



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## CONTROLADOR PID APLICADO A UMA PLATAFORMA DIDÁTICA

**Christopher Sauer**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI  
kikisauer@gmail.com

**Manuel M. P. Reibold**

Professor do curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI  
manolo@unijui.edu.br

**Elisiane Pelke Paixão**

Acadêmica do curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI  
elisianep251@gmail.com

**João Vitor das Chagas Silva**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI  
joaovitor753pw@gmail.com

**Resumo.** *Controle de Sistemas destaca-se por ser uma área de grande relevância científica, propondo soluções para diversas áreas tecnológicas. O alto grau de abstração no sistema de ensino da disciplina, no entanto, dificulta o entendimento por parte dos estudantes. Este trabalho apresenta a proposta de uma plataforma didática que visa ao aprimoramento do ensino, fazendo a conexão entre teoria e prática. A metodologia se desenvolve a partir da construção da plataforma e implementação de um controlador PID, e posterior análise dos resultados por meio de uma interface gráfica. Os resultados obtidos são uma contribuição ao sistema de ensino da academia.*

**Palavras-chave:** *Controle, Plataforma, Arduino.*

### 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata do ensino de Controle de Sistemas na universidade, através do uso de uma plataforma didática. A disciplina destaca-se por ser uma área de grande relevância científica, o que torna seu

aprendizado essencial para os estudantes de cursos de Engenharia. Isso pressupõe o ensino, não apenas da teoria, mas também de sua aplicação. Uma plataforma didática surge como auxílio importante no contexto do ensino.

A plataforma consiste em uma gangorra com motores em cada extremidade. A variação da velocidade dos motores varia o ângulo da gangorra, sendo possível selecionar um ângulo desejado e observar a resposta do sistema conforme o ajuste acontece.

No sistema atual de ensino, a disciplina de Controle trabalha com um alto grau de abstração, ficando a teoria desconectada da prática. O uso de uma plataforma didática fará a conexão abstrato-concreto, o que irá melhorar o entendimento da disciplina por parte dos alunos.

Nesse contexto, este trabalho investiga a implementação de um controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) em uma plataforma didática, visando o estudo da resposta do sistema. A estratégia passa pelo uso de uma interface gráfica que permite observar e analisar o resultado. A contribuição deste trabalho está em facilitar o entendimento dos alunos de Controle,

promovendo a motivação e melhorando o desempenho dos mesmos na disciplina.

O texto deste artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 estabelecem-se os conceitos básicos do controlador PID. A seção 3 contém a metodologia. Na seção 4 são apresentados os resultados e na seção 5 sua discussão.

## 2. CONTROLADORES PID

A finalidade de um sistema de controle é manter um sinal específico em sua saída, ou seja, sobre o processo que está sendo controlado. Um sistema de controle em malha fechada é aquele que possui realimentação para que a saída atinja o valor desejado.

Há várias maneiras de se implementar um controlador em malha fechada, sendo que o controlador PID é o mais utilizado na indústria. Trata-se de um controlador composto por três termos aos quais o sinal de erro é aplicado: proporcional, integral e derivativo. O controlador PID pode ser descrito através da Eq. (1).

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

Onde:  $u(t)$  é o sinal de controle,  $e(t)$  é o sinal de erro e  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  são os ganhos de cada termo. Cada um dos termos do controlador contribui individualmente para o sinal de controle final. A representação do controlador PID em diagrama de blocos é ilustrada na Fig. 1.

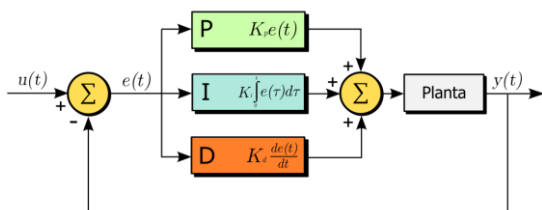


Fig. 1 – Diagrama de blocos do controlador PID

Um conceito essencial no estudo de um sistema de controle é o de desempenho. De

acordo com Ogata [3], as especificações de desempenho podem ser dadas em termos de requisitos de regime transitório e estacionário. Para uma entrada degrau, há alguns requisitos, como: máximo *overshoot*, tempo de subida, tempo de acomodação e erro estacionário.

Ainda de acordo com a Ref. [3], o processo de selecionar parâmetros do controlador que garantam dada especificação de desempenho é conhecido como sintonia. A sintonia é feita variando-se os ganhos  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  até que se obtenha a resposta ideal.

Dentre os métodos de sintonia que não exigem o conhecimento do modelo matemático do sistema, pode-se citar o método de Ziegler e Nichols [4], que utiliza a resposta ao degrau e regras empíricas para a obtenção dos parâmetros do PID. Astrom e Hagglund [1] desenvolveram o método do relé, que utiliza oscilações limitadas para obter os parâmetros, também conhecido como *autotuning*.

## 3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada neste trabalho caracteriza-se por ser analítica e de caráter experimental. Utiliza o método dedutivo, a observação sistemática e a realização de testes.

Definiu-se a implementação do controlador PID como a digital. Assim, a lei do PID é dada na forma de uma equação de diferenças, com um tempo de amostragem fixo. Essa equação é posteriormente implementada no microcontrolador.

A estrutura da plataforma é feita com canos de PVC, e em sua parte superior conecta-se a gangorra por meio de rolamento. A gangorra é composta de alumínio e conta com adaptadores nas extremidades para os motores. O *hardware* é composto de dois motores *brushless* Turnigy, de 1400 Kv, dois ESC's Turnigy Plush de 30 A e um sensor MPU6050, que contém acelerômetro de 3 eixos e giroscópio de 3 eixos. Por fim, o Arduino Uno como microcontrolador.

O algoritmo de controle é implementado na linguagem C, e utiliza a biblioteca PID. A leitura do sensor é feita via protocolo i2c. O sensor MPU6050 possui integrado no *chip* um processador digital de movimento DMP (*Digital Motion Processing*), que faz a fusão dos dados de acelerômetro e giroscópio. Assim, obtém-se em sua saída os dados de movimento em 3 eixos: rolagem (*roll*), arfagem (*pitch*) e guinada (*yaw*). Isso elimina a necessidade de processamento extra por meio de filtros. A leitura dos dados do sensor é feita com auxílio da biblioteca *i2cdev*. O PID recebe um ângulo desejado como *setpoint* e o ângulo lido pelo sensor, e processa o sinal de erro, que é a diferença entre os dois. A saída do controlador é então mapeada para o *duty cycle* do sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) que é enviado aos ESC's (*Electronic Speed Controller*). Dessa forma, a malha de controle é estabelecida pelo programa.

A obtenção dos dados é feita através de um programa desenvolvido por Brett Beauregard, na linguagem Processing. É possível visualizar os gráficos do *setpoint*, sinal de erro e saída do controlador em tempo real, enquanto as mudanças ocorrem no sistema.

#### 4. RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a plataforma didática como primeiro resultado obtido.

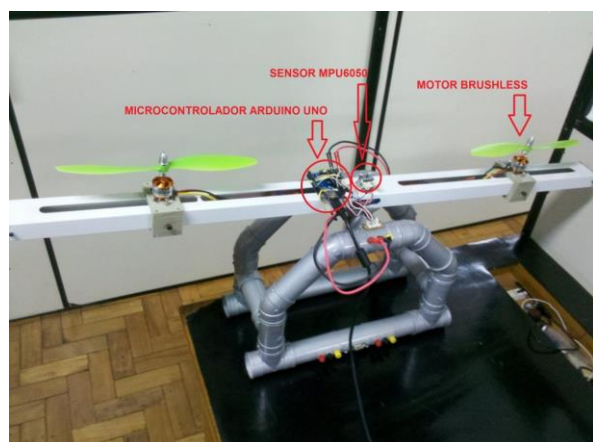


Fig. 2 – Plataforma desenvolvida para ensaios

Como segundo resultado tem-se o *software*, que processa os dados do sensor e calcula a saída do PID. O módulo DMP do sensor possui um *buffer* de memória FIFO (*First In, First Out*), que é preenchido com dados a uma taxa fixa de 10ms. Quando o *buffer* está completo, é gerada uma interrupção, permitindo ao microcontrolador receber os dados na mesma taxa. Isso garante que o tempo de execução do código do controlador seja fixo.

A Tabela 1 permite ver a variação real da saída do sistema. O sinal do sensor indica o quão próxima a saída está em relação ao *setpoint*. Também é possível ver o tempo de execução de cada loop do PID.

Tabela 1 – Resultados de execução do loop de controle PID

<i>Setpoint</i> (graus)	Sinal do sensor (graus)	Intervalo de tempo (ms)
0	0.06	10
0	0.04	9
0	0.02	10
0	-0.03	10
0	-0.02	10
0	0.02	10

A saída do controlador é mapeada para um sinal PWM adequado ao ESC, que por sua vez gera o sinal adequado para o motor. A granularidade obtida com o sinal PWM é de 1/20000, resultante da programação do registro do *timer1* do microcontrolador que define a frequência. Garante-se assim boa precisão do sinal, com *duty cycle* entre 10% e 20%. A frequência do PWM obtida para essa programação do *timer1* foi de 100Hz.

O programa de interface gráfica se comunica com o controlador via *serial*, permitindo que o programa envie dados ao Arduino e altere o estado de algumas variáveis do controlador, como o *setpoint* e os parâmetros Kp, Ki e Kd.

Na Figura 3 é possível ver o software em operação. A janela superior apresenta o *setpoint*, em verde, e o sinal do sensor, em vermelho. A janela inferior apresenta a saída

do controlador, em azul, antes de ser mapeada para o PWM.

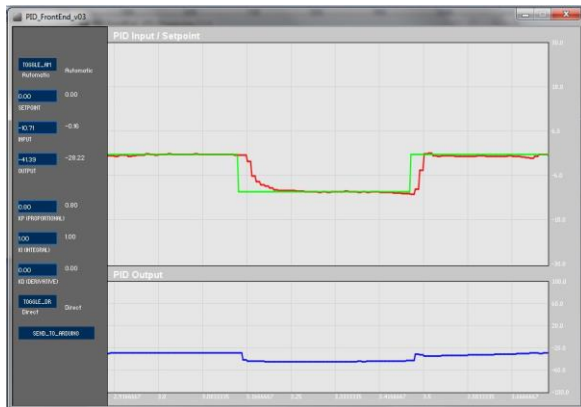


Fig. 3 – Resultado de um teste de mudança de *setpoint*

## 5. DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram a precisão do controlador, ao manter o sinal de saída muito próximo do *setpoint*. O gráfico obtido na Fig. 3 demonstra a resposta do sistema a uma entrada degrau. É possível analisar a parte concreta – a gangorra – e abstrata – a resposta gráfica – simultaneamente, associando o resultado ao que foi visto no estudo da teoria de Controle. É possível também aplicar degraus de diferentes amplitudes e observar a resposta, assim como injetar uma perturbação externa no sistema e observar a capacidade de rejeição do controlador. Os parâmetros  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  podem ser atualizados em tempo real, permitindo ver como diferentes combinações de valores influem no desempenho do sistema.

Entre as possíveis melhorias está a inclusão de diferentes métodos de sintonia para o controlador PID e a adição de uma interface para fazer essa sintonia.

Como comparação, pode-se citar o trabalho de Martin e Kassab Junior [2], que descrevem um trocador de calor como ferramenta didática. Foi desenvolvido um software didático para auxiliar os estudantes de controle, possibilitando o uso para os diversos cursos de Engenharia.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à UNIJUÍ e ao GAIC (Grupo de Automação Industrial e Controle) o apoio e a estrutura fornecidos.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] K.J. Astrom e T. Haggglund, “Automatic Tuning of Simple Regulators with Specifications on Phase and Amplitude Margins,” International Federation of Automatic Control, v. 20, n. 5, p. 645-651, 1984.
- [2] P.A. Martin e F. Kassab Junior, “Uso de Trocador de Calor como Ferramenta Didática para o Ensino de Modelagem e Sistemas de Controle,” Revista de Ensino de Engenharia, v. 25, p. 3-9, 2006.
- [3] K. Ogata, Engenharia de Controle Moderno, 5 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010. 809 p.
- [4] J.G. Ziegler e N.B. Nichols, “Optimum Settings for Automatic Controllers,” The American Society of Mechanical Engineers, p. 759-768, 1942.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da plataforma didática na disciplina de Controle de Sistemas visa aprimorar o ensino no âmbito dos cursos de Engenharia, buscando a melhoria do desempenho dos estudantes. O uso de um controlador PID permite a implementação de uma malha fechada de controle, e a interface gráfica auxilia os alunos na análise da resposta do sistema. Os resultados demonstram a validade da metodologia, assim como a utilidade da plataforma proposta. As implicações são de interesse, tanto para educadores, como para estudantes, pois ambos obterão benefício pelo uso da plataforma. As perspectivas são de que a idéia possa ser reconhecida em seu valor, e que a preocupação com o ensino de qualidade possa ser retomada, particularmente na disciplina de Controle de Sistemas, no âmbito acadêmico.