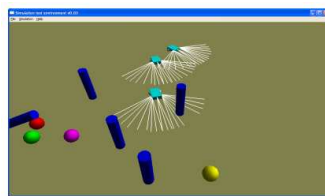
35

Agosto 2008

Simulação Física usando a ODE

## Sensores e Atuadores: **Simulação**

### RoBombeiros – Simulador Robôs para Combate à Incêndios



36

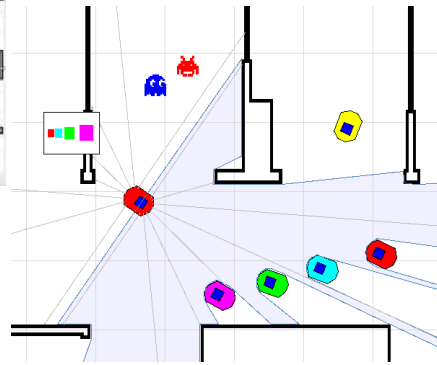
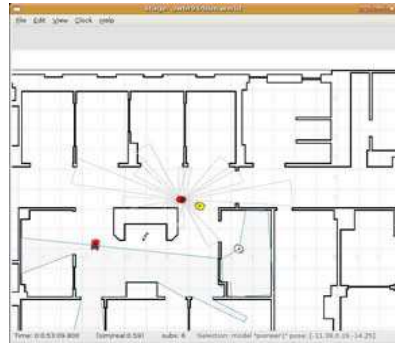
Agosto 2008

Seqüências de uma simulação com navegação e desvio satisfatórios

Simulação Física usando a ODE

## Sensores e Atuadores: Simulação

### Player – Stage - Gazebo

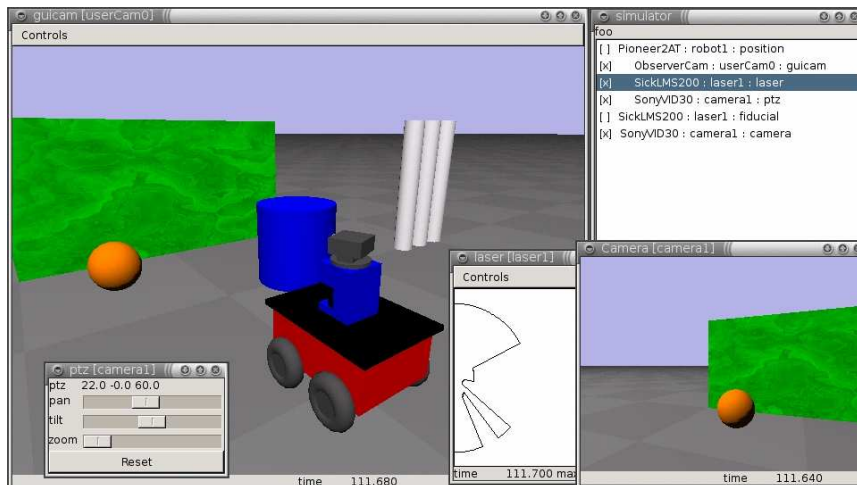


37

Agosto 2008

## Sensores e Atuadores: Simulação

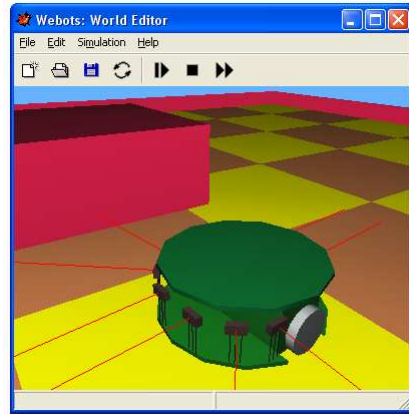
### Player – Stage - Gazebo



38

Agosto 2008

### Webots



The Sony Dream Robot  
in the real world



The Sony Dream Robot  
simulated into Webots

39

Agosto 2008



### INFORMAÇÕES SOBRE A DISCIPLINA

**USP - Universidade de São Paulo - São Carlos, SP**  
**ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação**  
**SSC - Departamento de Sistemas de Computação**

**Prof. Fernando Santos OSÓRIO**

**PAE Maurício Acconcia Dias**

**Web institucional: [Http://www.icmc.usp.br/ssc/](http://www.icmc.usp.br/ssc/)**

**Página pessoal: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)**

**E-mail: [fosorio\[at\]icmc.usp.br](mailto:fosorio[at]icmc.usp.br), [gmail.com](mailto:gmail.com) } # [maccddias\[at\]gmail.com](mailto:maccddias[at]gmail.com)**

**Disciplina de Robôs Móveis Autônomos**

**Web Disciplinas: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)**

**Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>**

**> Programa, Material de Aulas, Critérios de Avaliação,**

**> Material de Apoio, Trabalhos Práticos**

40

Março 2010