



## INTEGRAÇÃO DA ENGENHARIA COM O ENSINO MÉDIO POR MEIO DA ROBÓTICA MÓVEL

**Micael B. Gaier** – micaelbg@gmail.com

**Ronan M. Martins** – ronan.martins@cba.ifmt.edu.br

**Walterley de Araújo Moura** – walterley.moura@cba.ifmt.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT), Departamento da Área de Eletroeletrônica (DAE-E)

Rua Zulmira Canavarros, 95

78000-000 – Cuiabá – Mato Grosso

**Resumo:** *O objetivo geral deste trabalho é apresentar a atividade de extensão em interface com a pesquisa realizada com os estudantes do ensino médio como meio alternativo de capacitação técnica/tecnológica dessa comunidade de maneira a fomentar e motivar a formação de pesquisadores, despertando o desenvolvimento de conhecimentos científicos e tecnológicos desses jovens. Para tanto, o tema “robótica móvel” com foco em sistema de controle foi escolhido para nortear os trabalhos práticos envolvendo hardware e software. Para o hardware foram usados resistências, leds, motores CC e o microcontrolador Arduino como elemento de controle do hardware externo. Embora os dispositivos eletroeletrônicos e as conexões elétricas serem muitos simples, o software livre “Fritzing” foi usado para facilitar o passo a passo das conexões elétricas. Além disso, o PET AutoNet preparou uma apostila específica voltada para o público-alvo. Na apostila, as práticas foram estruturadas em uma linguagem simples e com vários exemplos detalhados. A orientação técnica/tecnológica ocorreu por meio de oficina. Em um primeiro momento, os estudantes praticam e “sentem” o controle manual dos motores, isto é, implementam um programa computacional no Arduino, elemento controlador, que tem como dados de entrada, as informações enviadas pelos sensores ópticos e sonares. Esses dados são processados e enviados aos motores. Com isso, os participantes verificam o controle do sentido da rotação, da velocidade e da parada dos motores. Posteriormente, são implementados conceitos de controle automático PID digital por meio de kit didático. Neste momento, os robôs protótipos são transformados em “seguidores de trilha”, onde a trilha é a referência do sistema a ser controlado (robô).*

**Palavras-chave:** *robótica móvel, controle PID digital, seguidor de trilha.*

### 1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos remotos o homem vem trabalhando em busca de novas soluções para a realização de tarefas do dia a dia de forma automática e confortável. E com o passar dos anos, devido às necessidades surgidas, foram acumulados conhecimentos que, atualmente, possibilitam o desenvolvimento e uso de equipamentos que para a sua concretização é necessário integrar conhecimentos de áreas de conhecimentos diversas. Um exemplo disso é a



área da robótica cuja utilização crescente de robôs não se verifica apenas na indústria, mas também em diferentes ramos da nossa sociedade. Dois acontecimentos no ano de 2011 ilustram bem essa realidade, isto é, o uso de robô submarino na localização e no resgate do avião da Air France 447 que caiu no Oceano Atlântico em 2009 e a utilização dos robôs de inspeção para verificar as condições estruturais da usina nuclear de Fukushima Daiichi, Japão, afetada por um tsunami. São exemplos que mostram a grande importância e a gama de aplicações atuais dos robôs e os interesses econômicos e sociais envolvidos em relação ao seu desenvolvimento e aplicação.

O tema ganha relevância quando a literatura científica que trata do assunto tem destacado e garantido o quão importante o desenvolvimento de pesquisa na área da Robótica Móvel para o futuro. Prevê-se que a robótica móvel autônoma será responsável por uma nova revolução no mundo moderno, trazendo inúmeros benefícios e grandes desafios para um futuro próximo. Além disso, o tema foca abre a possibilidade de explorar vários temas científicos como, por exemplo, a inteligência artificial que capacita os robôs para a execução autônoma e os sistemas computacionais que permitem dotar esses robôs de habilidades para reconhecer o ambiente onde se encontram, estabelecer objetivo, planejar e modificar o ambiente onde estão para realizar os seus objetivos, fornecendo uma gama de aplicações como, por exemplo, inspeção de oleodutos, realização de tarefas em ambientes inóspitos e insalubres, etc.

Ao mesmo tempo, segundo (AGUIAR, 2011) é necessário formar mais e melhores engenheiros no Brasil, requerendo um esforço coordenado e em conjunto entre governo, academia e o setor empresarial. Afirma, ainda, que para se alcançar uma engenharia mais competitiva é necessário, entre outras ações, difundir o papel da engenharia com o propósito de elevar a motivação e a procura pelos cursos de engenharia como também promover uma maior inserção de estudos interdisciplinares nos cursos.

Tomando por base o cenário apresentado, a estratégia de atuação deste trabalho está fundamentada na abordagem de assuntos de tecnologia e de técnicas de engenharia de controle e automação, tendo como tema principal a robótica móvel voltada para aplicação de técnicas de controle industrial como, por exemplo, o controle autoático proporcional, integral e derivativo (PID). Neste caso, utilizou-se a aplicação envolvendo os robôs “seguidores de trilha” como método de divulgação educacional da engenharia no ensino médio, haja vista que a mesma abrange vários assuntos abordados em sala de aula, tais como Cálculo Diferencial e Integral, Álgebra Linear, Elementos de Máquinas, Máquinas Elétricas, Eletrônica Geral e Avançada, Eletrônica de Potência, Microcontroladores, entre outras disciplinas que são fundamentais na área de engenharia.

## 2. SISTEMAS DE CONTROLE AUTOMÁTICO

O projeto tem como meta a implementação em hardware e software da estrutura de controle segundo (OGATA, 2010) representada na figura 1.

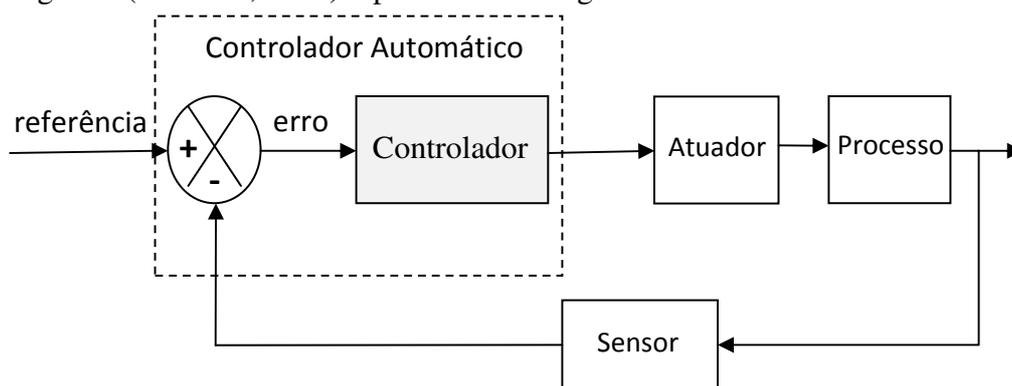


Figura 1 – Controle industrial típico (OGATA, 2010).



A figura 1 ilustra as partes fundamentais de um sistema de controle, isto é, o controlador, denominado como a inteligência do sistema, e o atuador, que é o responsável por capturar o sinal do controlador e transformá-lo em alguma ação física para ser aplicada no processo do sistema.

Um controlador automático compara o valor real de saída da planta com a entrada de referência, determina o desvio e produz um sinal de controle que vai reduzir o desvio a zero ou a um valor pequeno (OGATA, 2010).

Para realização do controle automático utilizou-se os tradicionais PID, isto é, controladores proporcional-integral-derivativos. A combinação da ação dos controles proporcional, integral e derivativo fornecem as vantagens específicas de cada um destes três tipos de controle.

A ação integral tende a anular o erro atuante em regime permanente, porém, esta ação tende a se desestabilizar, sendo corrigida pela ação derivativa que possui o efeito antecipatório e aumenta a estabilidade relativa (SILVA, 2012). Sendo assim:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{d(t)} \quad (1)$$

Com a equação (1) podemos obter a função de transferência do controle PID:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

Todavia, para a presente trabalho foi mais vantajoso implementar o controle PID digital e, conseqüentemente, o controle não precisa ser desenvolvido por meio de um circuito projetado para uma determinada função.

Seguindo os princípios de controladores PID, digitalmente (KRASS, 2012) define-se um sinal proporcional como indicado na equação 3.

Onde:

$$P_{saída} = K_p \times K_{ERRO} \quad (3)$$

Onde:

- $K_{ERRO}$  : Valor de erro definido como a subtração do valor desejado com o valor medido e;
- $K_p$  : Constante proporcional definida

A parte integrativa de saída é definida como:

$$I_{saída} = K_i \times I_{ERRO} \quad (4)$$

Onde:

- $I_{ERRO}$  : A soma do próprio valor anterior de  $I_{ERRO}$  com o valor de  $K_{ERRO}$  e;
- $K_i$  : Constante integrativa definida.

Já a componente derivativa é obtida da equação 5.

$$D_{saída} = K_d \times D_{ERRO} \quad (5)$$

Onde:

- $D_{ERRO}$  : Subtração de  $K_{ERRO}$  atual e o seu valor anterior e;



-  $K_d$  : Constante derivativa definida

Um controlador PID digital resulta com a soma das equações 3, 4 e 5 em (6):

$$PID = K_p \times \text{Kerro} + K_i \times \text{Ierro} + K_d \times \text{Derro} \quad (6)$$

Este PID é implementado em software e seus valores podem ser otimizados em testes práticos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Oficina de Robótica

A proposta da oficina é fornecer orientação técnica/tecnológica envolvendo os assuntos relacionados à eletroeletrônica, eletromecânica, programação de hardware e sensores, focando, estrategicamente, na produção de um robô protótipo. A escolha do protótipo deve ser simples e de grande difusão na literatura e na internet de modo a garantir a máxima autonomia de aprendizado aos participantes. Normalmente, a oficina acontece aos sábados e é coordenada pelos integrantes do PET AutoNet do IFMT. Além disso, a oficina recebe fomento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT).

Para o desenvolvimento da atividade são utilizados uma plataforma de um robô circular de 12,7 cm, microreductor de metal, suportes estendidos, bateria NiMH, rodas de 42x19 mm, plataforma de desenvolvimento Arduino Uno R3, sensores de refletância, ópticos e ultrassônicos, apostila de desenvolvimento e o software “fritzing”.

#### 3.2. Plataforma Arduino

O uso da plataforma Arduino (ARDUINO, 2012) facilita o desenvolvimento e o entendimento da atividade, haja vista que possui os dispositivos fundamentais para o funcionamento adequado do microcontrolador Atmega328 e, conseqüentemente, não é necessário projetar um circuito impresso especialmente para a atividade. A figura 2 ilustra esse componente.



Figura 2 – Plataforma Arduino (controlador).



Para o participante iniciante, a utilização desse componente é imediata e devido a linguagem de programação da plataforma Arduino ser facilitada, a mesma permite ao estudante programar o robô seguidor de trilha com PID de uma forma simples e sem complicações, permitindo o total entendimento da atividade que é realizada.

### 3.3. Apostila de Programação

Essa apostila foi estruturada (GAIER, 2012) com o propósito de fornecer familiaridade de uso da plataforma Arduino e de um guia para o desenvolvimento das atividades na oficina.

### 3.3. Software Fritzing

Trata-se de um software livre (FRITZING, 2012) que permite ensinar eletrônica, fornecendo um meio fácil de documentar o desenvolvimento dos protótipos. A figura 3 ilustra o uso deste software.

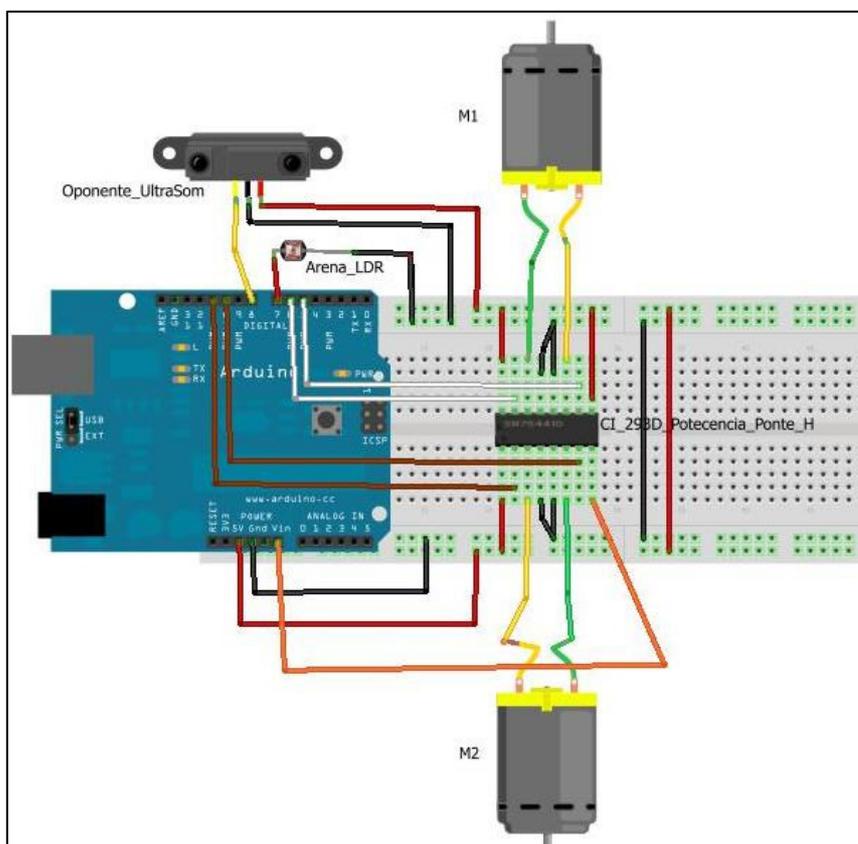


Figura 3 – Uso do software “fritzing”.

Na figura 3, os sensores ópticos estão conectados nas entradas digitais 8 e 9 e os sinais de controle dos motores são enviados pelas saídas 5, 6, 10 e 11. Essa plataforma é utilizada como meio de preparação para a abordagem do controle PID digital.



### 3.4. Sensores

Os sensores utilizados resumem-se em reflectância, ópticos e ultrassônicos. O uso de sensores de reflectância permite ao robô executar a ação de seguir determinado trajeto. Usando dois ou mais sensores de reflectância adquire-se uma média de reflectância da trilha, fornecendo os dados de entrada para o controle PID de maneira a manter o processo (robô) na referência desejada.

### 3.5. Microredutores 10:1

Os microredutores 10:1 de metal são um conjunto composto por um motor acoplado a um pequeno redutor. A escolha deste microreductor está condicionada a velocidade de rotação que é reduzida e, ao mesmo tempo, oferece torque de saída elevado.

### 3.6. Baterias

No projeto estão sendo usadas baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH) com 8,6 V e 900 mAh em decorrência da sua resistência a um número maior de cargas e descarga e suporta a variações de temperatura. Com isso, os robôs protótipos podem funcionar por um tempo maior.

### 3.7 Protótipo de teste

Ao longo da oficina os participantes têm a oportunidade de montar um protótipo semelhante ao da figura 4 (POLOLU, 2012).



Figura 4 – Protótipo para as aplicações de controle PID digital.

A base do robô é circular onde todos os componentes (microredutores, sensores, arduino, bateria) são fixados.

## 4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

A aplicação do método que utiliza e apresenta os conceitos de engenharia no âmbito do ensino médio está estruturada em duas etapas denominadas de “Etapa 1” e “Etapa 2”.

### **Etapa 1 – Preparação Técnica/Tecnológica usando o Controle Manual**

Nesta etapa, é realizada manualmente o controle dos movimentos dos motores M1 e M2. Para tanto, a estrutura ilustra na figura 5 é usada para verificar na prática os controles de movimentos dos motores M1 e M2.

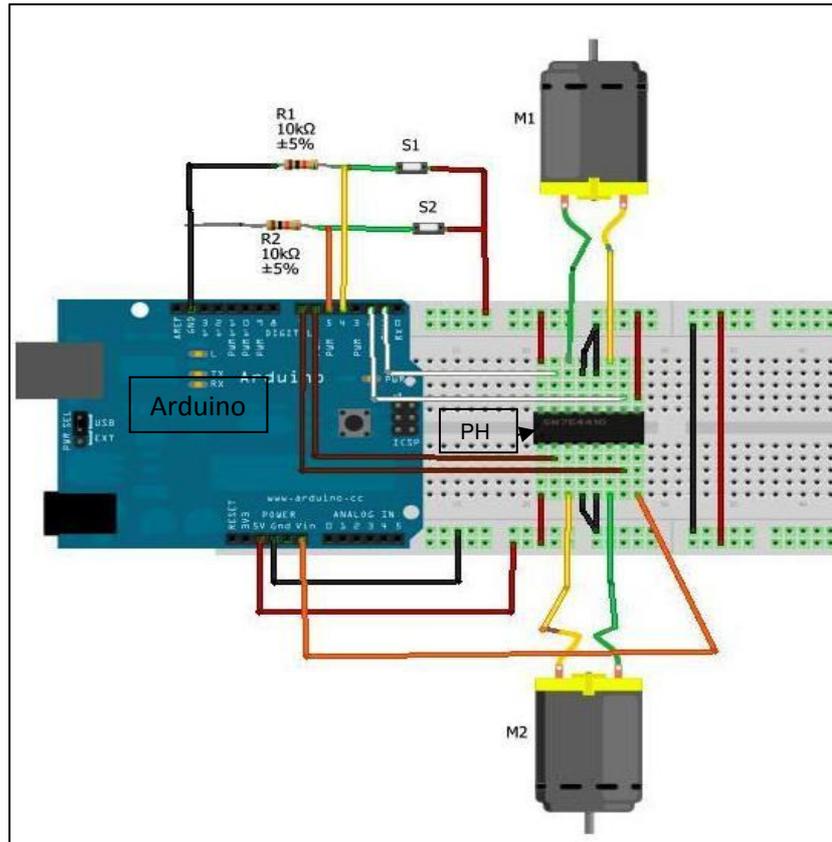


Figura 5 – Estrutura de teste para controle manual dos motores M1 e M2.

A estrutura de teste mostrada na Figura 5 é bastante simples e é composta por:

- S1 e S2 : Chaves liga-desliga (elementos de entrada).
- M1 e M2 : Motores DC (elementos de saída).
- R1 e R2 : Resistências de 10 KΩ.
- PH : Ponte H dupla por meio do CI 293D.

As entradas da plataforma Arduino, Figura 5, são “S1” e “S2” conectadas aos pinos digitais 4 e 5. Já os sinais de saída na mesma plataforma, referentes a ponte H, são enviados por meio dos pinos digitais 1 e 2, controles do motor M1, e pelos pinos digitais 6 e 7, controles do motor M2.

Essa situação é definida, sob o ponto de vista da programação, conforme ilustra a figura 6.

```
void setup()
{
  pinMode(4, INPUT); //definição da entrada s1
  pinMode(5, INPUT); // definição da entrada s2
  pinMode(1, OUTPUT); //SAÍDA M1
  pinMode(2, OUTPUT); // SAÍDA M1
  pinMode(6, OUTPUT); //SAÍDA M2
  pinMode(7, OUTPUT); // SAÍDA M2
}
```

Figura 6 – Programação para a definição das entradas e saídas da plataforma Arduino.



Para atingir o objetivo planejado pelo controle, os acionamentos das chaves S1 e S2 produzirão os movimentos desejados. As tabelas 1, 2 e 3 mostram as possibilidades de movimento de acordo com os sinais gerados pelos pinos (1 e 2; 3 e 4) de saída da Plataforma do Arduino.

Tabela 1 – Possibilidade de movimentos do motor M1.

Pinos de Saída do Arduino		Saída (Movimento) – M1
Pin 1	Pin 2	
0	0	Motor para
0	1	Rotação sentido antihorário
1	0	Rotação sentido horário
1	1	Motor para

Tabela 2 – Possibilidade de movimentos do motor M2.

Pinos de Saída do Arduino		Saída (Movimento) – M2
Pin 3	Pin 4	
0	0	Motor para
0	1	Rotação sentido antihorário
1	0	Rotação sentido horário
1	1	Motor para

Tabela 3 – Controle manual dos movimentos dos motores M1 e M2.

Pinos de Saída do Arduino				Resultado Movimento
Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	
0	0	0	0	para
0	0	0	1	curva pra atrás
0	0	1	0	curva pra frente
0	0	1	1	para
0	1	0	0	curva pra frente
0	1	0	1	pra trás
0	1	1	0	spin
0	1	1	1	curva pra trás
1	0	0	0	curva pra frente
1	0	0	1	spin
1	0	1	0	pra frente
1	0	1	1	curva pra frente
1	1	0	0	para
1	1	0	1	curva pra trás
1	1	1	0	curva pra frente
1	1	1	1	para

Os movimentos das tabelas 1, 2 e 3 são programados de acordo com a necessidade do controle. As figuras 7 e 8 trazem, como exemplo, o fragmento de programa para os movimentos de “parada” e “pra frente” dos motores.

```
void parar()
{
  Digitalwrite(1,0); //pino 1, “0” na saída
  Digitalwrite(2,0); // pino 2, “0” na saída
  Digitalwrite(3,0); // pino 3, “0” na saída
  Digitalwrite(4,0); // pino 4, “0” na saída }

```

Figura 7 – Programação da parada dos motores.



```
void prafrente()
{
    Digitalwrite(1,1); //pino 1, "1" na saída
    Digitalwrite(2,0); // pino 2, "0" na saída
    Digitalwrite(3,1); // pino 3, "1" na saída
    Digitalwrite(4,0); // pino 4, "0" na saída
}
```

Figura 8 – Programação de movimento “pra frente”

Os demais movimentos são programados de forma análoga aos mostrados nas figuras 7 e 8. A diferença está na alteração dos valores do segundo parâmetro da função “Digital write”.

A definição dos movimentos é obtida em função dos valores (0 e 1) das chaves S1 e S2. A tabela 4 ilustra quatro possibilidades.

Tabela 4 – Possibilidades de movimento.

Entrada de comando		Resultado do movimento
S1	S2	
0	0	para
0	1	Pra frente
1	0	Pra trás
1	1	spin

A tabela 4 é programada usando, por exemplo, o código ilustrado na figura 9.

```
int S1;
int S2;
void loop ()
{ // leitura do estado das chaves S1 e S2
    S1 = digitalRead(4);
    S2 = digitalRead(5);
    If ((S1 == 0)&&(S2 == 0)) //
    { // Se a sentença é verdadeira, chama a função “parar”
        parar();
    }
    else if((S1 == 0)&&(S2 == 1))
    // caso contrário, chama a função “prafrente”
    {
        prafrente()
    }
    //e assim por diante.....
}
```

Esse experimento garante uma melhor compreensão do controle automático de um processo. Facilmente, são demonstrados o controle de movimento dos motores, possibilitando uma introdução mais segura para o controle do processo automático.



## ETAPA 2 – Controle automático PID digital

Nesta etapa, são implementados todos os elementos que compõem a figura 1, controle industrial típico, isto é, o “controlador” é formada pela plataforma Arduino, os “atuadores” são constituídos pelos microredutores (saída), o “processo” é o protótipo do robô da figura 4, os “sensores” são do tipo óptico e a “referência” é a trilha. A programação do PID digital está baseada nas equações 3, 4 e 5 e (POLOLU, 2012). O objetivo do controle é manter o robô na trilha com menos oscilações possíveis.

Neste caso, o algoritmo consiste em:

- 1- Antes da execução do controle, o robô é calibrado com o objetivo de obter um valor médio de referência.
- 2- Os comandos de controle (passos de 3 a 9) estão localizados dentro de um loop infinito.
- 3- Posição atual. Para definir a posição do robô em relação à trilha (referência), o programa lê os valores oriundos dos sensores;
- 4- Parcela proporcional (P).  $\text{Proporcional (P)} = \text{posição atual} - \text{valor de referência médio (obtido no passo 1)}$ ;
- 5- Parcela integral.  $\text{Integral (I)} = \text{Integral Anterior (IA)} + \text{Proporcional (P)}$ ;
- 6- Parcela derivativa (D).  $\text{Derivativa (D)} = \text{Proporcional (P)} - \text{Proporcional Anterior (PA)}$ ;
- 7- Atualiza o proporcional Anterior.  $\text{Proporcional Anterior (PA)} = \text{Proporcional (P)}$
- 8- Constantes  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  são ajustadas diretamente nos testes práticos com o robô.
- 9- Soma das parcelas P, I e D para ajustar a velocidade dos motores M1 e M2.

As velocidades de rotação dos motores são ajustadas automaticamente pelo PID, definindo a todo instante a posição do robô em relação à trilha. O resultado desta aplicação pode ser visualizada em (POLOLU, 2012).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A robótica aliada aos sistemas de controle mostrou-se interessante, pois, permitiu uma abrangência de vários assuntos envolvendo a engenharia, tais como, Cálculo Diferencial, Álgebra Linear, Elementos de Máquinas, Máquinas Elétricas, Eletrônica Geral e Avançada, Eletrônica de Potência, Microcontroladores, Programação, entre outras disciplinas que são fundamentais na área de engenharia graças a estratégia de usar robôs como elemento catalisador, propiciando aplicações corriqueiras dos atuais engenheiros.

O estudo demonstrou, ainda, que utilizar robôs educacionais e empregar desafios como seguir trajetos específicos, facilitam a compreensão da aplicação da tecnologia, fazendo com que o estudante absorva com uma maior clareza os conteúdos empregados no ensino de engenharia.

Por fim, a metodologia do presente trabalho permitiu e garantiu a aplicação de diversos conceitos de várias áreas do conhecimento de forma integrada, fortalecendo a formação nos participantes de um espírito empreendedor e investigativo.

### *Agradecimentos*

*Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT); PET AutoNet/SESU – IFMT.*



## REFERÊNCIAS BIBOGRÁFICAS

- AGUIAR, Benedito G. Educação em Engenharia: Realidade Atual. XXXI Cobenge 2011.
- ARDUINO. Exemplos de aplicação. Disponível em: <http://www.arduino.cc/>. Acesso em mar. 2012.
- FRITZING. Software Open-source. Disponível em: <http://fritzing.org/>. Acesso em mar. 2012.
- GAIER, Micael B. Aprendendo a Programar em Arduino. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfCt8AE/aprendendo-a-programar-arduino> Acesso em: 16 mar. 2012.
- KRASS, Matt. Controle PID Digital. Disponível em: [http://team358.org/files/programming/PIDControlTheory\\_rev3.pdf](http://team358.org/files/programming/PIDControlTheory_rev3.pdf). Acesso em abr. 2012.
- OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010, ili.
- POLOLU. Imagem. Disponível em: <http://www.pololu.com/picture/view/0J1456> Acesso: 10 mai. 2012>
- POLOLU. Controle PID Digital. Disponível em: <http://www.pololu.com/docs/pdf/0J21/3pi.pdf> Acesso em mai. 2012>
- POLOLU. Aplicação PID Digital. Disponível em: <http://www.pololu.com/docs/0J32/2>. Acesso em: Fev. 2012>.
- SILVA, João M. G.. Controle PID Analógico. Disponível em: <http://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/node24.html> Acesso em abr. 2012.

## INTEGRATION WITH THE ENGINEERING HIGH SCHOOL EDUCATION THROUGH MOBILE ROBOT

**Abstract:** The aim of this paper is to present an extension activity at the interface with the research done with high school students as an alternative training technique/technology that community in order to foster and encourage the training of researchers, sparking the development of scientific knowledge these young people. Thus, the theme of "mobile robots" with a focus on control system was chosen to guide the practical work involving hardware and software. For the hardware were used resistors, LEDs, DC motors and Arduino microcontroller as an element of control of external hardware. Although electronic devices and electrical connections are very simple, free software "Fritzing" was used to facilitate the step by step electrical connections. In addition, PET has prepared a handbook AutoNet directed to specific target audiences. In the book, the practices were structured in a simple language and with many detailed examples. The technical/technological occurred through the workshop. At first, students practice and "feel" the manual control of motors, that is, implement a computer program in Arduino, control element, which has as input data, the information transmitted by optical sensors and sonar. These data are processed and sent to the motors. Thus, participants check the control direction of rotation, speed and stopping the engine. Later, concepts are implemented PID automatic control via digital teaching kit. Right now, robots prototypes are transformed into "followers of track", where the trail is the reference system to be controlled (robot).

**Key-words:** *mobile robotics, digital PID control, a follower of track.*