

# Introdução à Robótica

## Aula 02 – Locomoção



Professora: Danielle Casillo

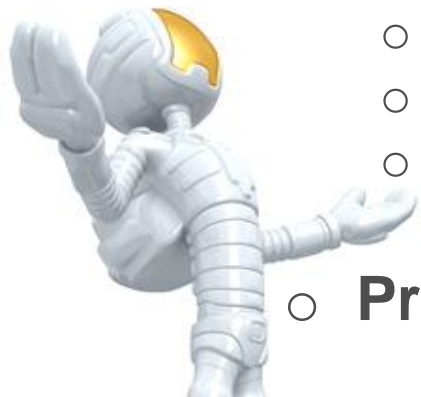
# Na aula de anterior ...

- Apresentação da disciplina
- Definições e Histórico
- O futuro da robótica
- De que é feito um Robô?
  - Componentes de um sistema robótico
- Conhecemos o kit didático EV06



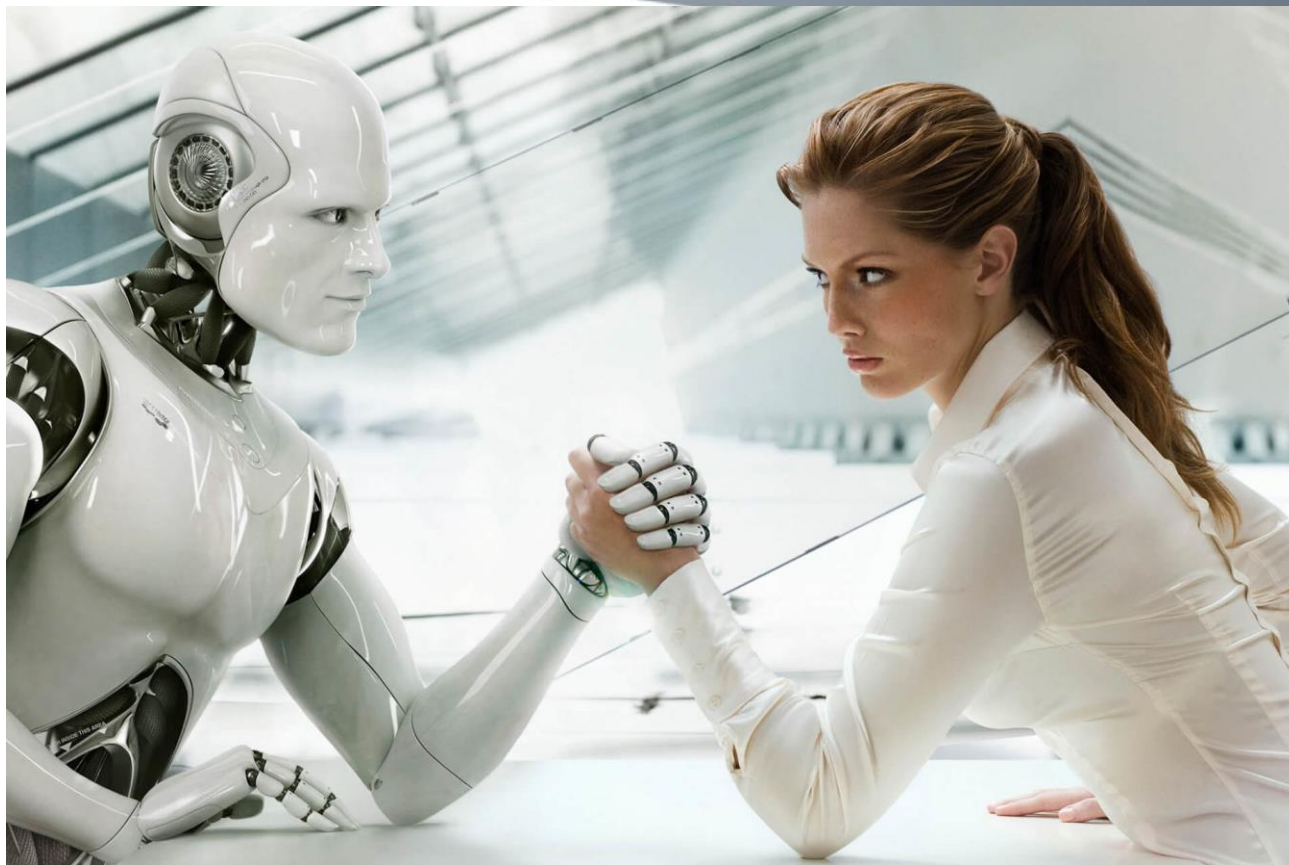
# Na aula de hoje ...

- **Braços, pernas, rodas e esteiras: o que realmente os aciona?**
  - Efetuadores e atuadores
  - Motores, servomotores e engrenagens
  - Graus de liberdade
- **Locomoção**
  - Estabilidade
  - Movimentação e Marcha
  - Rodas ou patas (pernas)?
  - Rodas e Direção
- **Prática com motor**



Braços, pernas, rodas e esteiras:  
o que realmente os aciona?





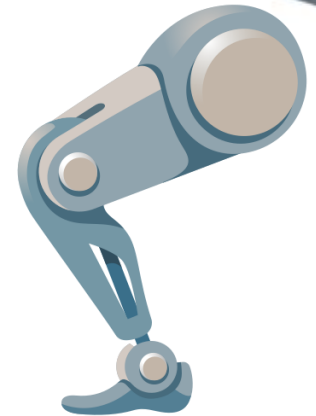
**Inspirados nos corpos biológicos mas  
diferentes na forma de construção e  
funcionamento**



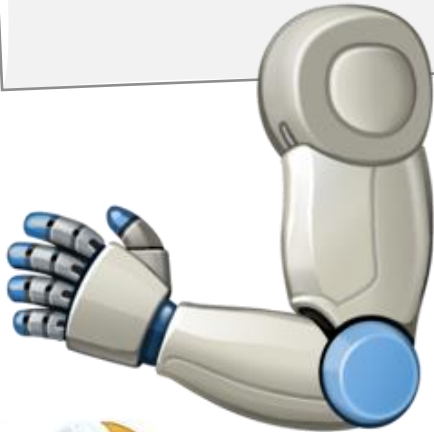
# Definições

**“Efetuador:** é um dispositivo do robô que exerce um efeito (impacto ou influência) sobre o ambiente.”

Maja J. Maratic, 2014



- O controlador do robô envia comandos para que os efetadores produzam o efeito desejado no ambiente, tendo em vista sua tarefa.



# Definições

**“Atuador:** é um mecanismo que permite que o efetuador execute uma ação ou movimento.”

Maja J. Maratic, 2014



- Esses mecanismos atuam nas rodas, esteiras, braços, garras e todos os outros efetuadores dos robôs.



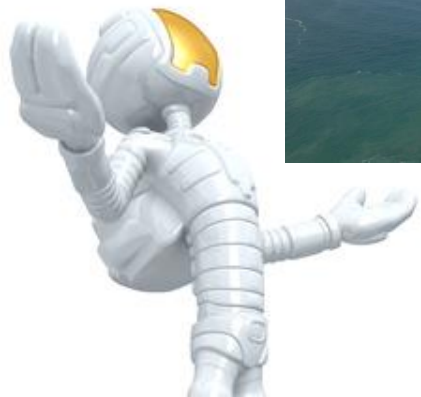
# Atuação passiva X ativa

- A ação de atuadores e efetadores vai requerer alguma forma de energia para fornecer potência. Alguns projetistas utilizam **atuação passiva** (que **utiliza a energia potencial da mecânica**) do efetador e da sua interação com o ambiente, ao invés do **consumo externo (ativo) de energia**.



esquilo planador

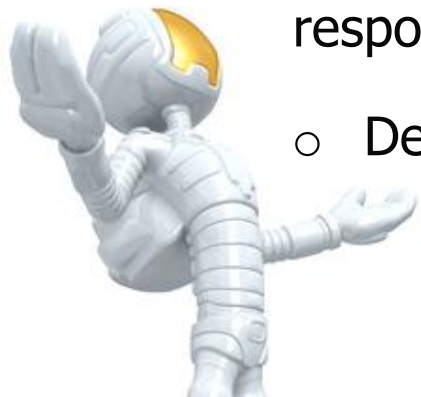
andarilho passivo





# Tipos de atuadores

- **Motores elétricos:** os mais comuns, mais acessíveis e mais simples de usar na robótica, alimentados por corrente elétrica.
- **Dispositivos hidráulicos:** baseados em pressão de fluido; à medida que a pressão muda, o atuador se move.
- **Dispositivos pneumáticos:** baseados na pressão do ar; conforme a pressão muda, o atuador se move.
- **Materiais fotorreativos:** realizam o trabalho físico em resposta à quantidade de luz em torno deles.
- Dentre outros ....



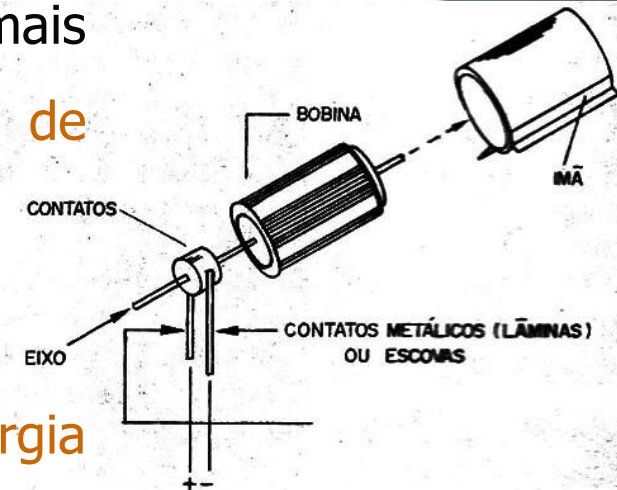
# Motores

- Os atuadores **mais comuns** na robótica
- Adaptam-se bem às rodas de tração, por proporcionar movimentos de rotação
- Também são **úteis para acionar outros tipos de efetadores** além de rodas



# Motores de corrente contínua – CC

- Comparados com outros tipos de atuadores, do **motores CC** são mais simples, baratos e fáceis de usar e de encontrar.



- Os motores CC **convertem energia elétrica em mecânica**, utilizam ímãs, bobinas e corrente para gerar campos magnéticos cuja ação faz girar o eixo do motor. **A energia magnética se torna cinética, produzindo o movimento.**



# Motores de corrente contínua – CC

## Qual rápido os motores giram?

- A **maioria dos motores CC**, quando livres de carga, tem velocidades entre 50 a 150 rotações por minuto (rps), produzem alta velocidade, mas com baixo torque, adequados para acionar coisas leves (ex. pás de um ventilador).
- A maioria dos robôs precisam carregar o peso de seu corpo, virar as rodas e levantar os manipuladores, **isso requer mais torque e menos velocidade** do que os motores CC disponíveis podem oferecer.



# Tipos de Motores

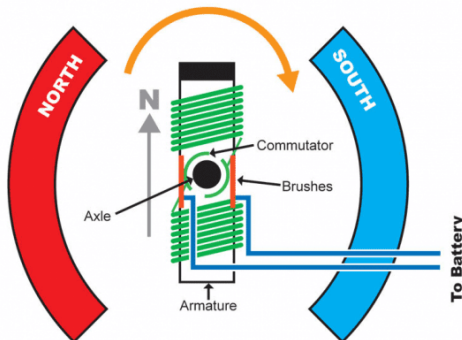
## Brushed

- Baixa tensão, baixo torque, barato
- Comutador mecânico
- Uso comercial desde 1886

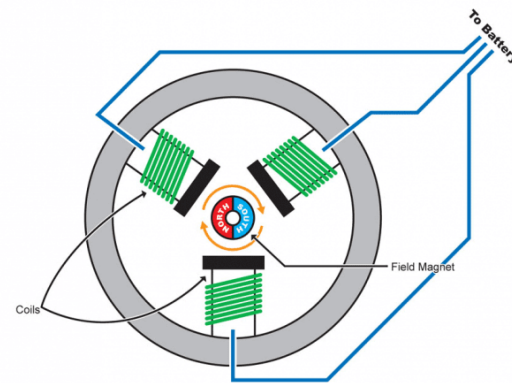
## Brushless

- Alta tensão, alto torque, caro
- Comutador eletrônico
- Uso comercial a partir de 1962

BRUSHED MOTOR



BRUSHLESS MOTOR



# Servomotores

São motores que podem **girar o seu eixo para uma posição específica.**



A operação do servomotor resume-se a deixar o eixo do motor na posição desejada. **Esta posição está em algum lugar ao longo de 180 graus em qualquer direção a partir do ponto de referência.**

O ângulo do giro é especificado por um sinal eletrônico. Quando o pulso chega, o eixo do motor gira. O padrão alto e baixo dos pulsos produz um padrão de ondas, chamado **forma de onda**



# Características dos motores

## Velocidade / Torque / Potência

- **Velocidade**

- **Rotacional ou angular ( $\omega$ )**

- Radianos/segundo (rad/s)

- Revoluções/segundo (rps)

- Revoluções/minuto (rpm)

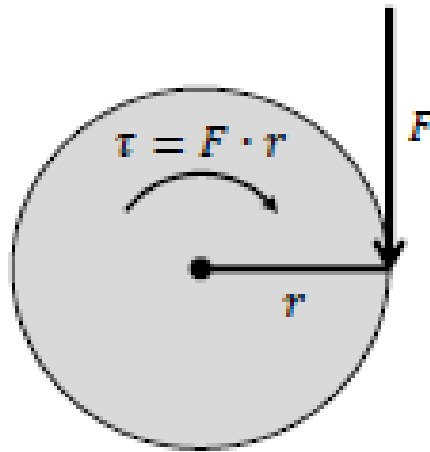
- **Proporcional à tensão utilizada**



# Velocidade X Torque

- **Torque**

- Força de rotação que o motor pode exercer
- Proporcional à corrente utilizada
- Está diretamente relacionada à distância do eixo





# Engrenagens

Uma combinação de **engrenagens** diferentes pode ser usada para alterar a força e o torque de saída dos motores.

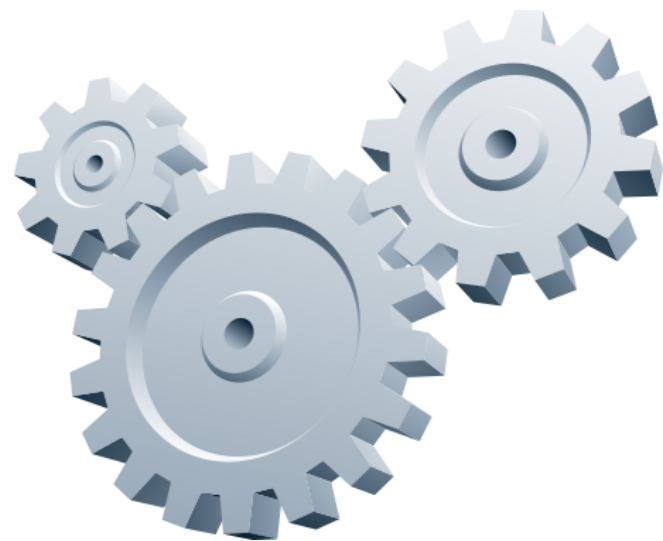
- A força gerada na borda de uma engrenagem é a razão entre o torque e o raio da engrenagem.
- Ao **combinar engrenagens de raios diferentes**, pode-se manipular a quantidade de força e torque que é gerada.



# Engrenagens

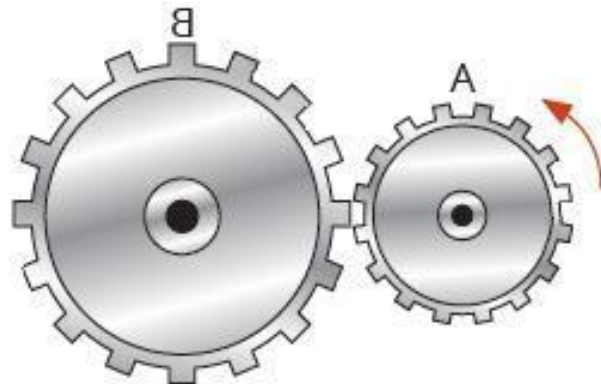
Se a engrenagem de saída é maior do que a engrenagem de entrada, o **torque aumenta**. Se a engrenagem de saída é menor do que a engrenagem de entrada, o **torque diminui**.

- O torque não é a única coisa que muda quando as engrenagens são combinadas: **há também uma mudança correspondente na velocidade.**



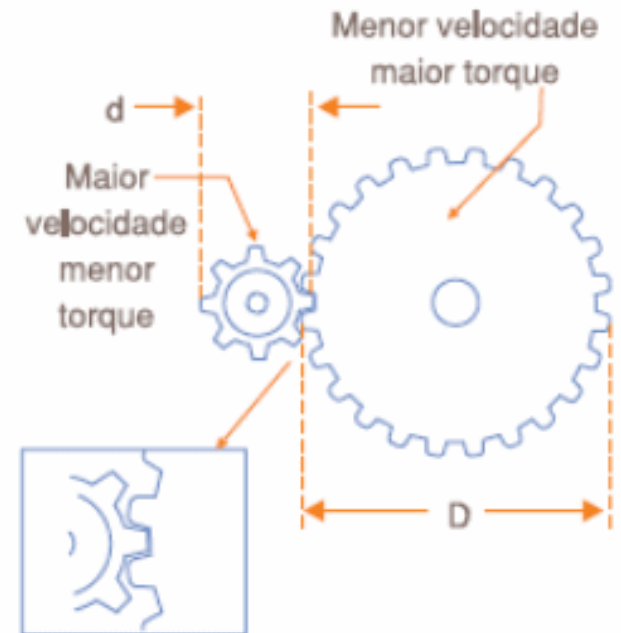
# Engrenagens

- Se a circunferência da roda dentada de entrada é o dobro daquela da engrenagem de saída, então a engrenagem de saída deve virar duas vezes para cada rotação da engrenagem de entrada, a fim de acompanhá-la, uma vez que as duas estão fisicamente ligadas por meio de seus dentes.



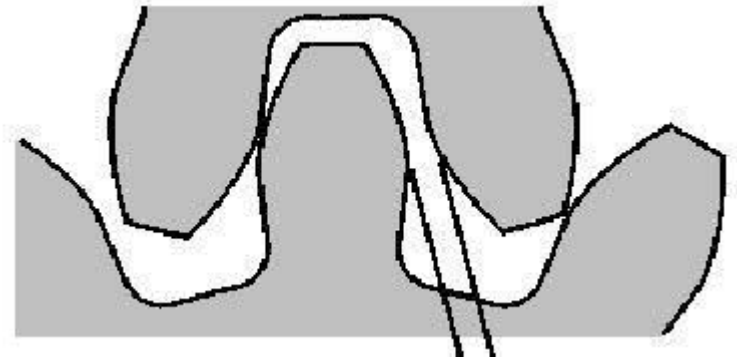
# Engrenagens

- Se a engrenagem de saída é maior do que a engrenagem de entrada, a **velocidade diminui**.
- Se a engrenagem de saída é menor do que a engrenagem de entrada, a **velocidade aumenta**.
- Quando uma engrenagem pequena aciona uma engrenagem maior, o **torque é aumentado e a velocidade é reduzida**.
- Quando uma engrenagem grande impulsiona uma engrenagem menor, o **torque diminui e a velocidade aumenta**.



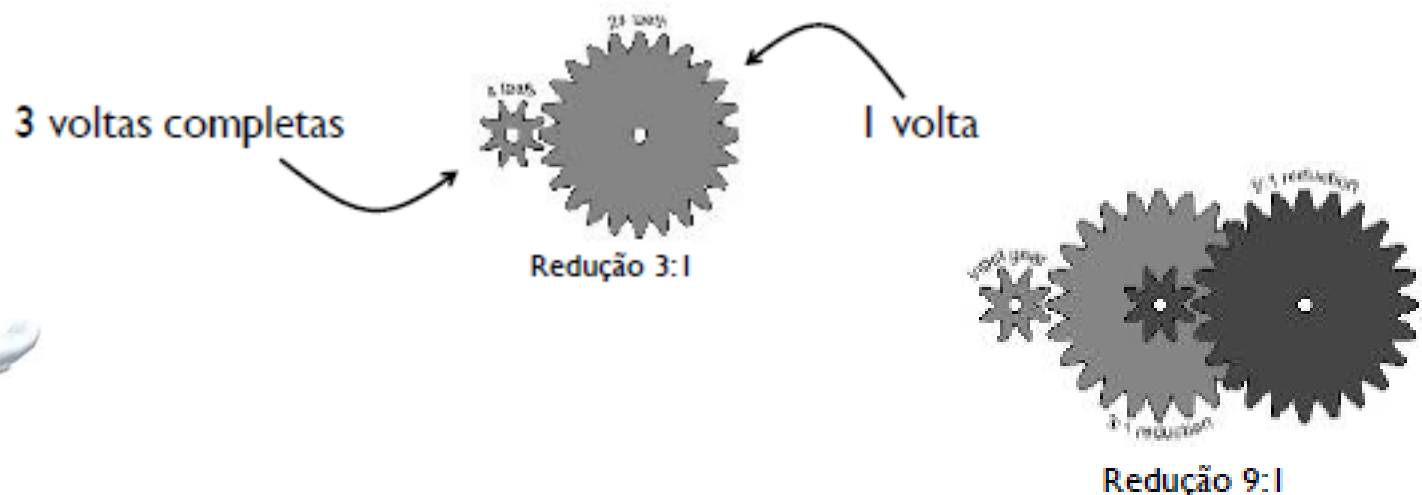
# Engrenagens

- **Folga:** Qualquer espaço entre as engrenagens, faz a engrenagem se mover frouxamente para frente e para trás entre os dentes, sem girar.
- A Folga acrescenta erro no posicionamento do mecanismo de engrenagem



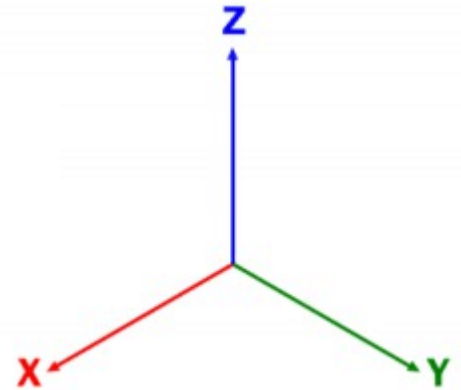
# Engrenagens

- As engrenagens podem ser organizadas em série ou “agrupadas” a fim de multiplicar seu efeito.
- Ex: duas engrenagens 3:1 em série resultam em uma redução de 9:1



# Graus de liberdade (GDL)

É qualquer um dos números mínimos de coordenadas necessárias para **especificar** completamente o **movimento** de um **sistema mecânico**

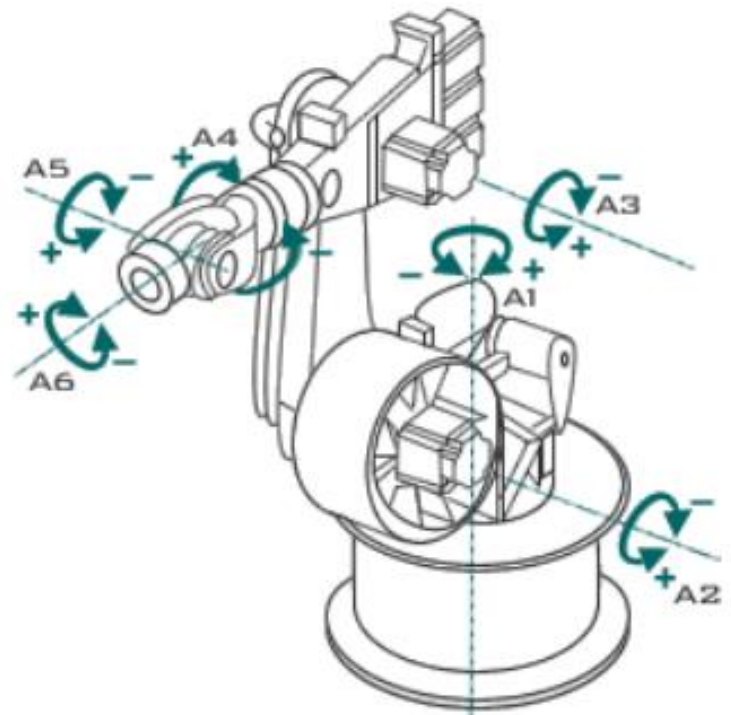


No nosso mundo plano, 2D, um corpo pode transladar ao longo de 2 dos 3 GDL translacionais, mas não no terceiro, uma vez que esta é a dimensão vertical



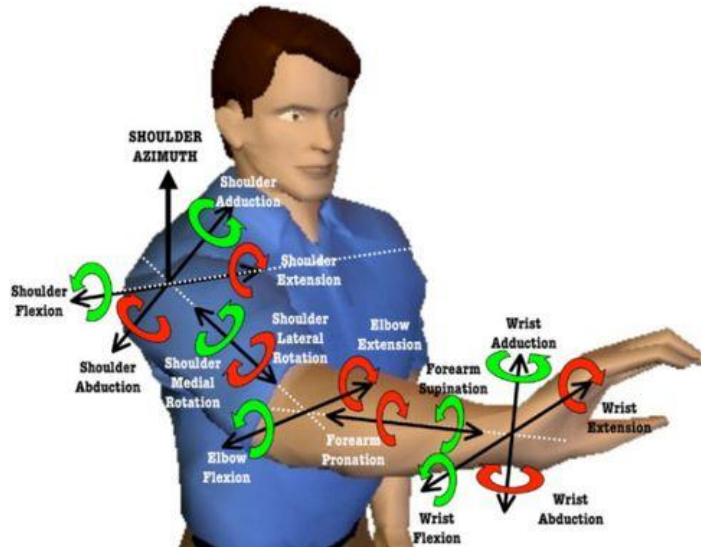
# Graus de liberdade (GDL)

- O número de articulações em um braço robótico está geralmente associado ao número de graus de liberdade.
- Quando o movimento relativo ocorre em um único eixo, a articulação tem 1 grau de liberdade.
- Quando o movimento se dá em mais de um eixo, a articulação apresenta dois ou mais graus de liberdade.
- A maioria dos robôs tem entre quatro a seis graus de liberdade.
- A título comparativo, um ser humano tem sete graus de liberdade do ombro até o pulso.





# Graus de liberdade (GDL)

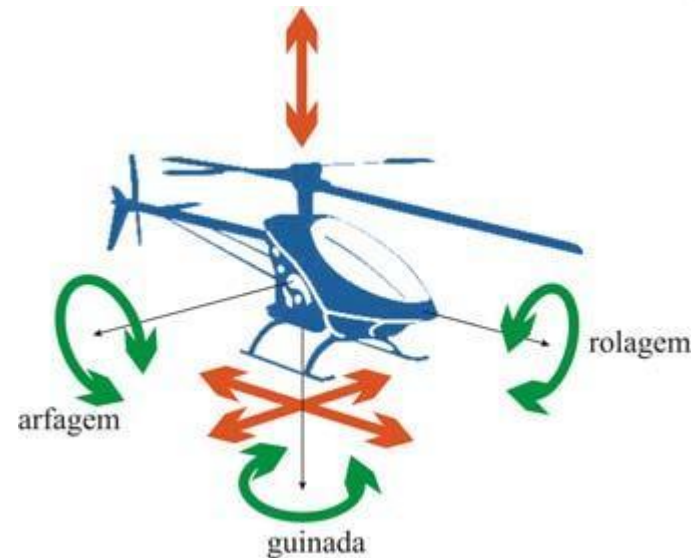


O **braço humano**, não incluindo a mão, tem **7 GDL**: **3 no ombro** (para cima e para baixo, lado a lado e rotação sobre o eixo do braço), **1 no cotovelo** (abrir e fechar) e **3 no punho** (para cima e para baixo, lado a lado e a rotação)



# Graus de liberdade (GDL)

Um carro tem 3 GDL: **posição** ( $x, y$ ) e **orientação** ( $teta$ )

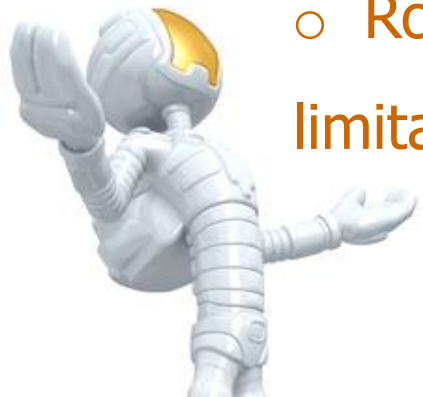


Um corpo livre no espaço 3D tem um total de **6 GDL**. Três deles são os **GDL de translação**, mover-se sem girar ( $x, y, z$ ). Os outros três são os **GDL de rotação** que são rolagem, (roll) arfagem (pitch) e guinada (yaw).

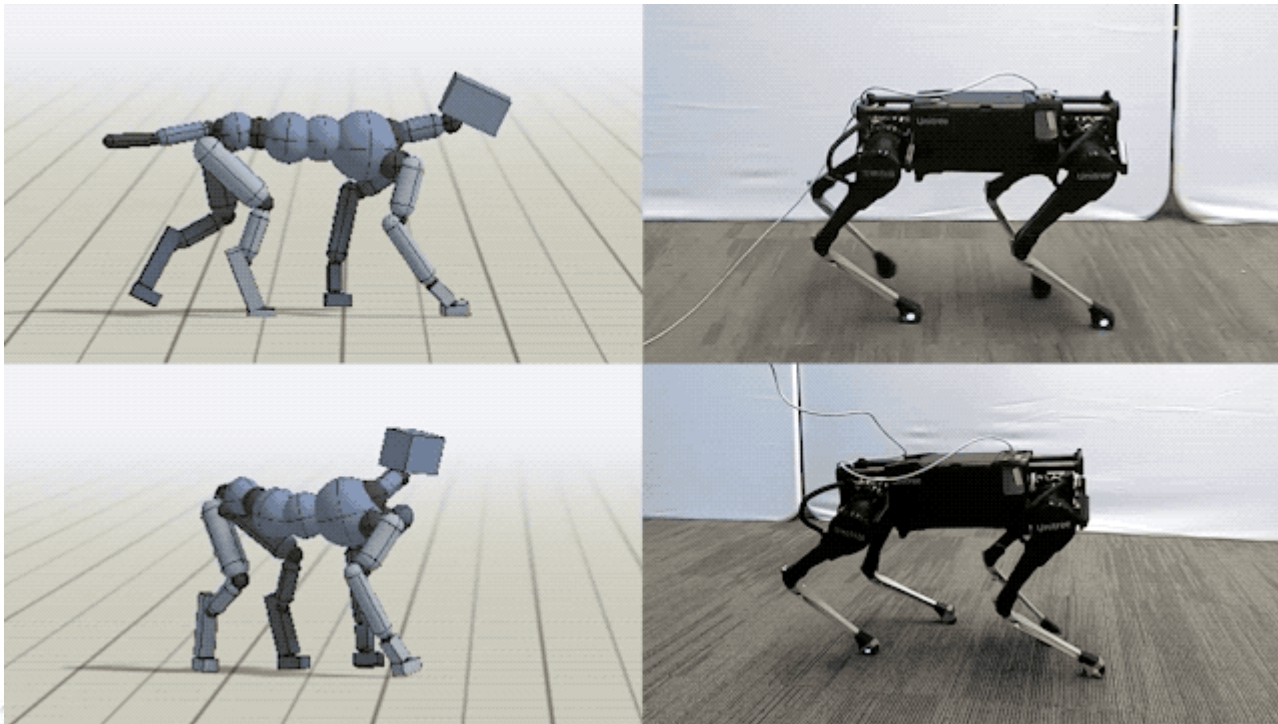


# Graus de liberdade (GDL)

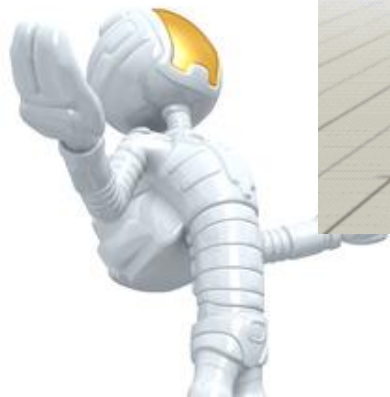
- Para que um robô possa posicionar uma ferramenta no espaço, ele precisa de 6 GDL, 3 para definir a posição e 3 ângulos de rotação para orientação.
- Robôs com mais de 6 GDL são denominados redundantes.
- Robôs com menos de 6 GDL são denominados limitados.



# LOCOMOÇÃO



**Mova-se!**



# Mova-se!

“Locomoção refere-se à maneira como um corpo se desloca de um lugar para o outro”

Maja J. Maratic, 2014

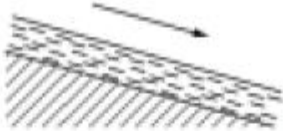
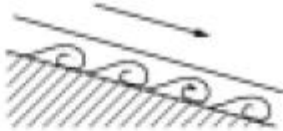




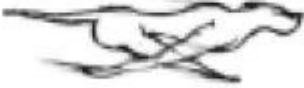





- Muitos tipos de efetadores e atuadores podem ser usados para mover um robô livremente:
  - **Pernas** (para caminhar, engatinhar, escalar, saltar, pular, ...)
  - **Rodas** (para girar)
  - **braços** (para balançar, engatinhar, escalar, ...)
  - **Asas** (para voar)
  - **Nadadeiras** (para nadar)



# Locomoção

## ○ Bioinspiradas

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

- A locomoção com pernas é um problema robótico difícil, em comparação com a locomoção por rodas, pois:
  - É necessário um número maior de graus de liberdade, e quanto mais GDL tem um robô, mais complicado é controlá-lo
  - O desafio da estabilidade, pois é mais difícil permanecer estável sobre pernas do que sobre rodas



# Estabilidade

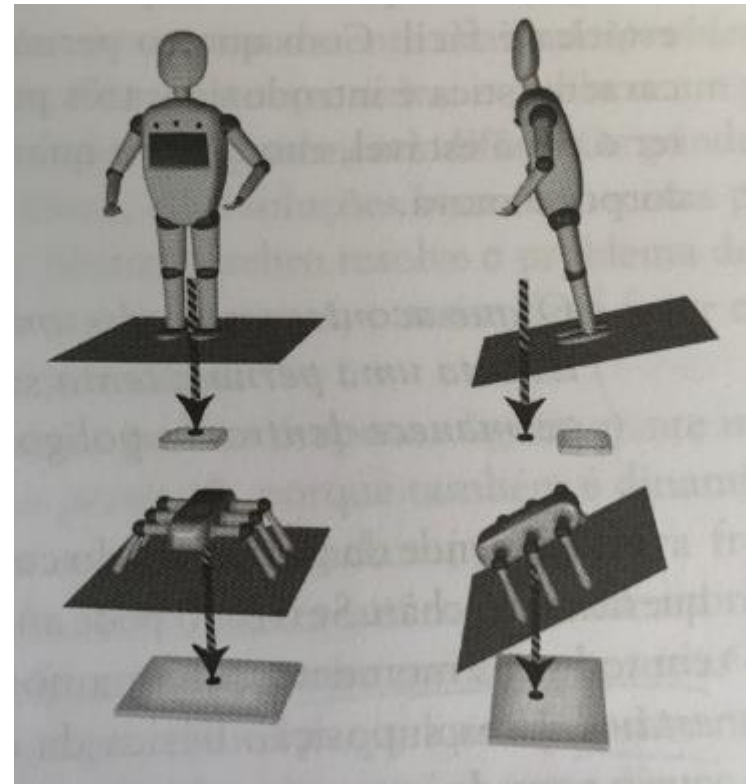
- **A maioria dos robôs precisam ser estáveis**, ou seja, para fazer o seu trabalho, não deve balançar, inclinar-se, nem cair facilmente.
- Em particular, existem dois tipos de estabilidade: **estática e dinâmica**
  - Um robô estaticamente estável pode ficar parado sem cair; ele pode ser estático e estável
  - Na estabilidade dinâmica, o corpo deve ativamente equilibrar-se ou mover-se para manter-se estável, por isso é chamado dinamicamente estável





# Estabilidade

- Para estar estável, o robô precisa estar dentro da área formada pelos pontos de apoio no chão, isso se dá pela **projeção do Centro de Gravidade (CG)**
- A área coberta pelos pontos de apoio no chão é chamada **polígono de apoio**



# Estabilidade

O que acontece quando um robô estaticamente estável levanta uma perna e tenta se mover? Será que seu CG permanece dentro do polígono de apoio?

- Vai depender da geometria do corpo do robô e do número de pernas que ficam no chão
- Se o robô pode andar enquanto permanece equilibrado em todos os momentos, chamamos isso de **caminhada estaticamente estável**



# Movimentação e Marcha

- **Marcha é o modo particular de um robô se mover**, incluindo a ordem com a qual levanta e abaixa as pernas e coloca os pés sobre o chão.
- A marcha desejável de um robô tem as seguintes propriedades:
  - **Estabilidade:** o robô não cai;
  - **Velocidade:** o robô pode se mover rapidamente;
  - **Eficiência energética:** pouca quant. de energia para mover-se
  - **Robustez:** recuperar a marcha de alguns tipos de falhas;
  - **Simplicidade:** o controlador que gera a marcha é simples.



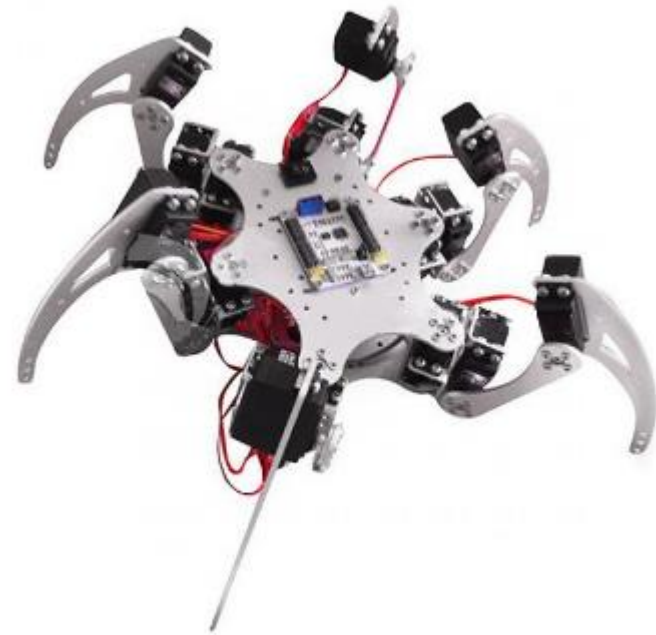
# Movimentação e Marcha

- O número de pernas é importante. A caminhada com duas pernas é difícil e lenta.
- A caminha começa a ficar mais fácil com quatro pernas e muito mais fácil com seis ou mais pernas.
- As seis pernas permitem múltiplas formas de marchas estáveis, tanto estática quanto dinamicamente.



# Movimentação e Marcha

- **A marcha trípole é uma marcha estaticamente estável** na qual, como o próprio nome indica, três pernas ficam no chão, formando um tripé, enquanto as outras três estão elevadas e em movimento.
- Nessa marcha, a perna do meio de um lado e as duas pernas não adjacentes do outro lado do corpo levantam-se e movem-se para frente ao mesmo tempo, enquanto as outras três pernas permanecem no solo e mantêm o robô estaticamente estável.



# Rodas ou patas (pernas)?

- Rodas são mecanicamente mais simples e eficientes em superfícies planas e compactas (duras)
- Patas são mais eficientes em terrenos adversos
- As vezes a combinação de ambas pode ser vantajosa...



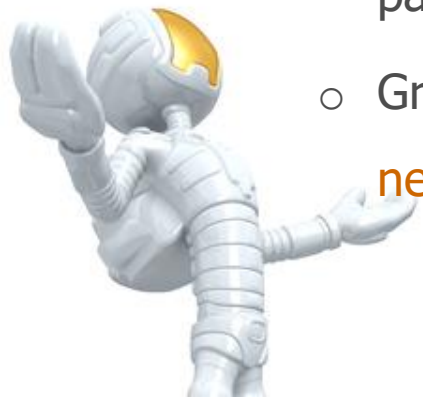
# Patas / Pernas

- **Vantagens:**

- Adaptação e capacidade de manobra em terrenos não planos;
- Superação de obstáculos como buracos, pedras, ... Desde que o comprimento de suas patas seja grande o suficiente;
- Potencial para manipular objetos do ambiente utilizando as patas.

- **Desvantagens:**

- Potência necessária para sustentar parte do peso total do robô, para levantá-lo e abaixá-lo;
- Grande complexidade para permitir os graus de liberdade necessários para gerar manobras difíceis.





# Patas / Pernas

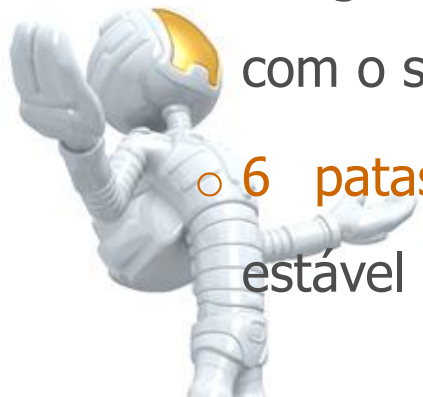
- **Quantas empregar?**

- Observar sistemas similares na natureza:

- **2 patas:** excepcional capacidade de manobra tem como custo um sistema de controle motor ativo muito complexo para manter o equilíbrio.

- **4 patas:** garantem o equilíbrio estático (centro de gravidade permanece interno em contato com o solo).

- **6 patas:** garantem o galope com número estável de tripés no solo a todo instante





# Patas / Pernas

- **Quantas empregar?**

- **Insetos e aranhas:** andam desde o nascimento. O equilíbrio é simples.
- **Mamíferos quadrúpedes:** não atingem o equilíbrio durante a locomoção mas, são capazes de se manter facilmente sob 4 patas. Alguns em poucos minutos aprendem a andar sem cair após o nascimento...
- **Seres humanos:** bebês precisam de meses para aprenderem a andar e mais de um ano para correr e ficar em uma perna só sem caírem.



# Rodas e Direção

- As rodas são os efetadores de locomoção preferidos da robótica.
- A maioria dos robôs móveis simples tem duas ou quatro rodas.



# Rodas e Direção

- Ter múltiplas rodas significa que existem múltiplas formas com as quais as rodas podem ser controladas.
- A habilidade de tracionar as rodas de forma individual e independente, por meio de motores separados é chamada **tração diferencial**.
- Se o robô for capaz de orientar as rodas de forma independente é chamado de **direção diferencial**.



# Rodas e Direção

- Na locomoção de um robô, podemos nos preocupar com:
  - Levar o robô para um determinado local;
  - Fazer o robô seguir um caminho em particular (trajetória).

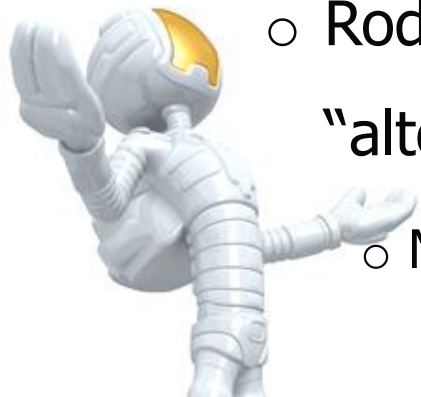
**Chegar a um destino não é o mesmo que seguir um caminho específico**

***Planejar uma trajetória é um processo computacionalmente complexo que envolve buscar todas as trajetórias possíveis a fim de encontrar a trajetória ótima***



# Rodas e Direção

- Características de robôs com rodas:
- **Estabilidade garantida com 3 rodas**
  - CG do robô posicionado dentro do triângulo formado pelos pontos de contato
- **Com 4 ou mais rodas a estabilidade é melhorada**
  - Necessita de um sistema flexível de suspensão
- Rodas de grande diâmetro permitem superar obstáculos "altos"
  - Mas, exigem um torque maior / redutores



# Rodas e Direção

- Sistema Holonômico ou Não-Holonômico?
  - **Sistema Holonômico:** Todos os GDL do robô no ambiente são controláveis, ou seja  $n^o$  de GDL é igual ao  $n^o$  de GDL controláveis.
  - **Sistema Não-Holonômico:** O  $n^o$  de GDL do robô no ambiente é superior ao  $n^o$  de GDL controláveis.
  - **Sistema Redundante:** o  $n^o$  de GDL controláveis é maior que o  $n^o$  de GDL do robô no ambiente.



# Rodas e Direção

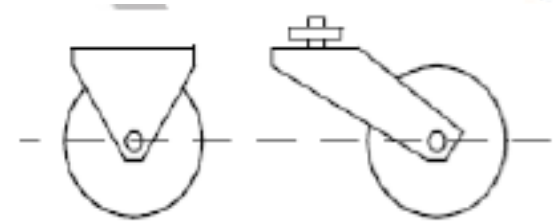
- Exemplos de Sistema Holonômico / Não-Holonômico
  - **Sistema Holonômico:**
    - Ex: um mecanismo 4 barras, biela-manivela, etc
  - **Sistema Não-Holonômico:**
    - Ex: um carro tem 3 GDL ( $x, y, \theta$ ), mas o motorista atua apenas no ângulo de esterçamento e na velocidade de movimentação (para frente/ré; rápida/lenta)
  - **Sistema Redundante:**
    - Ex: Braço humano tem 7 GDL, mas no espaço apenas 6 GDL são necessários



# Rodas e Direção

- **Tipos de Rodas:** Padrão e Pivotada

- Têm **um eixo primário** de rotação
  - Direcionais



- Para alterar a direção de movimento é necessário alterar a direção do eixo





# Rodas e Direção

- **Tipos de Rodas:** Suecas (Omni-direcionais)
  - Também chamadas de Mecanum-Wheel ou Omni-Wheel
  - **É acionada como uma roda normal**, mas tem pouca resistência ao movimento em outras direções
  - **Pequenos roletes passivos são posicionados ao longo da circunferência da roda**
  - Apenas o eixo principal da roda atua como uma junta ativa (motora)



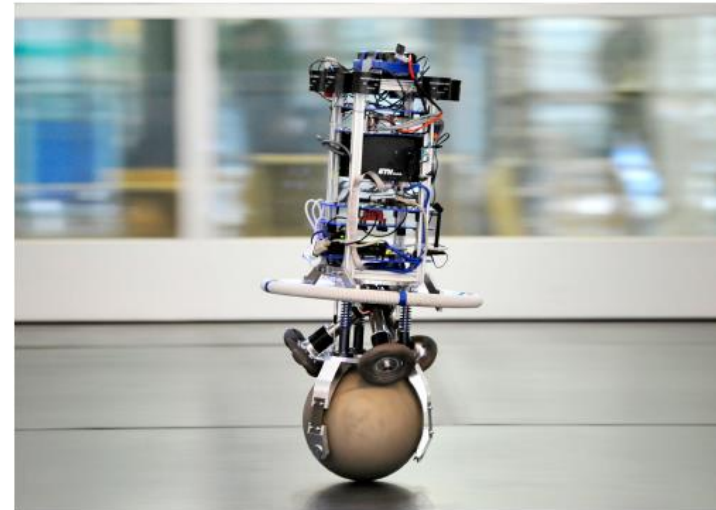
# Rodas e Direção

- **Tipos de Rodas:** Suecas (Omni-direcionais)
  - A rotação da roda é realizada sobre o eixo principal, mas a roda pode mover-se com pouco atrito em diversas direções



# Rodas e Direção

- **Tipos de Rodas: Esféricas**
  - Menos orientadas a direcionalidade que a roda tradicional
  - Omni-direcional
    - Pode gerar potência ativa em qualquer direção
  - Exemplos:
    - Mouse (não-ativa)
    - Robô Ballbot – 2006



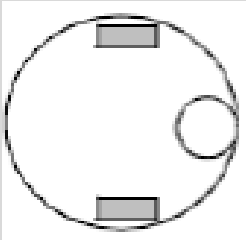

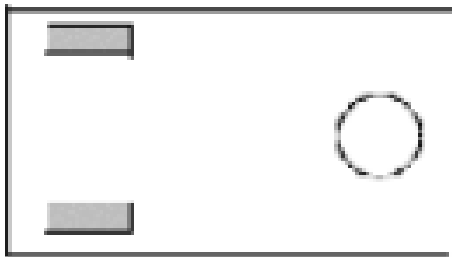

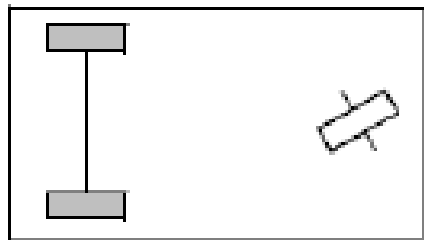

# Rodas e Direção

- **Diferentes arranjos de rodas:**

Arranjo	Descrição	Exemplos
	1 única roda esférica motora	
	Roda esterçante na frente e roda motora atrás, ou vice-versa	
	2 rodas motoras lado-a-lado com o CG sob o eixo delas.	

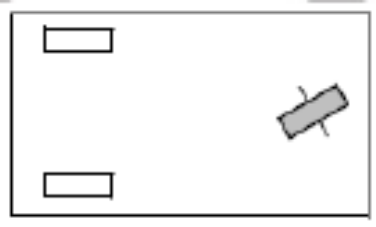
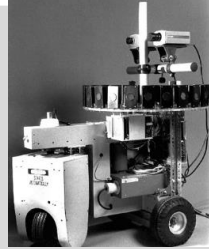
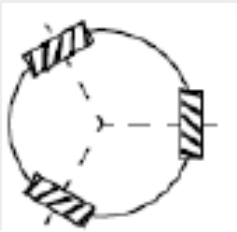
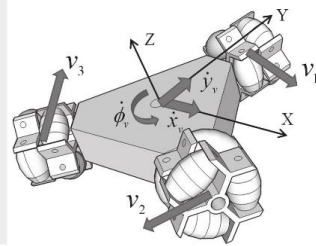
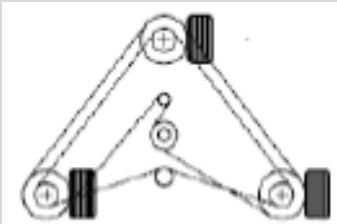
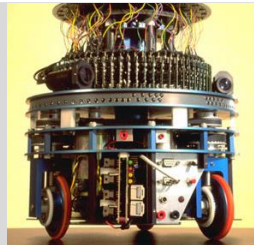
# Rodas e Direção

- **Diferentes arranjos de rodas:**

Arranjo	Descrição	Exemplos
	2 rodas motoras centradas em acionamento diferencial e um terceiro ponto de apoio	
	2 rodas motoras na traseira em acionamento diferencial e um terceiro ponto de apoio	
	Roda esterçante na frente e 2 rodas motoras conectadas atrás ou vice-versa	

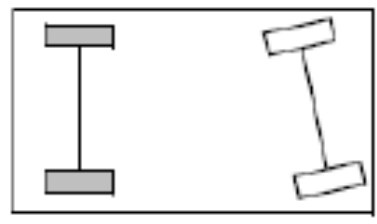
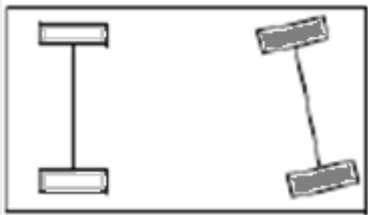

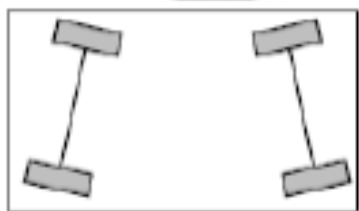

# Rodas e Direção

- Diferentes arranjos de rodas:

Arranjo	Descrição	Exemplos
	Roda esterçante motora na frente e 2 rodas livres atrás, ou vice-versa	
	3 rodas suecas ou esféricas motoras arranjadas em forma triangular.	
	3 rodas motorizadas e esterçáveis síncronas	

# Rodas e Direção

- **Diferentes arranjos de rodas:**

Arranjo	Descrição	Exemplos
	2 rodas motoras traseiras e 2 rodas Esterçáveis dianteiras (ângulo de esterçamento diferente)	Carro de tração traseira
	2 rodas motoras e esterçáveis dianteiras e rodas livres traseiras	
	4 rodas motoras e esterçantes	



# Rodas e Direção

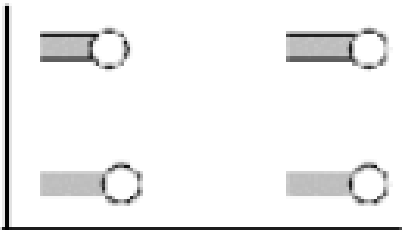
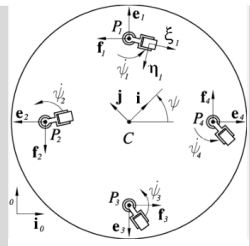
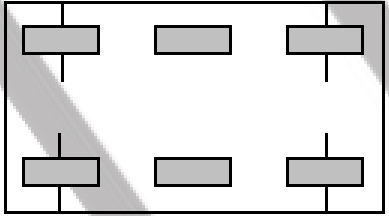

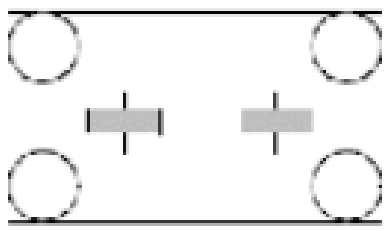
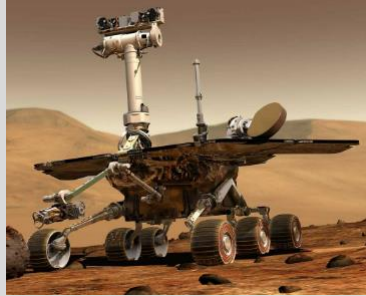
- **Diferentes arranjos de rodas:**

Arranjo	Descrição	Exemplos
	2 rodas motoras com acionamento diferencial na traseira/frente e 2 rodas omni direcionais na frente /Traseira	
	4 Rodas omni-direcionais	
	2 rodas com acionamento diferencial e 2 rodas de apoio	



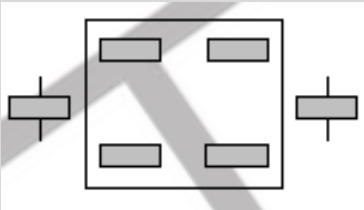

# Rodas e Direção

## ○ Diferentes arranjos de rodas:

Arranjo	Descrição	Exemplos
	4 rodas pivotadas motoras e esterçáveis	
	6 rodas motoras sendo 1 em cada canto esterçável	
	2 rodas motoras e esterçáveis na linha de centro e 1 roda omni-direcional em cada canto	

# Rodas e Direção

- **Diferentes arranjos de rodas:**

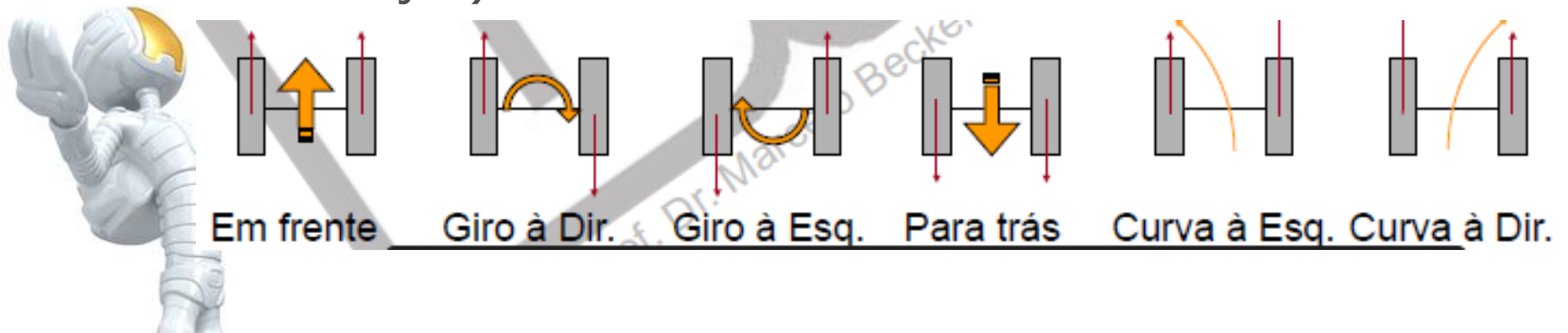
Arranjo	Descrição	Exemplos
	6 rodas motoras e 2 esterçáveis na linha de centro na frente e atrás	



# Rodas e Direção

## ○ **Acionamento Diferencial**

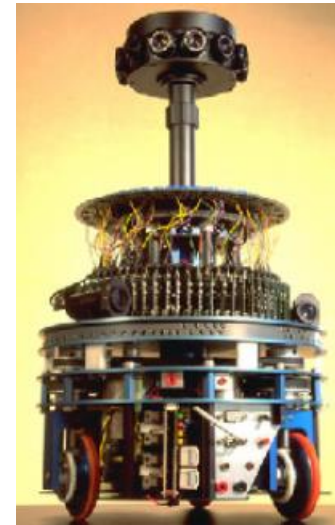
- 2 rodas posicionadas em um eixo de rotação comum
- Cada roda é controlada independentemente
- O valor das velocidades de cada roda define o movimento do robô (velocidade e direção)



# Rodas e Direção

- **Acionamento Síncrono**

- Todas as rodas são acionadas de modo síncrono por um motor
  - Define a velocidade do robô
- Todas as rodas são esterçadas de modo síncrono por outro motor
  - Define a orientação do robô



# Rodas e Direção

- **Acionamento Omni-Direcional**

- Vai depender do número de rodas
  - Com uma única roda, foge ao padrão dos robôs com rodas, pois não busca o equilíbrio estático.
  - 3 rodas esféricas em formação de triângulo equilátero (Robô homonômico). No plano tem-se 3 GDL. Logo apenas 3 rodas podem ser acionadas de modo independente...



# Rodas e Direção

- **Acionamento para qualquer tipo de terreno**
  - Adaptação passiva às irregularidades do terreno
  - 6 rodas: 1 à frente do robô com uma suspensão, 4 nas laterais e 1 fixa na traseira
  - Configuração estável em terreno irregular
  - Supera obstáculos

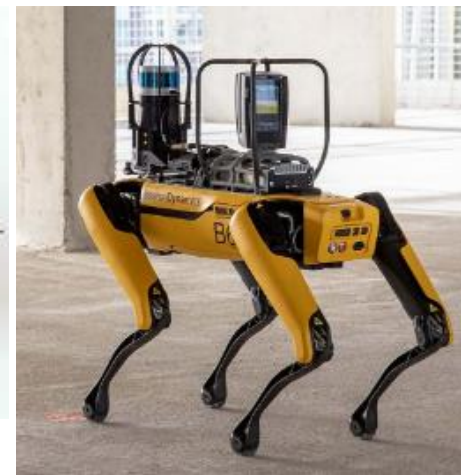




# Rodas e Direção

## ○ **Acionamentos Alternativos no solo**

- Robôs cobra / salamandra
- Robôs escaladores
- Robôs saltadores
- Robôs Mistos...



# Rodas e Direção

## ○ **Acionamentos Alternativos fora do solo**

- Espaço



- Aquáticos

  - Hélices

  - Jatos



- Aéreos



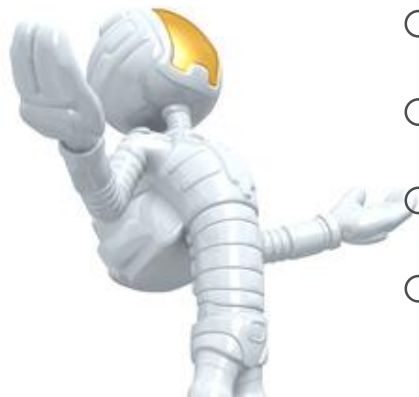


  - Asa rotativa

  - Asa fixa

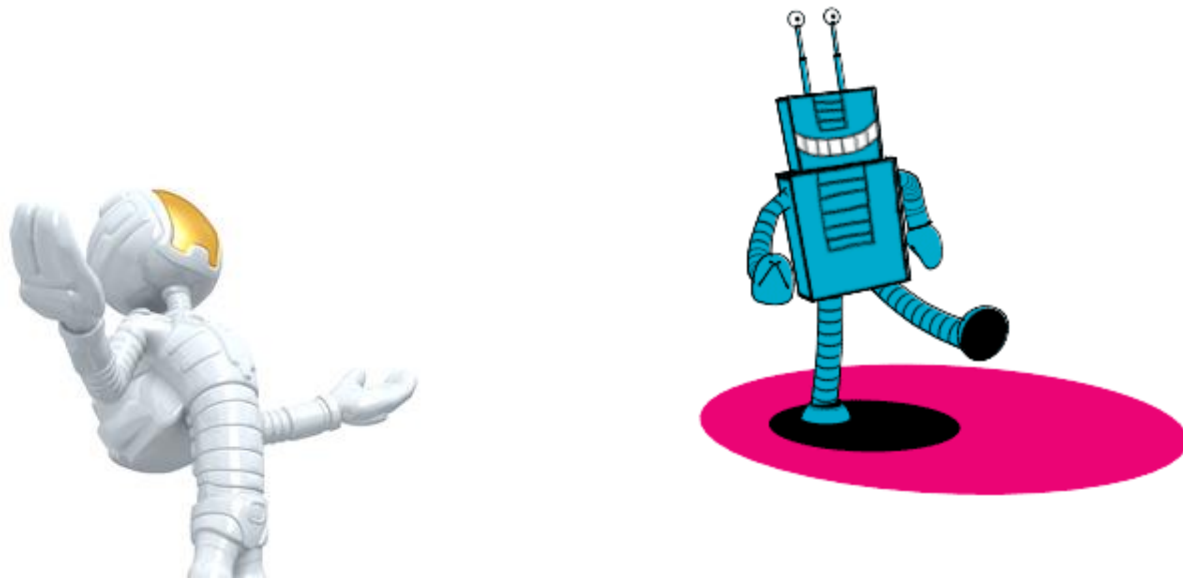
  - Jato

  - Balões





INTERVALO 15 MIN.



# Exercício

- Antes, vamos instalar o software de programação do **EV06 – Kazi Code**
- Acesse: **<http://kazi.ai/EdownloadSoftware.html>**



**AV6 | Configuração do KaziCode v1.0.32  
(lado do PC)**

[download](#)



# Exercício

- Montagem com motor grande



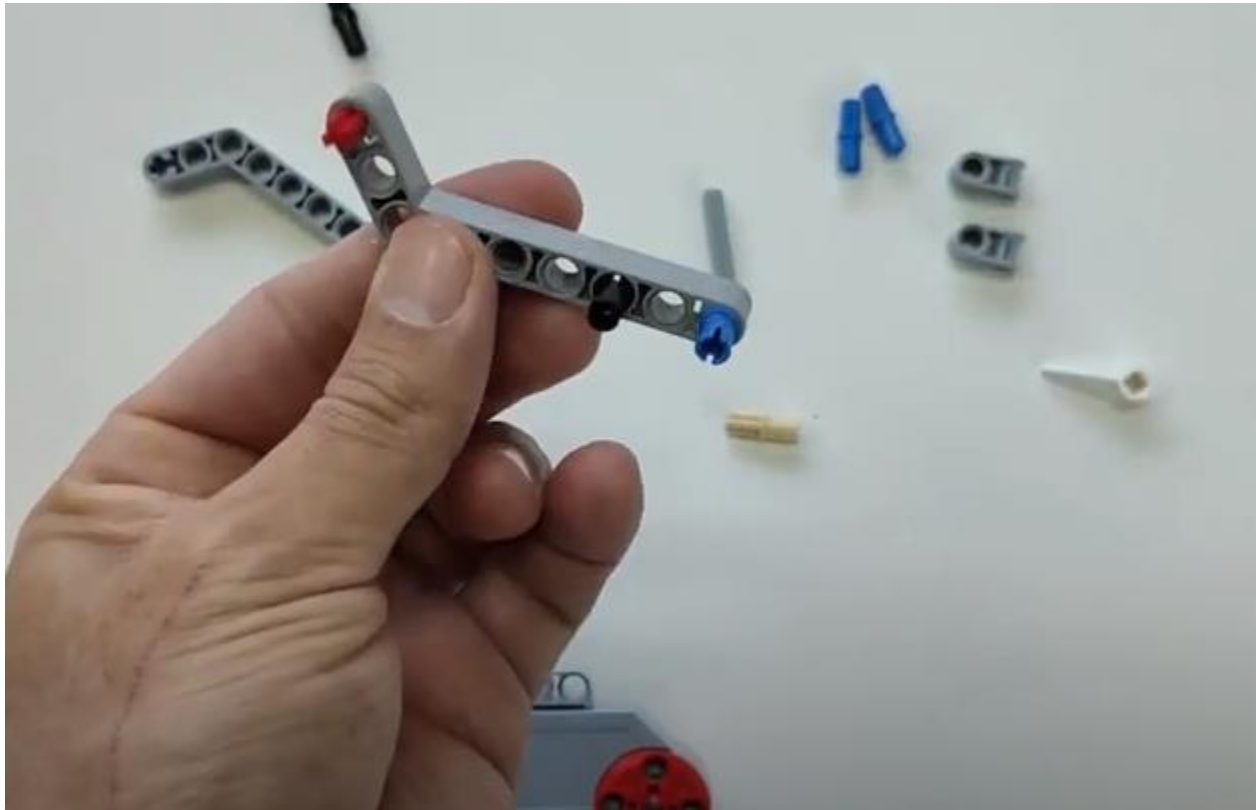
# Montagem com motor grande

## 1. Separe as peças:



# Montagem com motor grande

## 2. Monte as hastes:



# Montagem com motor grande

## 3. Encaixe no controlador



# Montagem com motor grande

4. Encaixe os pinos para segurar no motor



# Montagem com motor grande

5. Pegue o motor e encaixe os pinos azul e amarelo





# Montagem com motor grande

## 6. Encaixe os pinos do motor na haste



# Montagem com motor grande

## 7. Monte o pino de giro do motor



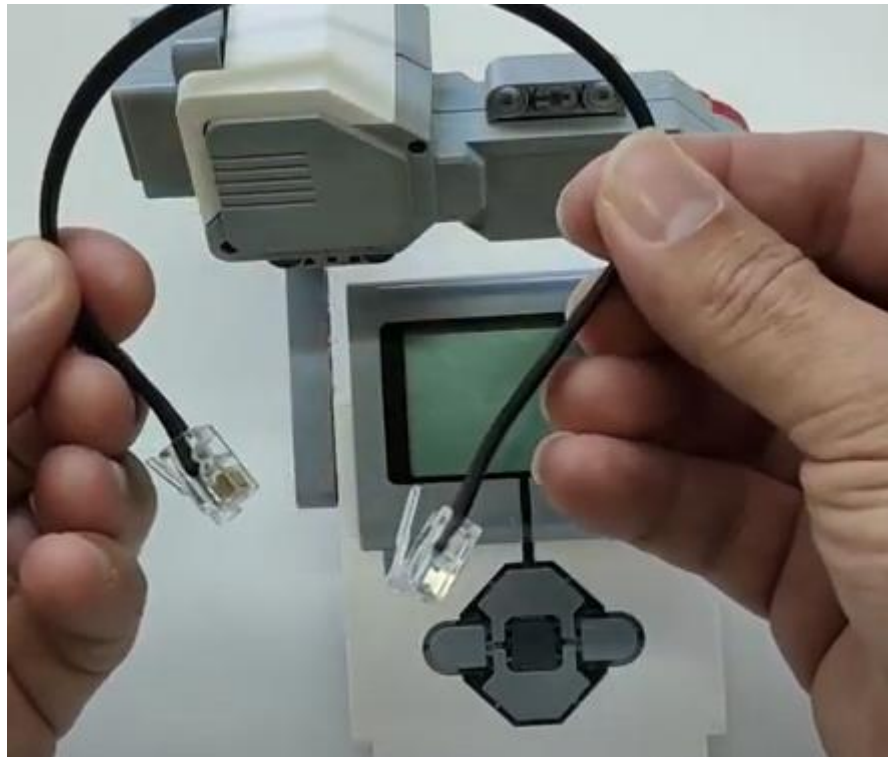
# Montagem com motor grande

## 8. Encaixe no motor



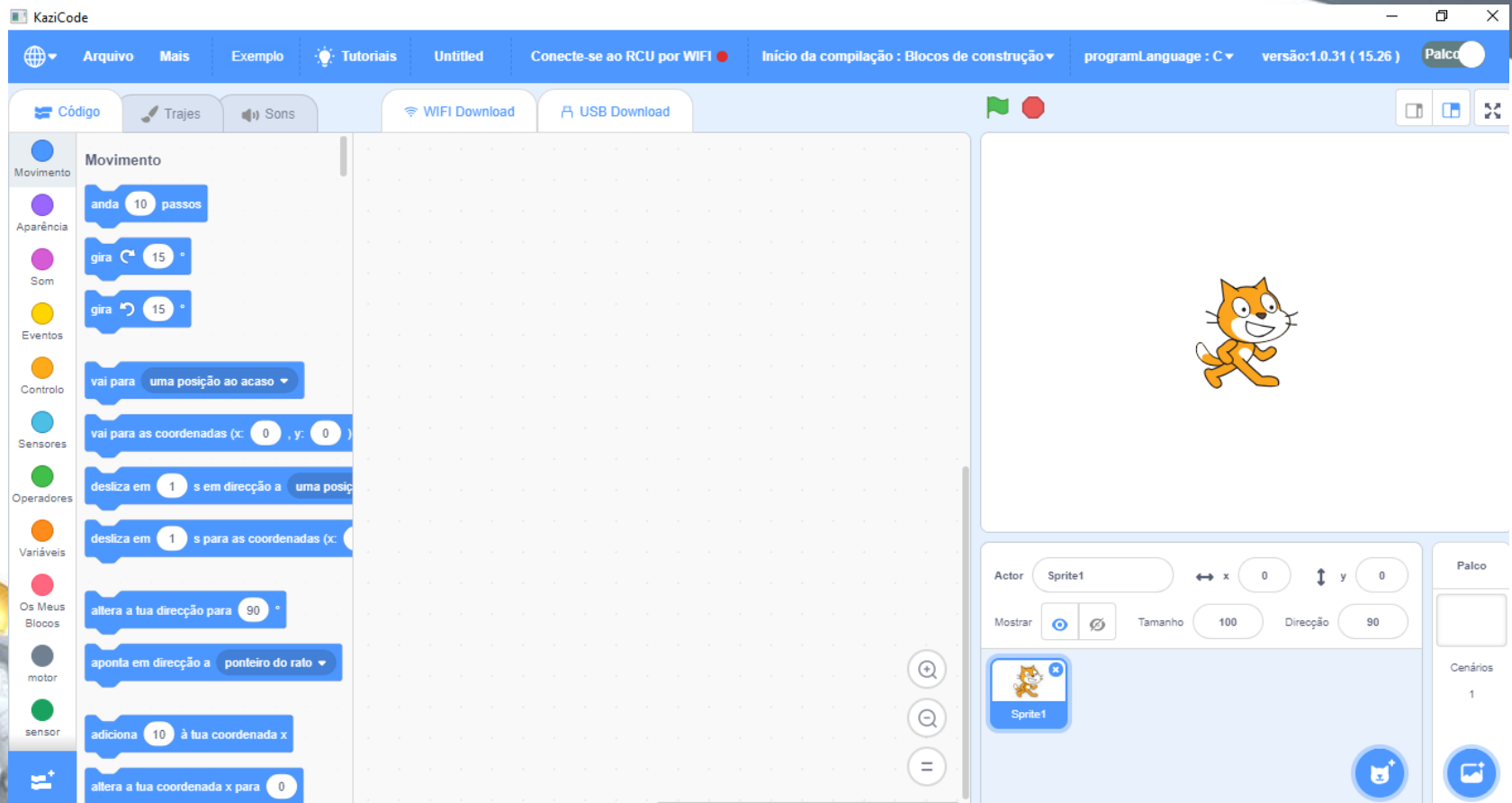
# Montagem com motor grande

9. Conecte no cabo de comunicação na porta A do controlador



# Girando um motor

## 10. Vamos programar



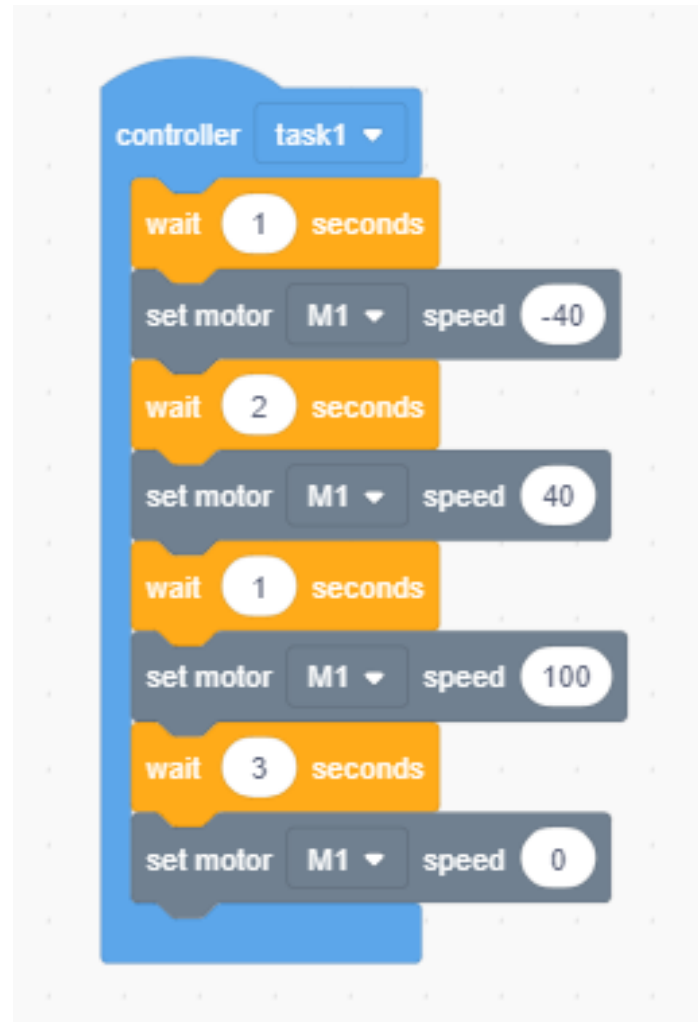
# Girando um motor

- No controlador **EV06 -> configuração -> wifi**
- No software KaziCode -> **Connect to RCU by wifi**
  - Copie os códigos **Paring Code e IP** que estão no **EV06** para o software e **clique em Connect**
  - **Pronto!**



# Girando um motor

- Em Exemplos -> **Motor Test**



# Feliz Natal

