

# Introdução à Robótica

## Robótica Móvel – Locomoção

Prof. Douglas G. Macharet  
douglas.macharet@dcc.ufmg.br

\*Apresentação baseada nos slides de *Introduction to Autonomous Mobile Robots*.



## Introdução

- Um robô móvel necessita de mecanismos que o permitam navegar pelo ambiente
- Projetados de acordo com o ambiente
  - Aéreo
  - Terrestre
  - Aquático
  - Espacial

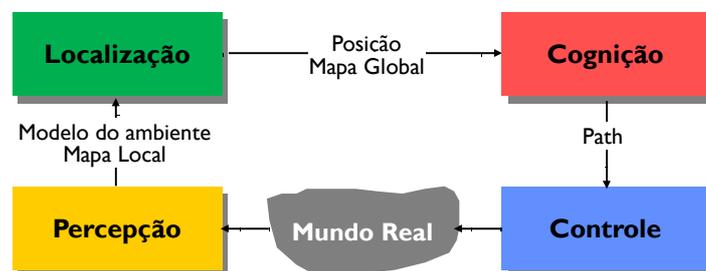


## Introdução

- Navegação
  - Tarefa de mais alto nível
  - Planejamento (Decisões)
- Necessário perceber e entender o mundo
  - Sensores
- Diferentes etapas (subtarefas) envolvidas



## Introdução



## Introdução

- Na disciplina veremos um nível mais baixo
  - Sensores simples
  - Métodos básicos de controle
  - Mecanismos de locomoção



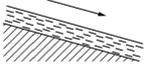
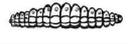
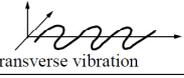
## Locomoção

- Diferentes formas de se movimentar
  - Aspecto importante ao se projetar o robô
- Exemplos
  - Andar, Correr, Pular, Voar, ...
- Inspiração principalmente na natureza



# Locomoção

## Natureza

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Periodic bouncing on a spring 
Walking 	Loss of kinetic energy	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 



# Locomoção

## Natureza

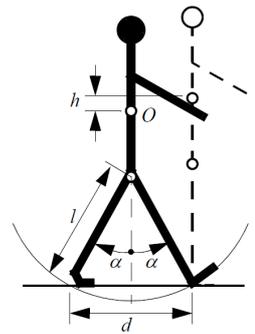
- Conceitos da natureza são difíceis de imitar
- Principais mecanismos utilizados
  - Rodas e Esteiras
- Rolar é o método mais eficiente
  - Não encontrado na natureza. Quem inventou?!
- O movimento realizado por um bípede ao caminhar é semelhante à um rolamento



# Locomoção

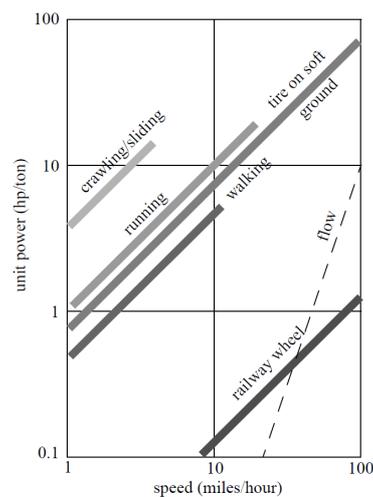
## Mecanismo bípede de caminhar

- Rolamento de um polígono com um comprimento lateral igual ao comprimento do passo
- Quanto menor o passo fica, mais o polígono tende a um círculo
- Possui vantagens
  - Transpor obstáculos



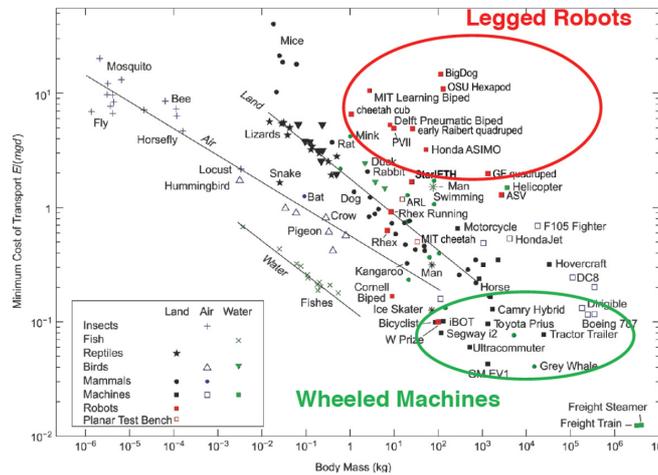
# Locomoção

## Selecionando um mecanismo (Eficiência)



# Locomoção

## Selecionando um mecanismo (Eficiência)



# Locomoção

## Selecionando um mecanismo (Eficiência)

- A escolha de um mecanismo depende
  - Características do terreno
  - Complexidade e peso do robô
  - Velocidade de operação desejada
  - Limitações no gasto energético



## Locomoção

- Locomoção
  - Interação física entre o robô e o ambiente
- Principais focos de análise
  - Forças de interação
  - Mecanismos
  - Atuadores



## Locomoção

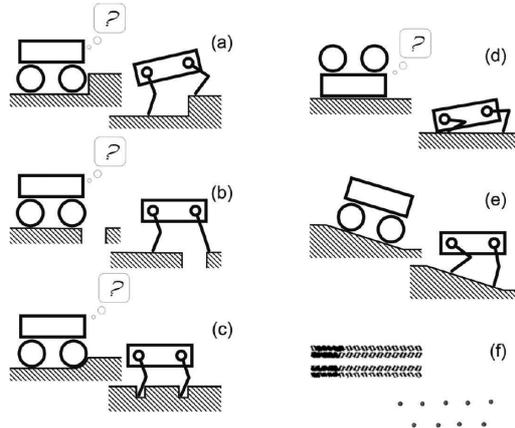
### Questões importantes

- Estabilidade
  - Número de pontos de contato
  - Centro de gravidade
  - Estabilização (estática/dinâmica)
- Características de contato
  - Ponto ou área de contato
  - Ângulo de contato



# Locomoção

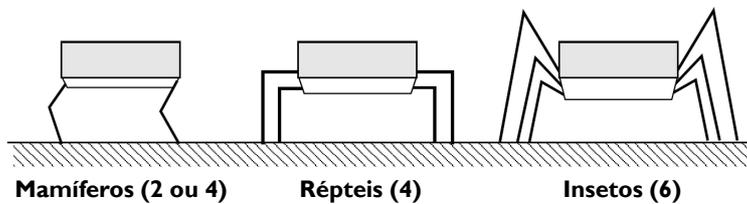
## Robôs com Pernas vs. Robôs com Rodas



# Locomoção

## Robôs com Pernas

- Número de pernas → Complexidade
  - Quanto menor mais difícil é o problema
  - Quanto maior mais difícil é o controle
  - Estabilidade estática demanda três pernas



# Locomoção

## Robôs com Pernas

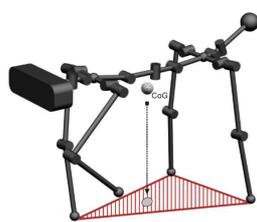
- Ao caminhar as pernas perdem o contato
  - Como fica a estabilidade?
- Caminhada estática
  - Pelo menos 4 (ou 6) pernas são necessárias
  - Por que?
- Andar é um problema difícil
  - Por isso levamos quase um ano aprendendo!



# Locomoção

## Robôs com Pernas

Caminhada estática



- Estável sem se movimentar
- Lento e ineficiente
- Seguro

Caminhada dinâmica



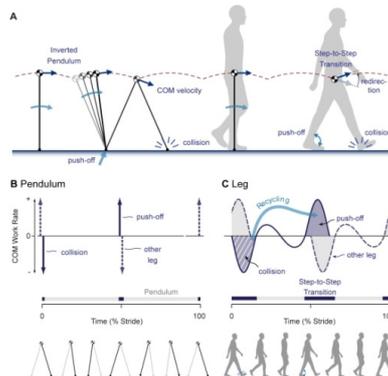
- Em constante movimento
- Rápido e eficiente
- Atuação constante



# Locomoção

## Robôs com Pernas

### ■ Caminhar humano: Pêndulo invertido



# Locomoção

## Robôs com Pernas – Movimentando uma perna

- São necessários pelo menos 2 DoF
  - Movimentos de levantar e girar
- Junta *tornozelo* (4 DoF)
  - Pode melhorar o caminhar
  - Maior complexidade do projeto e locomoção
- Na maioria dos casos são utilizados 3 DoF

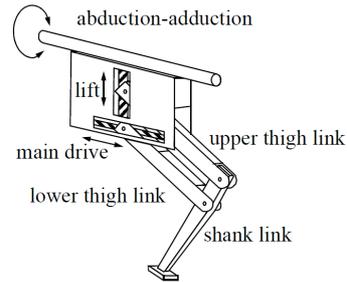
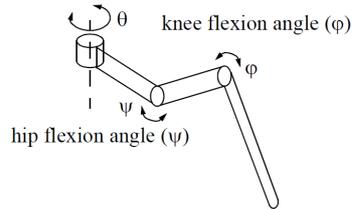


# Locomoção

## Robôs com Pernas – Movimentando uma perna

- Exemplos de pernas com 3 DoF

hip abduction angle ( $\theta$ )



# Locomoção

## Robôs com Pernas – Marcha

- Em sistemas com várias pernas, é necessário existir algum tipo de coordenação
- A marcha (*gait*) é descrita pela sequência de eventos de erguer/descer cada perna
- Para um robô com  $k$  pernas, existem

$$N = (2k - 1)!$$

- possíveis sequências distintas de eventos



# Locomoção

## Robôs com Pernas – Marcha

- Para um robô bípede ( $k = 2$ )

$$N = (2k - 1)! = 3! = 3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$$

- Possíveis eventos

- Erguer PD, Erguer PE, Descer PD, Descer PE
- Erguer PD e PE, Descer PD e PE

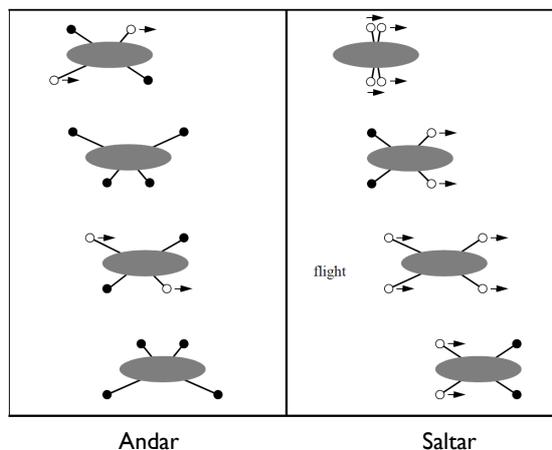
- Para um robô hexapoda ( $k = 6$ )

$$N = 11! = 39.916.800$$



# Locomoção

## Robôs com Pernas – Marcha



## Locomoção

### Robôs com Rodas

- Idealmente, realiza um deslocamento de  $2\pi r$  por volta, onde  $r$  é o raio da roda
- Dificuldades de locomoção se o terreno apresenta irregularidades maiores que o raio da roda
- Problemas também em terrenos “macios”
  - Areia, lama, ...



## Locomoção

### Robôs com Rodas

- Apropriada para a maioria das aplicações
  - Estabilidade
  - Manobrabilidade
  - Controlabilidade
- O tipo da roda irá depender da aplicação
  - Existem diferentes tipos?!



# Locomoção

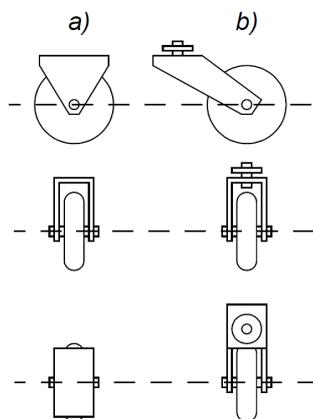
## Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas

- Padrão
  - 2 DoF
  - Rotação em torno do eixo da roda (motor) e do ponto de contato
- Castor
  - 3 DoF
  - Rotação em torno do eixo da roda, do ponto de contato e do eixo castor



# Locomoção

## Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas



# Locomoção

## Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas



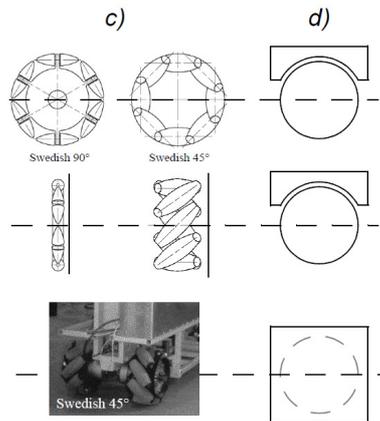
# Locomoção

## Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas

- Sueca (omnidirecional)
  - 3 DoF
  - Rotação em torno do eixo da roda, dos rolamentos e do ponto de contato
- Esférica
  - Alto grau de mobilidade
  - Difícil de ser executada na prática

# Locomoção

## Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas



# Locomoção

## Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas



# Locomoção

## Robôs com Rodas – Projeto

- Três rodas são suficientes para estabilidade
  - CoG no triângulo dos pontos de contato
- Ao utilizar mais do que três rodas
  - Estabilidade é melhorada
  - Suspensão flexível é recomendada
- Rodas maiores → Obstáculos maiores
  - É necessário um torque maior



# Locomoção

## Robôs com Rodas – Arranjo das rodas

### ▪ Legenda



Sueca Motorizada



Padrão Motorizada



Padrão Não-Motorizada



Padrão Direcional

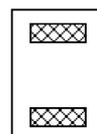


Rodas Conectadas



Omnidirecional

### ▪ 2 Rodas



# Locomoção

## Robôs com Rodas – Arranjo das rodas

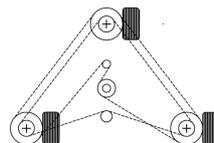
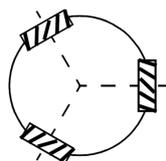
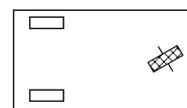
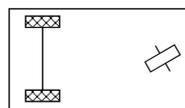
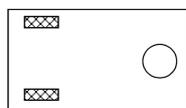
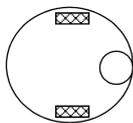
### ▪ 2 Rodas



# Locomoção

## Robôs com Rodas – Arranjo das rodas

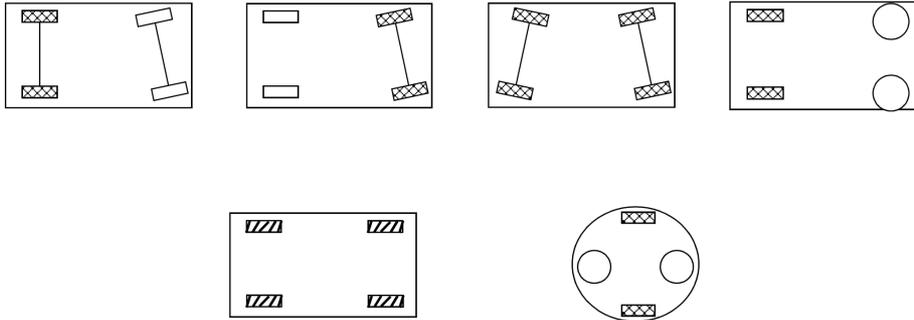
### ▪ 3 Rodas



# Locomoção

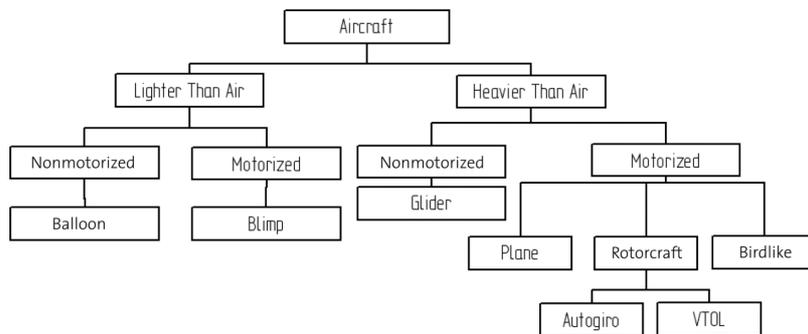
## Robôs com Rodas – Arranjo das rodas

### ▪ 4 Rodas



# Locomoção

## Robôs Aéreos



# Locomoção

## Robôs com Asas

- Asa fixa
  - Baixa manobrabilidade
  - Bons para longas distâncias



# Locomoção

## Robôs com Asas

- Asa rotativa
  - Alta manobrabilidade
  - Controle mais complexo



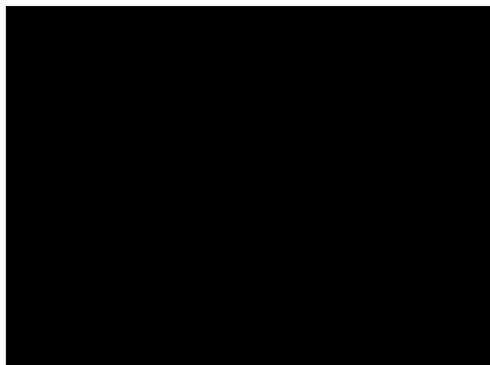
# Locomoção

Outros tipos de mecanismos de locomoção



# Locomoção

Outros tipos de mecanismos de locomoção



# Locomoção

## Outros tipos de mecanismos de locomoção

HyTAQ: Hybrid Terrestrial and Aerial Quadrotor

Arash Kalantari      Matthew Spenko

The Robotics Laboratory  
Illinois Institute of Technology  
Chicago, IL

