

# MAPEAMENTO DE AMBIENTES COM O ROBO BELLATOR

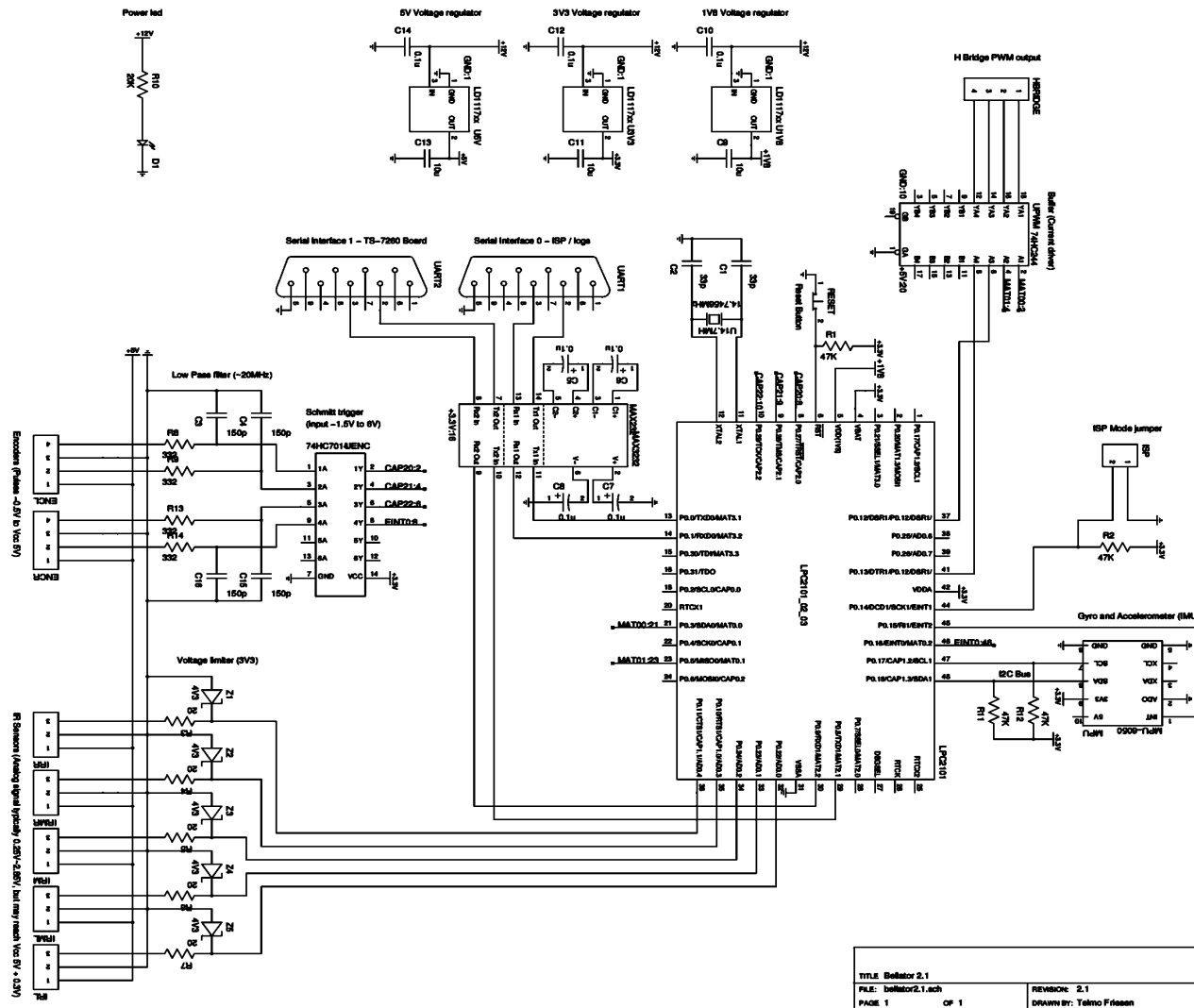
# Quarto entregável

LUIS GUILHERME MACHADO CAMARGO  
PEDRO ALBERTO DE BORBA  
RICARDO FARAH  
STEFAN CAMPANA FUCHS  
TELMO FRIESEN

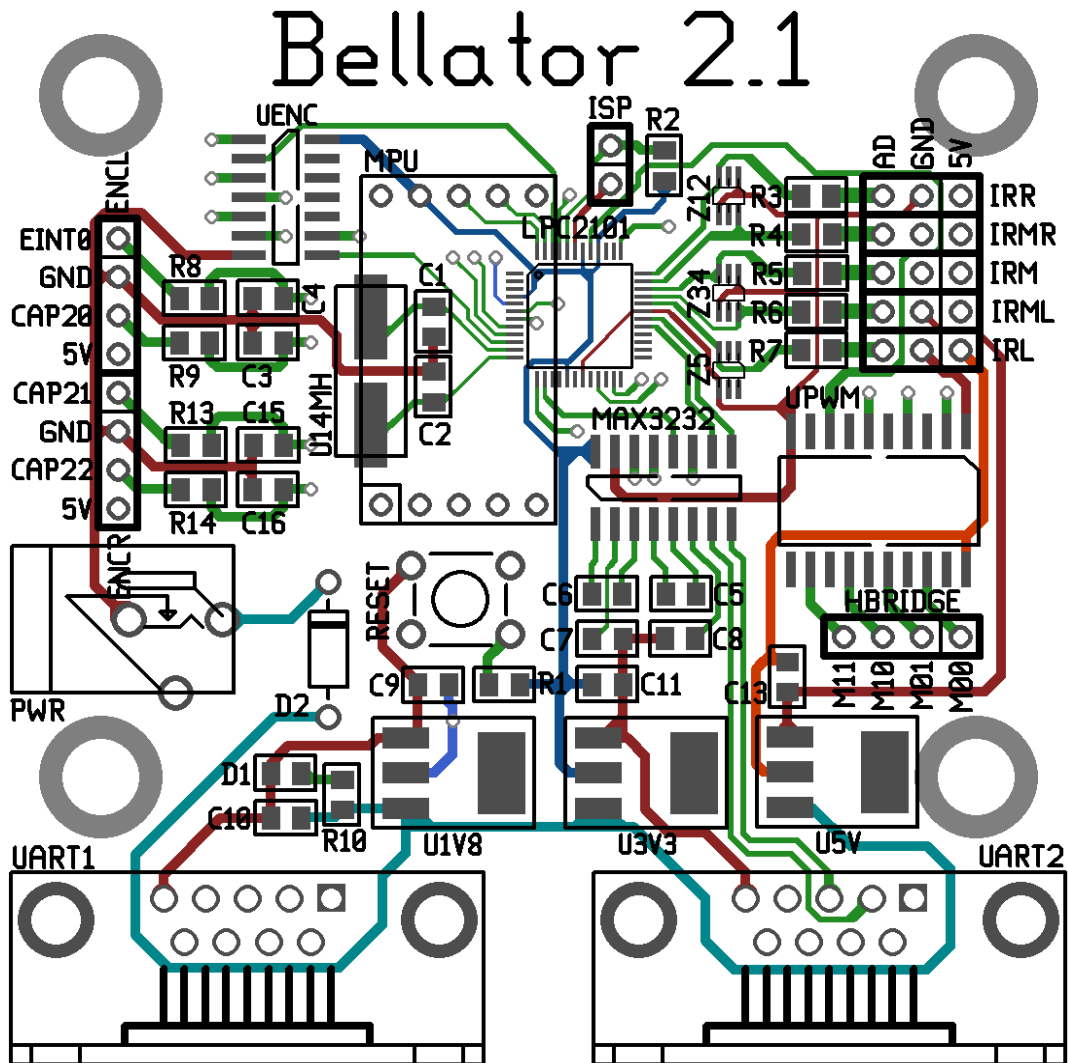
# Itens

- Projeto da PCB (Printed Circuit Board) (hardware).
- Lista de componentes para confecção da PCB completa (hardware).
- Diagramas de estados (sistema de comunicação).
- Descrição das mensagens e codificações dos comandos (sistema de comunicação).
- Descrição do uso do Software (Manual do Usuário)
- Mapa de conexão da PCB com a alimentação e outros elementos (hardware).
- Guia de montagem (hardware).

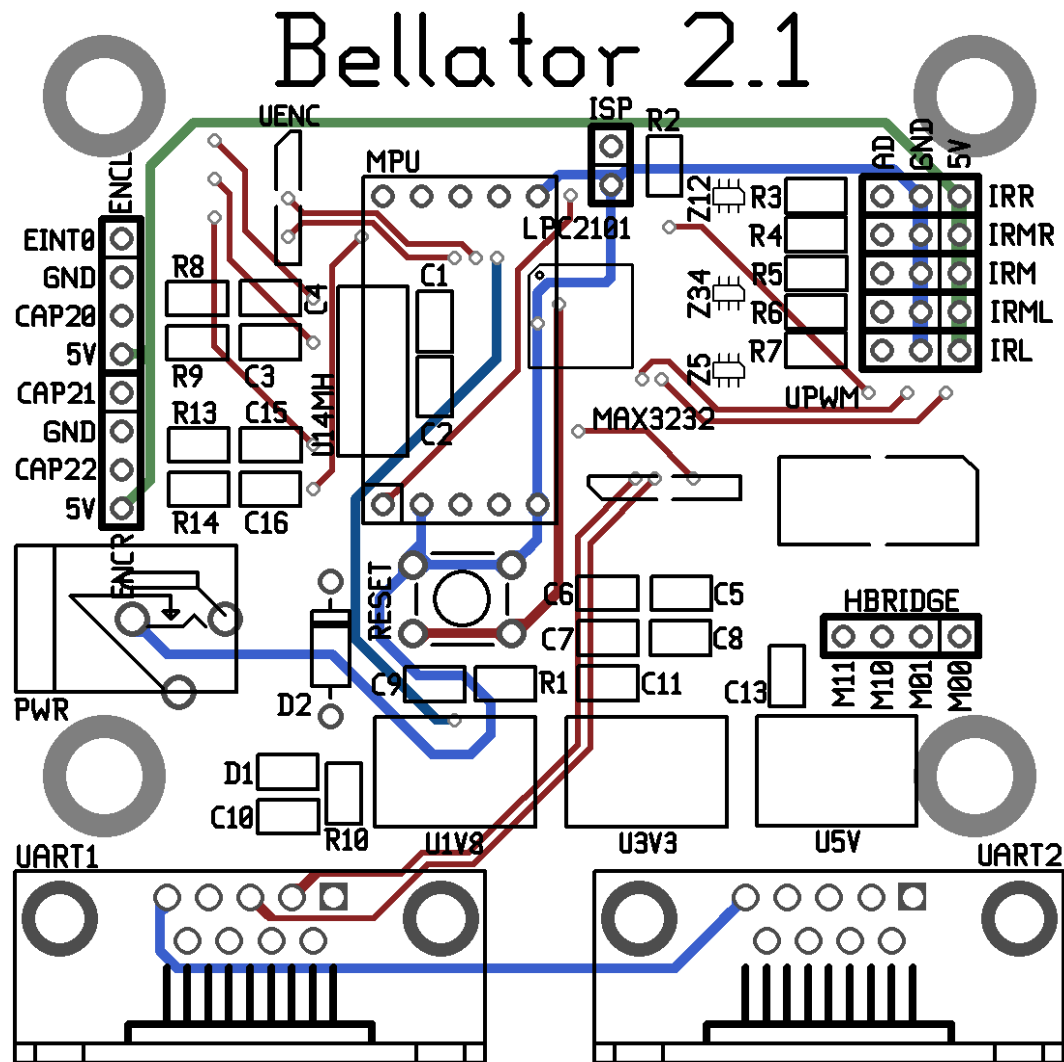
# Diagrama elétrico/eletrônico da PCB



# Projeto da PCB - Cima

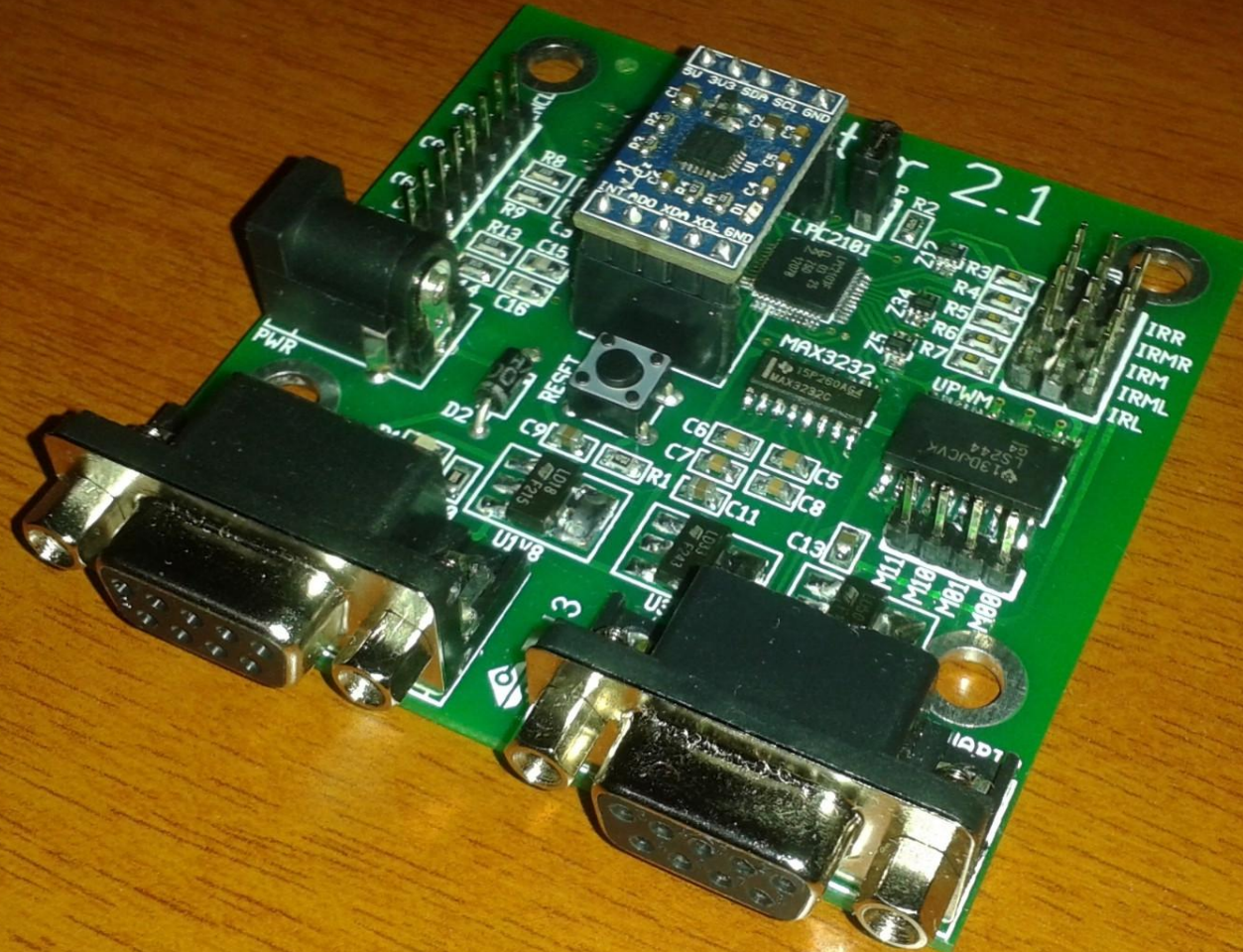


# Projeto da PCB - Baixo



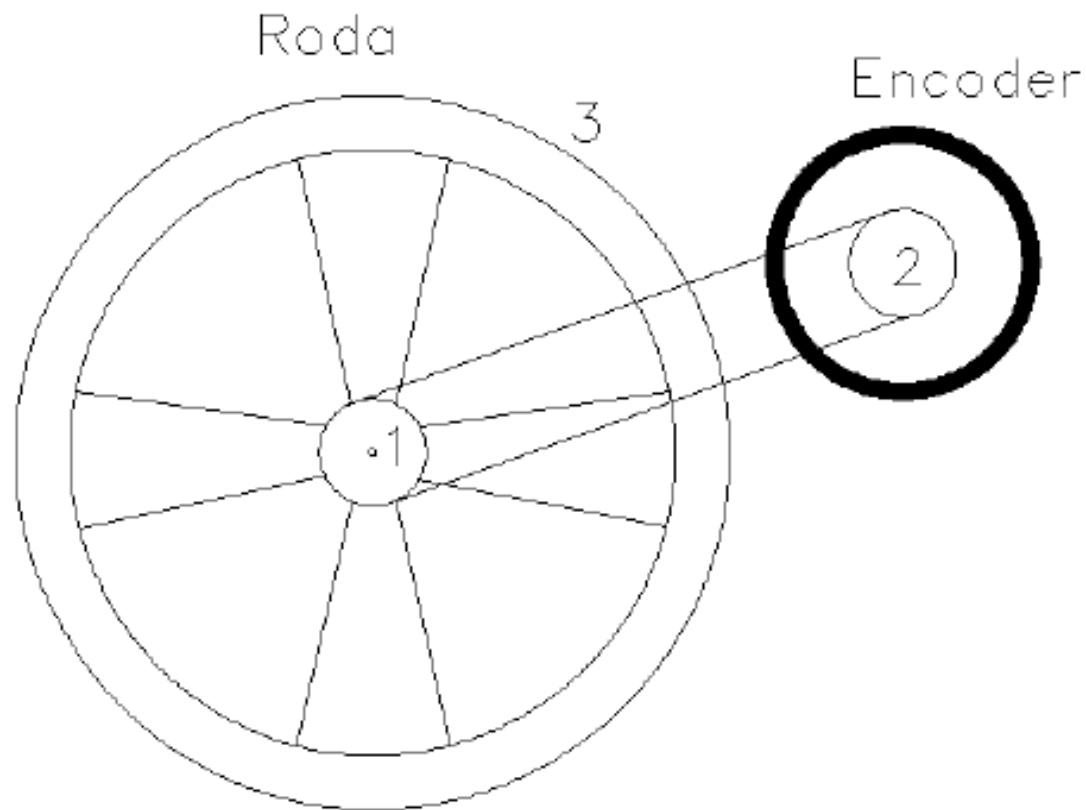


# Placa de Circuito Impresso



# Cálculos teóricos

## Encoders



# Cálculos teóricos

## Encoders

Relação entre deslocamento e ângulo em uma circunferência:

$$\Delta x = R \cdot \Delta \theta$$



# Cálculos teóricos

## Encoders

Relação entre variações dos ângulos do eixo da roda e eixo do encoder:

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 \rightarrow \Delta \theta_1 R_1 = \Delta \theta_2 R_2 \rightarrow \Delta \theta_1 \frac{C_1}{2\pi} = \Delta \theta_2 \frac{C_2}{2\pi}$$

$$\Delta \theta_1 = \frac{C_2}{C_1} \cdot \Delta \theta_2$$

# Cálculos teóricos

## Encoders

Relação entre a contagem 'E' de pulsos e variação do ângulo do eixo do encoder:

$$\Delta\theta_2 = \frac{2\pi}{1800} \cdot E \text{ [rad]}$$

# Cálculos teóricos

## Encoders

Relação entre variação do ângulo do eixo da roda e deslocamento na superfície da roda:

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_3 \rightarrow \Delta\theta_1 = \frac{\Delta x_3}{R_3} \rightarrow \Delta\theta_1 = \Delta x_3 \frac{2\pi}{C_3} \rightarrow \Delta x_3 = \Delta\theta_1 \frac{C_3}{2\pi}$$

Substituindo o valor de  $\Delta\theta_1$  anteriormente obtido:

$$\Delta x_3 = \frac{C_2}{C_1} \frac{2\pi}{1800} \cdot E \cdot \frac{C_3}{2\pi} \longrightarrow \boxed{\Delta x_3 = \frac{C_2 C_3}{1800 \cdot C_1} \cdot E}$$

# Cálculos teóricos

## Encoders

$$\Delta x_3 = \frac{C_2 C_3}{1800 \cdot C_1} \cdot E$$

$\Delta x_3$ : Deslocamento da roda

$C_1$ : Circunferência do eixo da roda

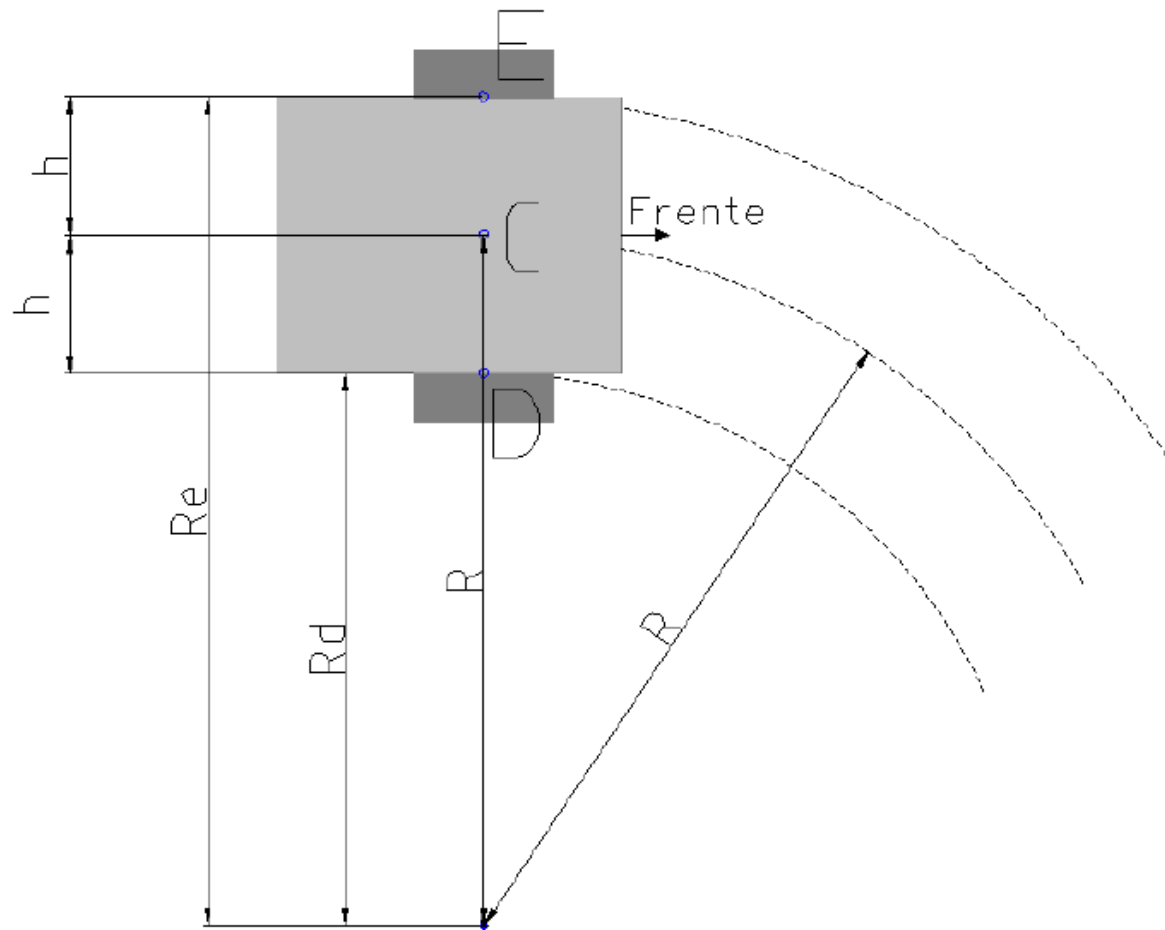
$C_2$ : Circunferência do eixo do encoder

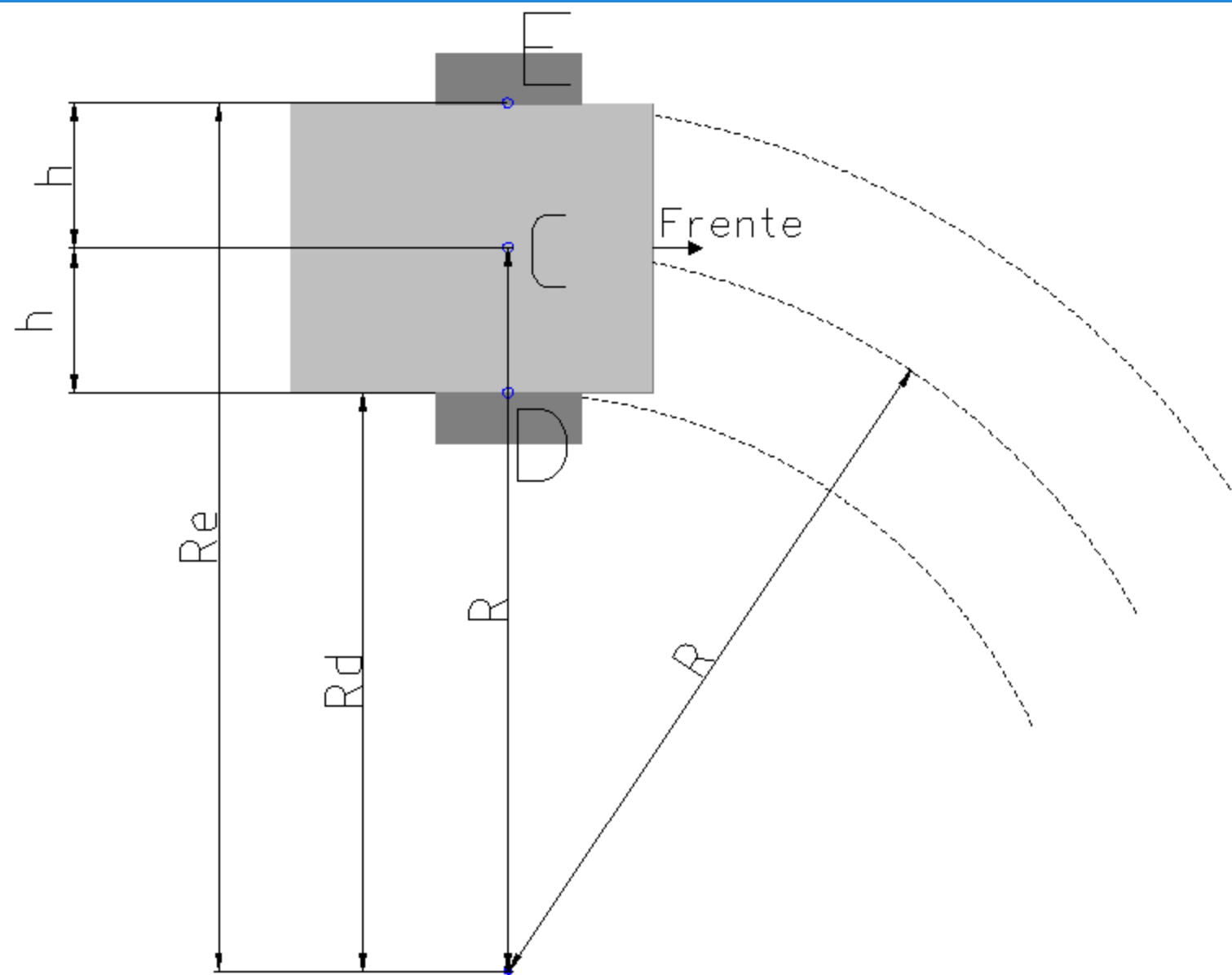
$C_3$ : Circunferência da roda

$E$ : contagem de pulsos no encoder

# Cálculos teóricos

## Deslocamento do robô





# Cálculos teóricos

## Deslocamento do robô

Visto que E, C e D estão fixos com relação à carcaça do robô, tem-se a seguinte relação fundamental:

$$\Delta\theta_E = \Delta\theta_D = \Delta\theta_C$$

$\Delta\theta_E$ : deslocamento angular no ponto E

$\Delta\theta_D$ : deslocamento angular no ponto D

$\Delta\theta_C$ : deslocamento angular no ponto C



# Cálculos teóricos

## Raio do movimento circular

A partir dos 2 primeiros termos da igualdade:

$$\Delta\theta_E = \Delta\theta_D \rightarrow \frac{\Delta x_E}{R_E} = \frac{\Delta x_D}{R_D}$$

Sabe-se pela figura que:

$$R_E = R + h, \quad R_D = R - h$$

Portanto:

$$\frac{\Delta x_E}{R + h} = \frac{\Delta x_D}{R - h}$$

# Cálculos teóricos

## Raio do movimento circular

Desenvolvendo...

$$\frac{\Delta x_E}{R+h} = \frac{\Delta x_D}{R-h} \rightarrow \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} = \frac{R+h}{R-h} \rightarrow \frac{\Delta x_E(R-h)}{\Delta x_D} = R+h$$

$$\frac{\Delta x_E \cdot R - \Delta x_E \cdot h}{\Delta x_D} = R+h \rightarrow \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} \cdot R - \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} \cdot h = R+h \rightarrow \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} \cdot R - R = \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} \cdot h + h$$

$$R \left( \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} - 1 \right) = h \left( \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} + 1 \right) \rightarrow R = h \cdot \frac{\left( \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} + 1 \right)}{\left( \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} - 1 \right)} \rightarrow R = h \cdot \frac{\frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_D}}{\frac{\Delta x_E - \Delta x_D}{\Delta x_D}}$$

# Cálculos teóricos

## Raio do movimento circular

$$R = h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D}$$

R: raio do movimento circular

h: distância entre cada roda e o centro do robô

$\Delta x_E$ : deslocamento da roda esquerda

$\Delta x_D$ : deslocamento da roda direita

# Cálculos teóricos

## Deslocamento linear

A partir dos segundo e terceiro termos da igualdade:

$$\Delta\theta_D = \Delta\theta_C \rightarrow \frac{\Delta x_D}{R_D} = \frac{\Delta x_C}{R}$$

Da figura sabe-se que:

$$R_D = R - h$$

Portanto:

$$\frac{\Delta x_D}{R - h} = \frac{\Delta x_C}{R}$$

# Cálculos teóricos

## Deslocamento linear

Desenvolvendo...

$$\frac{\Delta x_D}{R-h} = \frac{\Delta x_C}{R} \rightarrow x_D = x_C \cdot \frac{R-h}{R}$$

$$\Delta x_D = \Delta x_C \left[ \frac{h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D} - h}{h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D}} \right]$$

$$\Delta x_D = \Delta x_C \left[ \frac{\frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D} - 1}{\frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D}} \right]$$

# Cálculos teóricos

## Deslocamento linear

Desenvolvendo...

$$\Delta x_D = \Delta x_C \left[ 1 - \frac{\Delta x_E - \Delta x_D}{\Delta x_E + \Delta x_D} \right] \rightarrow \Delta x_D = \Delta x_C \left[ \frac{(\Delta x_E + \Delta x_D) - (\Delta x_E - \Delta x_D)}{\Delta x_E + \Delta x_D} \right]$$

$$\Delta x_D = \Delta x_C \cdot \left[ \frac{2\Delta x_D}{\Delta x_E + \Delta x_D} \right] \rightarrow \Delta x_C = \frac{\Delta x_D}{\left( \frac{2\Delta x_D}{\Delta x_E + \Delta x_D} \right)}$$

# Cálculos teóricos

## Deslocamento linear

$$\Delta x_C = \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{2}$$

$\Delta x_C$ : deslocamento do centro de movimento do robô

$\Delta x_E$ : deslocamento da roda esquerda

$\Delta x_D$ : deslocamento da roda direita



# Cálculos teóricos

## Deslocamento angular

Da relação entre o deslocamento e variação do ângulo em uma circunferência, descobre-se que:

$$\Delta\theta_c = \frac{\Delta x_c}{R}$$

$\Delta\theta_c$ : deslocamento angular do centro do robô

$\Delta x_c$ : deslocamento linear do centro do robô

R: raio do movimento circular

# Cálculos teóricos

## Movimento retilíneo

Quando o robô efetua um movimento retilíneo:

$$\Delta x_E = \Delta x_D$$

$$R = h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D} = h \cdot \frac{2 \cdot \Delta x_E}{0} \rightarrow \infty$$

$$\Delta \theta_c = \frac{\Delta x_C}{R} = \frac{\Delta x_C}{\infty} \rightarrow 0$$

$$\Delta x_C = \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{2} = \frac{2\Delta x_E}{2} = \Delta x_E$$

# Cálculos teóricos

## Movimento em torno do próprio centro

Quando o robô se movimenta em torno de seu próprio centro:

$$\Delta x_E = -\Delta x_D$$

$$R = h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D} = h \cdot \frac{\Delta x_E - \Delta x_E}{\Delta x_E + \Delta x_E} = 0$$

$$\Delta x_C = \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{2} = \frac{\Delta x_E - \Delta x_E}{2} = 0$$

# Cálculos teóricos

## Movimento em torno do próprio centro

O deslocamento angular:

$$\Delta\theta_c = \frac{\Delta x_C}{R} = \frac{0}{0}$$

É indeterminado usando-se a equação geral.

# Cálculos teóricos

## Movimento em torno do próprio centro

Porém, analisando o movimento circular realizado, vê-se que o  $R = h$  e que o deslocamento ao longo da circunferência é o deslocamento de qualquer uma das rodas.

Portanto:

$$\Delta\theta_c = \frac{\Delta x_E}{h}$$

# Cálculos teóricos

## Velocidade e aceleração lineares

Para determinar velocidade e aceleração lineares, deriva-se numericamente o deslocamento linear:

$$v_{c(n)} = \frac{\Delta x_{c(n)}}{t_{(n)} - t_{(n-1)}}$$

$$a_{c(n)} = \frac{v_{c(n)} - v_{c(n-1)}}{t_{(n)} - t_{(n-1)}}$$

# Cálculos teóricos

## Velocidade e aceleração angulares

Para determinar velocidade e aceleração angulares, deriva-se numericamente o deslocamento angular:

$$\omega_{c(n)} = \frac{\Delta\theta_{c(n)}}{t_{(n)} - t_{(n-1)}}$$

$$\alpha_{c(n)} = \frac{\omega_{c(n)} - \omega_{c(n-1)}}{t_{(n)} - t_{(n-1)}}$$



# Acelerômetro

Aceleração em cada eixo:

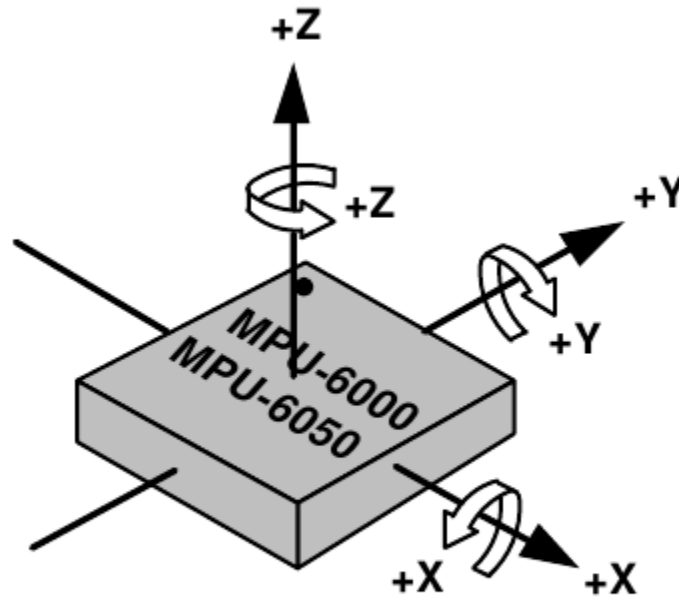
$$a = \frac{\textit{valorMedido}}{16384} \cdot g \text{ [m/s}^2\text{]}$$

# Giroscópio

Velocidade angular em cada eixo:

$$\omega = \frac{\textit{valorMedido}}{131} \text{ [graus/s]} = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\textit{valorMedido}}{131} \text{ [rad/s]}$$

# Eixos do acelerômetro e giroscópio



# Algoritmo de posicionamento

- 1) A partir dos dados dos **encoders**, calcular deslocamento (linear e angular) do centro do robô.
- 2) Obter a aceleração linear e velocidade angular por derivação numérica.

# Algoritmo de posicionamento

3) Comparar e especificar pesos para:

- aceleração linear (encoders vs. acelerômetro)
- velocidade angular (encoders vs. giroscópio)

4) Calcular:

- aceleração linear final
- velocidade angular final

# Algoritmo de posicionamento

5) Integrar numericamente aceleração linear e velocidade angular:

$$v_{(n)} = v_{(n-1)} + a_{(n)} \cdot (t_{(n)} - t_{(n-1)})$$

$$\Delta x_{(n)} = v_{(n)} \cdot (t_{(n)} - t_{(n-1)})$$

$$\Delta \theta_{(n)} = \Delta \theta_{(n-1)} + \omega_{(n)} \cdot (t_{(n)} - t_{(n-1)})$$

# Algoritmo de posicionamento

6) Calcular a nova posição  $\vec{P}_{(n)}$  e o novo ângulo  $\theta_{(n)}$  do robô:

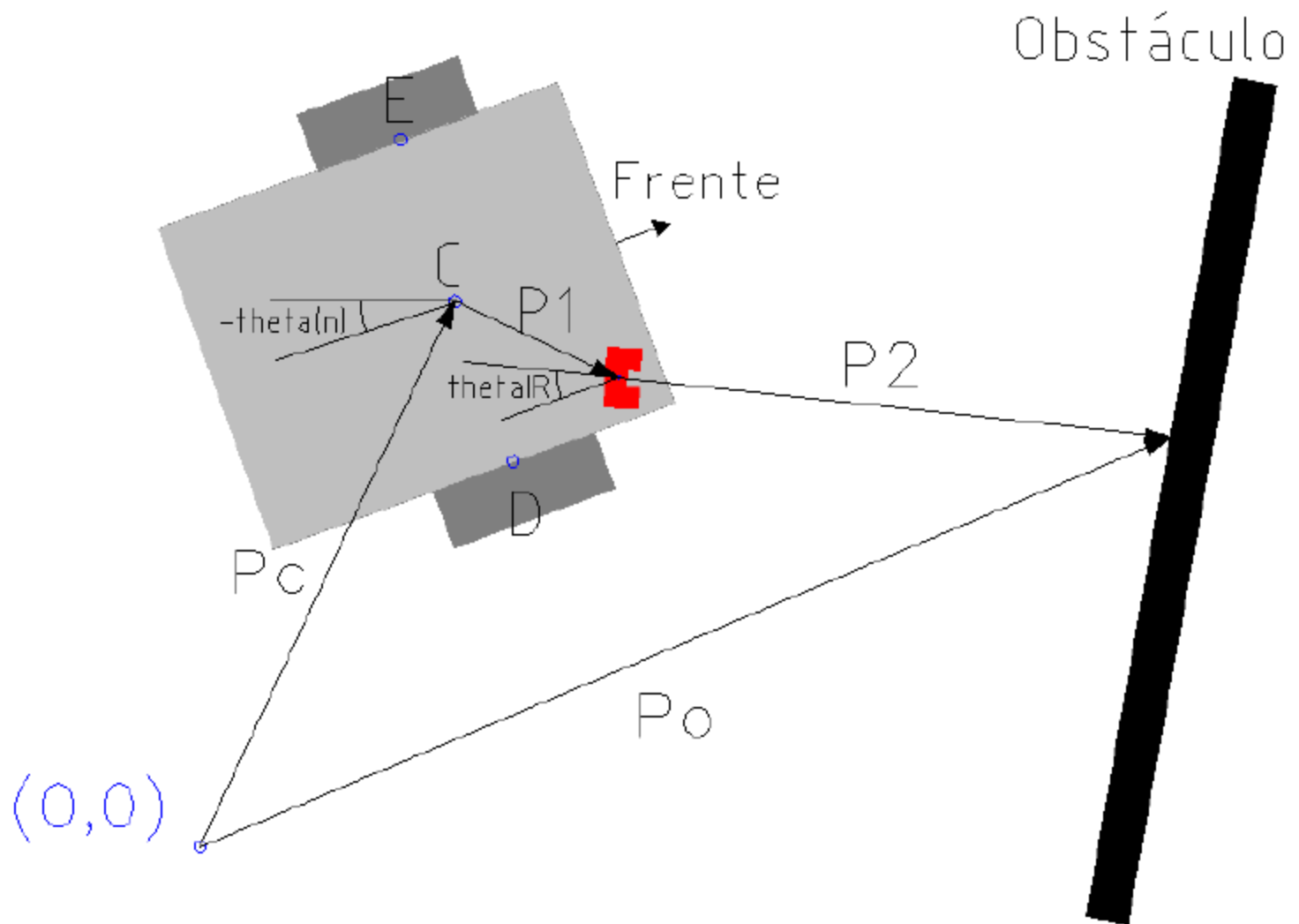
$$P_{x(n)} = P_{x(n-1)} + \Delta x \cdot \cos(\theta_{(n-1)})$$

$$P_{y(n)} = P_{y(n-1)} + \Delta x \cdot \sin(\theta_{(n-1)})$$

$$\theta_{(n)} = \theta_{(n-1)} + \Delta\theta$$



# Sensores infra-vermelhos



# Sensores infra-vermelhos

Distância detectada por cada sensor infra-vermelho em função do valor medido ( ):  $x$

$$d = 3,6404 \cdot 10^{-7}x^4 - 2,4435 \cdot 10^{-4}x^3 + 6,0732 \cdot 10^{-2}x^2 - 6,8962x + 339,361$$

(MARIN et al., 2012)

# Sensores infra-vermelhos

Determinação da posição do obstáculo:

$$\vec{P_O} = \vec{P_C} + \vec{P_1} + \vec{P_2}$$

# Sensores infra-vermelhos

Componentes:

$$\vec{P}_C = \vec{P}_{(n)}$$

$$|\vec{P}_1| = |\vec{P}_{IR}|$$

$$\phi \left\{ \vec{P}_1 \right\} = \phi \left\{ \vec{P}_{IR} \right\} + \theta_{(n)}$$

$$|\vec{P}_2| = d$$

$$\phi \left\{ \vec{P}_2 \right\} = \theta_{IR} + \theta_{(n)}$$

# Testes