

# Controlador PID para o Controle de Velocidade de Rotações de um Robô Móvel

Johnny Marcos Silva Soares<sup>1</sup>, José Robertty de Freitas Costa<sup>1</sup>,  
Paulo Armando Cavalcante Aguiar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus Quixadá

johnnymarcos, robertty {@alu.ufc.br}, cavalcante.aguiar@gmail.com

**Abstract.** *There is a difficulty for mobile robots to maintain a trajectory because the motors have different responses to the same PWM signal (Pulse Width Modulation). In this work the use of Proportional Integral Derivative (PID) control is presented with the objective of controlling the rotation speed of 4 motors of a mobile autonomous robot in a closed loop system.*

**Resumo.** *Existe uma dificuldade de robôs móveis manterem uma trajetória, devido aos motores possuírem diferentes respostas ao mesmo sinal de PWM (Pulse Width Modulation). Neste trabalho é apresentado o uso do controle Proporcional Integral Derivativo (PID) com o objetivo de controlar a velocidade de giro de 4 motores de um robô móvel autônomo em um sistema de malha fechada.*

## 1. Introdução

A robótica é o ramo da tecnologia que modela e desenvolve robôs para diversas aplicações que muitas vezes são executadas por humanos. Uma área de aplicação é o da construção de robôs móveis autônomos, que consiste no desenvolvimento de um robô que consiga se movimentar e interagir com o ambiente através do uso de sensores [Monteiro et al. 2014].

Devido ao maior poder computacional, os robôs estão conseguindo executar tarefas cada vez mais complexas. Por esse motivo, a robótica móvel está sendo muito importante no futuro da mobilidade urbana com a utilização de carros totalmente autômatos, que consiste em carros que sejam capazes de conduzir passageiros com segurança e consiga otimizar o tráfego de veículos em uma via de trânsito [Maurer 2016]. Também sendo utilizado em indústrias, com o objetivo desde a gerência de estoque de maneira autônoma até o controle de plantações.

Neste trabalho apresentaremos o controle de velocidade de rotação afim de garantir estabilidade em um robô móvel para realizar uma certa trajetória. O robô móvel utilizado neste trabalho possui quatro motores de corrente contínua com controle de velocidade através de um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*). Realizar o controle de rotações por segundo (rps) nem sempre é uma tarefa muito trivial pois cada motor terá seu próprio valor específico de PWM para garantir uma certa rps. Para realizar o controle de rps utilizamos um controlador Proporcional Integral Derivativo (PID).

Na seção 2 iremos apresentar os principais objetivos do trabalho. Na seção 3, descreve o sistema controlado. Na seção 4, apresentamos a metodologia utilizada. Por fim, na seção 5 apresentamos a descrição dos experimentos.

## 2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é a construção de um controlador PID que será capaz de controlar a velocidade de rotações das rodas. O controle de rotações é essencial em robôs móveis afim de que a trajetória estabelecida consiga ser descrita da melhor forma possível.

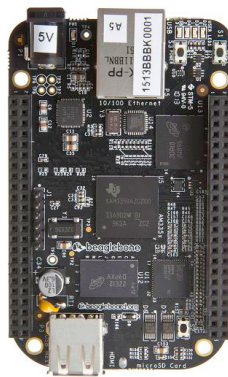
## 3. Sistema controlado

O robô utilizado é um veículo de direção diferencial, ou seja, para realizar movimento em uma trajetória é preciso controlar a velocidade de rotação dos motores da esquerda e direita. Portanto, as combinações da velocidade dos motores podem realizar uma trajetória em curva, linha reta, ou qualquer outro percurso desejado. Para realizar o controle de velocidade de cada motor é utilizado um disco *encoder* e um sensor para fazer a contagem dos furos do disco. Para descobrir que houve um giro completo de uma roda, o sensor precisará ler 20 furos. Para detectar os furos das rodas foi utilizado 4 sensores de velocidade das rodas (LM393).



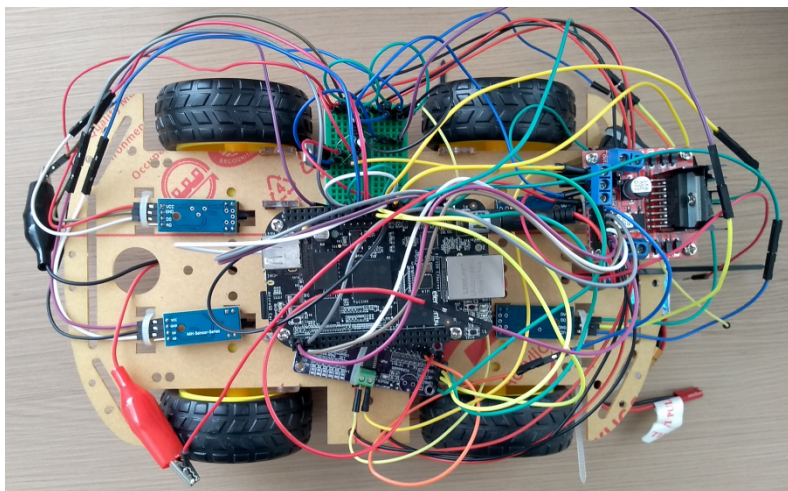
**Figure 1. Modelo do disco *encoder* utilizado**

A *BeagleBone Black* é uma plataforma de desenvolvimento para sistemas embarcados, que utiliza o processador *ARM Cortex A8*, sendo utilizada nesse trabalho para fazer o controle do PWM de cada motor e realizar as leituras dos sensores. Visto que muitas aplicações envolvendo robôs móveis são baseadas em Sistemas Operacionais de Tempo Real (RTOS), devido a criticalidade da aplicação, pois em muitos casos, um atraso da execução de uma tarefa pode acarretar grandes prejuízos para empresas ou até mortes. Por esse motivo, a *Beaglebone Black* foi escolhida devido a sua compatibilidade com o Sistema Operacional de Tempo Real da *Texas Instruments*, o *TI RTOS*.



**Figure 2. Plataforma BeagleBone Black [BeagleBoard ]**

Foi inserido dois módulos de ponte H (L298N), para receber os valores do PWM e atuar sobre os motores. Um sensor de movimento (MPU6050) e um controlador PWM via I2C (PCA9685). Por fim, o robô móvel foi montado, como mostrado na Figura 3.



**Figure 3. Robô móvel montado**

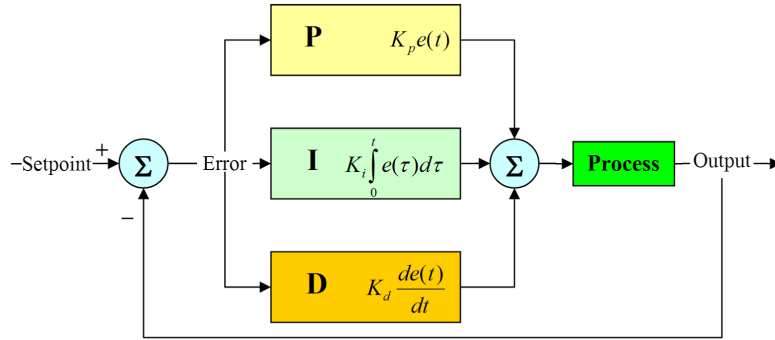
#### **4. Metodologia**

Um controlador automático precisa ser modelado para controlar a velocidade dos 4 motores do robô. Um controlador automático tem como objetivo comparar o valor de entrada, com o valor de referência, determinar o desvio e realizar uma ação de controle, com o intuito de reduzir o desvio [Ogata and Yang 2002].

Considerando o principal caso de movimento do robô móvel, que consiste em uma trajetória em linha reta com uma distância de 1 metro. Sem um controle seria preciso fazer testes exaustivos para identificar os valores de PWM para cada velocidade dos motores, levando em conta que cada motor pode reagir de maneira diferente a uma mesma entrada PWM. Para diminuir o esforço exaustivo, é proposto primeiramente o uso de um controlador proporcional-integral-derivativo (PID) para cada roda, com o objetivo de garantir uma velocidade constante para o robô.

O sistema do movimento de cada roda pode ser descrito como um sistema de malha fechada. No qual, a entrada do sistema é o número de pulsos detectados pelo *encoder*, e a atuação do sistema é no sinal PWM do motor. Portanto, as variações no PWM irão interferir no valor lido pelo *encoder* na próxima unidade de tempo.

O controlador PID é a combinação de ações de controle proporcional, controle integral e controle derivativo. Com a combinação das ações de controle, o controlador PID possui as vantagens individuais de cada ação. O controlador PID é ilustrado abaixo.



**Figure 4. Controlador Proporcional Integral Derivativo**

#### 4.1. Controle Proporcional

O controle proporcional se baseia na suavização do controle básico (*On-Off*). Levando em conta um valor ideal da saída, a atuação do sistema de controle é baseada na diferença do valor ideal para o valor medido que é denominado de erro  $e(t)$  [MATIAS 2002], multiplicado por uma constante de proporcionalidade  $K_p$ , como descrito na equação 1.

$$P \leftarrow K_p e(t) \quad (1)$$

#### 4.2. Controle Integral

Quando se tem um sistema onde utilizamos somente um controlador proporcional, nas alterações da carga o reajuste do off-set deve ser feito de forma automática. O reajuste do off-set será dado pela integração do erro  $e(t)$  e será chamado de controle integral [MATIAS 2002]. Como apresentado pela equação abaixo, o valor da componente integral vai ser igual a integral do erro multiplicada por uma constante  $K_i$ .

$$I \leftarrow K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2)$$

#### 4.3. Controle Derivativo

A ação derivativa será proporcional à velocidade de variação do erro, esta ação tem o efeito de reduzir a velocidade das variações, evitando que se eleve ou reduza muito rapidamente. Desta forma, o controle derivativo vai fazer com que o sistema tenda a oscilar menos possível. Como apresentado pela equação abaixo, o valor da componente derivativa vai ser igual a derivada do erro multiplicada por uma constante  $K_d$ .

$$D \leftarrow K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Abaixo apresentamos um pseudocódigo de como o controlador PID foi utilizado neste trabalho. Observe que o controle do sinal PWM foi feito em tempo discreto e em uma frequência de 10 Hz.

---

**Algorithm 1** Controle Proporcional-Integral-Derivativo no Tempo t

---

```

1: erro_proporcional  $\leftarrow$  valor_ideal – valor_medido(t)
2: P  $\leftarrow$   $K_p * \textit{erro\_proporcional}$ 
3: I  $\leftarrow$  I +  $K_i * \textit{erro\_proporcional}$ 
4: D  $\leftarrow$   $K_d * (\textit{valor\_medido}(t - 1) - \textit{valor\_medido}(t))$ 
5: PID  $\leftarrow$  P + I + D
6: PWM(t)  $\leftarrow$  PWM(t – 1) + PID

```

---

O principal problema na construção de um controlador PID é determinar as constantes  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ . Neste trabalho determinamos as constantes após alguns testes empíricos. Os valores das constantes utilizadas estão listadas na tabela abaixo.

$K_d$	$K_i$	$K_p$
10	2	8

**Table 1.** Valores das Constantes do Controlador Proporcional Integral Derivativo

## 5. Descrição dos Experimentos

Os experimentos deste trabalho foram trajetórias pré-estabelecidas para que o robô móvel consiga executar baseado em somente no controle de rotações das rodas. No total são duas trajetórias, elas estão descritas abaixo:

- A trajetória 1 que o robô móvel deve ser capaz de executar é uma linha reta com comprimento igual a 1 metro. Todas as rodas devem manter uma velocidade 2 rotações por segundo.
- A trajetória 2 que o robô móvel deve ser capaz de executar é uma linha reta com comprimento igual a 2 metros. Todas as rodas devem manter uma velocidade 2 rotações por segundo.

## 6. Resultados e Conclusão

As 2 rotações por segundo podem ser vista como a leitura de 40 furos no disco *encoder* por segundo, ou seja, é necessário ter 4 leituras a cada 100 ms para garantir a velocidade da roda. Nos experimentos foi provado que com o uso do PID é possível controlar com maior eficiência a velocidade das rodas, garantindo assim, uma melhor execução do percurso. É mostrado na Figura 5 que o PID conseguiu garantir uma melhor estabilização do robô móvel, pois, o número de furos detectados no período de 100 ms tendeu ao valor 4.

Já na Figura 6, foi configurado um valor de PWM igual para todas as rodas. Sendo fácil ver, que a velocidade de giro das rodas foi bem distinto ao longo do tempo,

mostrando que mesmo motores iguais, podem ter velocidade de giro diferentes com o mesmo PWM.

```
-----  
QTD_INT_RODA_1: 4  
QTD_INT_RODA_2: 5  
QTD_INT_RODA_3: 4  
QTD_INT_RODA_4: 5  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 4  
QTD_INT_RODA_2: 4  
QTD_INT_RODA_3: 4  
QTD_INT_RODA_4: 6  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 4  
QTD_INT_RODA_2: 4  
QTD_INT_RODA_3: 4  
QTD_INT_RODA_4: 6  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 4  
QTD_INT_RODA_2: 4  
QTD_INT_RODA_3: 4  
QTD_INT_RODA_4: 5  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 4  
QTD_INT_RODA_2: 4  
QTD_INT_RODA_3: 4  
QTD_INT_RODA_4: 4  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 4  
QTD_INT_RODA_2: 4  
QTD_INT_RODA_3: 4  
QTD_INT_RODA_4: 5  
-----
```

**Figure 5. Leituras dos furos do disco a cada 100 ms com o uso do PID**

```
-----  
QTD_INT_RODA_1: 8  
QTD_INT_RODA_2: 13  
QTD_INT_RODA_3: 7  
QTD_INT_RODA_4: 13  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 8  
QTD_INT_RODA_2: 15  
QTD_INT_RODA_3: 7  
QTD_INT_RODA_4: 11  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 8  
QTD_INT_RODA_2: 11  
QTD_INT_RODA_3: 7  
QTD_INT_RODA_4: 10  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 8  
QTD_INT_RODA_2: 10  
QTD_INT_RODA_3: 7  
QTD_INT_RODA_4: 12  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 8  
QTD_INT_RODA_2: 12  
QTD_INT_RODA_3: 7  
QTD_INT_RODA_4: 13  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 8  
QTD_INT_RODA_2: 12  
QTD_INT_RODA_3: 7  
QTD_INT_RODA_4: 15  
-----  
QTD_INT_RODA_1: 9  
QTD_INT_RODA_2: 13  
QTD_INT_RODA_3: 8  
QTD_INT_RODA_4: 15  
-----
```

**Figure 6. Leituras dos furos do disco a cada 100 ms sem o uso do PID**

Portanto, o PID foi crucial nas ações de controle de velocidade para locomoção do robô móvel autônomo, pela garantia da estabilidade do movimento e correção dos erros ocorridos no percurso. Além disso, o PID pode ser utilizado em trabalhos futuros para garantir a redução da velocidade das rodas em obstáculos, com o intuito de evitar as paradas bruscas e também na execução de trajetórias mais complexas.

## References

- [BeagleBoard ] BeagleBoard. Beaglebone black. url<https://beagleboard.org/black>.
- [MATIAS 2002] MATIAS, J. (2002). Teoria de controle pid. *Mecatrônica Atual*, 1(3):17–25.
- [Maurer 2016] Maurer, M. (2016). Introduction. In *Autonomous driving*, pages 1–9. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [Monteiro et al. 2014] Monteiro, E. R. d. B. et al. (2014). Mecanismo de previsão de perda de deadline para a navegação de robôs móveis autônomos.
- [Ogata and Yang 2002] Ogata, K. and Yang, Y. (2002). *Modern control engineering*, volume 4. Prentice-Hall.