



## SISTEMA DIDÁTICO COM INTEGRAÇÃO LABVIEW E ARDUINO PARA O ENSINO DE ENGENHARIA: IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS

**Rodrigo Tomasi** – rodrigotomasi@gmail.com  
Joinville – Santa Catarina

**Nestor Roqueiro** – nestor.roqueiro@ufsc.br  
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Automação e Sistemas  
Cx. Postal 476  
88040-900 – Florianópolis – Santa Catarina

**Resumo:** *O presente artigo propõe uma ferramenta didática para o ensino e aprendizagem de práticas fundamentais na formação de Engenheiros nos campos de controle, automação e elétrica. Através da utilização da interface aberta Arduino e do software supervisor LabView<sup>®</sup>, o trabalho desenvolvido apresenta um sistema computacional integrado ao hardware para realizar as tarefas de aquisição de dados, identificação e controle de processos, com o qual é possível escolher diferentes métodos de identificação da dinâmica do processo utilizando modelos de primeira ordem com atraso de transporte (FOPDT, First-Order Plus Dead Time), bem como diferentes métodos para a estimação dos parâmetros de um controlador do tipo PI (Proporcional-Integral). A utilização do ambiente computacional integrado ao hardware permite que essas atividades possam ser validadas e realizadas iterativamente até que se alcance resultados conclusivos sobre os diferentes métodos. O material desenvolvido oferece ao estudante contato direto com a realidade prática em controle automático de processos, e como consequência, desperta neles o interesse a esse amplo e fundamental campo do conhecimento.*

**Palavras-chave:** *Ensino, Controle, Identificação de processos, Labview, Arduino.*

### 1. INTRODUÇÃO

De fundamental importância para os cursos de Engenharia das áreas Elétrica, Controle e Automação, a formação em modelagem e controle de processos acaba por ficar superficial quando não ocorre a abordagem experimental/prática que a Engenharia requer. Isso se dá por diferentes motivos: sistemas e processos indisponíveis, custos relacionados ao desenvolvimento ou aquisição de experimentos mais elaborados, ferramentas pouco didáticas e que requerem bom conhecimento dos usuários.

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





Tendo em vista que cabe ao Engenheiro identificar o processo a ser controlado e elaborar o ajuste adequado dos parâmetros do controlador, a utilização de ferramentas didáticas de fácil utilização e compreensão permite ao estudante uma formação mais abrangente, colocando-o em contato com problemas reais de projetos de controladores. Essa primeira experiência dá ao futuro Engenheiro diretrizes e uma sequência de passos para a realização de experimentos que serão a base para a correta operação do sistema de controle no campo.

A escolha do melhor método de controle depende de vários fatores, mas pelos bons resultados que apresentam no controle dos mais variados processos, os controladores do tipo PI são os mais utilizados na indústria. Ao longo dos anos, muitos métodos para projeto de controladores PI foram desenvolvidos e estão amplamente difundidos na literatura. Muitos destes métodos têm como base modelos que descrevem o processo por uma dinâmica FOPDT (COELHO; COELHO, 2004). Isso se deve pela simplicidade e boa aproximação com a dinâmica real do processo, sendo que a estimação dos poucos parâmetros que definem o modelo é obtida aplicando-se no processo sinais de excitação facilmente disponíveis na prática (LJUNG, 1999); (SEBORG et al., 2010).

Neste contexto, este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um ambiente computacional para a prática e ensino de modelagem de processos e projeto de controladores PI através de ajuste paramétrico. O ambiente computacional possui uma interface gráfica de fácil utilização, desenvolvida no *software* LabView<sup>®</sup>, amplamente utilizado na indústria para monitoramento e controle. Para fixação do conhecimento, o ambiente LabView<sup>®</sup> permite comunicação com o meio externo através da placa Arduino, plataforma *open-source* para programação e validação de conceitos em muitos campos da Engenharia, permitindo assim a utilização das técnicas de identificação e controle em um sistema real. A validação do trabalho desenvolvido é feita por um estudo de caso experimental realizado em um processo de posicionamento angular controlado por micro-ventilador.

O artigo está assim dividido: a Seção 2 apresenta uma breve abordagem teórica sobre modelagem para sistemas FOPDT e ajuste paramétrico do controlador PI; na Seção 3 apresenta-se com mais detalhes o ambiente computacional desenvolvido, com seu aspecto funcional e o estudo de caso implementado (aplicação prática); as conclusões e considerações acerca de futuras perspectivas são apresentadas na Seção 4.

## **2. MODELAGEM FOPDT E PROJETO DO CONTROLADOR PI**

Nesta seção apresenta-se uma breve descrição teórica sobre alguns métodos de modelagem para processos de primeira ordem FOPDT, bem como os métodos utilizados neste trabalho para o projeto e sintonia do controlador PI utilizando o modelo estimado.

### **2.1. Modelagem FOPDT**

Muitos modelos de processos industriais podem ser obtidos por vários métodos de resposta ao degrau. A resposta ao degrau pode ser aproximada por uma equação característica (função de transferência) do tipo FOPDT, tal como

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



**UNISOCIESC**  
Educação e Tecnologia

Promoção



**ABENGE**  
Associação Brasileira de Educação em Engenharia



$$G(s) = \frac{k_p e^{(-\theta s)}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

onde  $k_p$  é o ganho estático,  $\tau$  é a constante de tempo e  $\theta$  é o atraso de transporte, parâmetros que podem ser obtidos experimentalmente através da resposta ao degrau do processo, facilmente aplicável na maioria dos processos industriais (COELHO; COELHO, 2004).

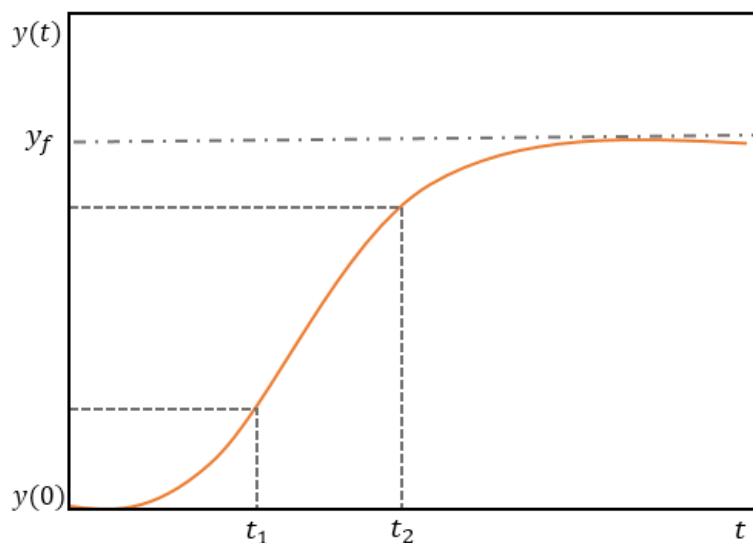
O ganho estático  $k_p$  é obtido por  $k_p = \frac{y(\infty) - y(0)}{u(\infty) - u(0)}$ . As demais constantes descritas em (1) podem ser obtidas através de um dos métodos mostrados na Tabela 1 (SUNDARESAN; KRISHNASWAMY, 1978), (ASTRÖM; HÄGGLUND, 2006).

Tabela 1 – Métodos de identificação FOPDT.

Método	$\theta$	$\tau$	$t_1$	$t_2$
Smith-Corripio	$\theta = 1,5t_1 - 0,5t_2$	$\tau = 1,5(t_2 - t_1)$	$0,283y_f$	$0,632y_f$
Sundaresan-Krishnaswamy	$\theta = 1,3t_1 - 0,29t_2$	$\tau = 0,67(t_2 - t_1)$	$0,353y_f$	$0,853y_f$

Os tempos  $t_1$  e  $t_2$  e o valor final da saída  $y_f$  da Tabela 1 são graficamente expressos pela Figura 1.

Figura 1 – Identificação dos instantes para a modelagem FOPDT.



## 2.2. Projeto do Controlador PI

Largamente aplicado na indústria para controle dos mais variados processos, o controlador PI apresenta boa eficiência na resposta em malha fechada e contorna muitos problemas de controle em processos com atraso de transporte. Esta popularidade se dá principalmente por sua simplicidade de implementação e ajuste de parâmetros, hoje disponível de forma digital e iterativa em quase todos os equipamentos de controle da indústria. O



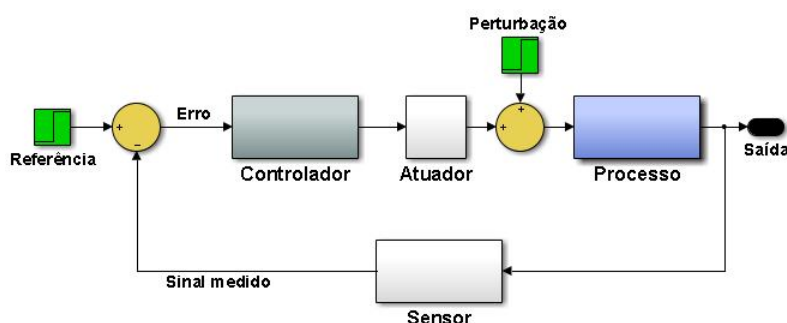
controlador PI ideal é descrito pela seguinte função de transferência:

$$u(t) = k_c \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right\} \Rightarrow C(s) = k_c \left\{ 1 + \frac{1}{T_i s} \right\} \quad (2)$$

onde  $u(t)$  é o sinal de controle,  $e(t) = r(t) - y(t)$  é o erro entre a referência desejada  $r(t)$  e o sinal de saída do processo  $y(t)$ ,  $k_c$  é o ganho proporcional e  $T_i$  o tempo integral.

Utilizado no processo a ser controlado, o controlador PI é projetado para que a saída atenda a requisitos de desempenho, introduzindo na entrada do processo uma ação de controle automática, capaz de garantir a operação em diversas condições, como seguimento de trajetórias e rejeição à perturbações. A Figura 2 exemplifica um sistema de controle automático (malha fechada).

Figura 2 – Processo de controle em malha fechada.



A análise e o projeto de sistemas para o controle dos mais diversos processos avançaram o estudo e o desenvolvimento de muitas teorias e estratégias de controle. Isso é observado tanto para estratégias mais avançadas e modernas quanto para os clássicos controladores PI. No presente trabalho são apresentados alguns métodos que aproximam as constantes do PI ideal em (2) através do modelo do processo FOPDT. Os métodos de sintonia que estão disponíveis no ambiente computacional são Ziegler-Nichols e Cohen-Coon, onde os parâmetros  $k_c$  e  $T_i$  de (2) são obtidos pelas relações apresentadas na Tabela 2 (RAO; SUBRAMANYAM; SATYAPRASAD, 2014).

Tabela 2 – Métodos de projeto do controlador PI.

Método	$k_c$	$T_i$
Ziegler-Nichols	$1, 2 \frac{\tau}{k_p \theta}$	$2, 2 \theta$
Cohen-Coon	$\frac{\tau}{k_p \theta} \left( \frac{4}{3} + \frac{\tau}{4 \theta} \right)$	$\theta \left( \frac{32 + 6 \frac{\tau}{\theta}}{13 + 8 \frac{\tau}{\theta}} \right)$

### 3. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Nesta seção são apresentados os detalhes construtivos e operacionais relacionados a este trabalho. Apresenta-se inicialmente o processo real utilizado e uma breve descrição sobre seu funcionamento, e posteriormente a interface computacional desenvolvida em LabView®, a qual integra o processo e sistema de controle através da placa Arduino<sup>1</sup>.

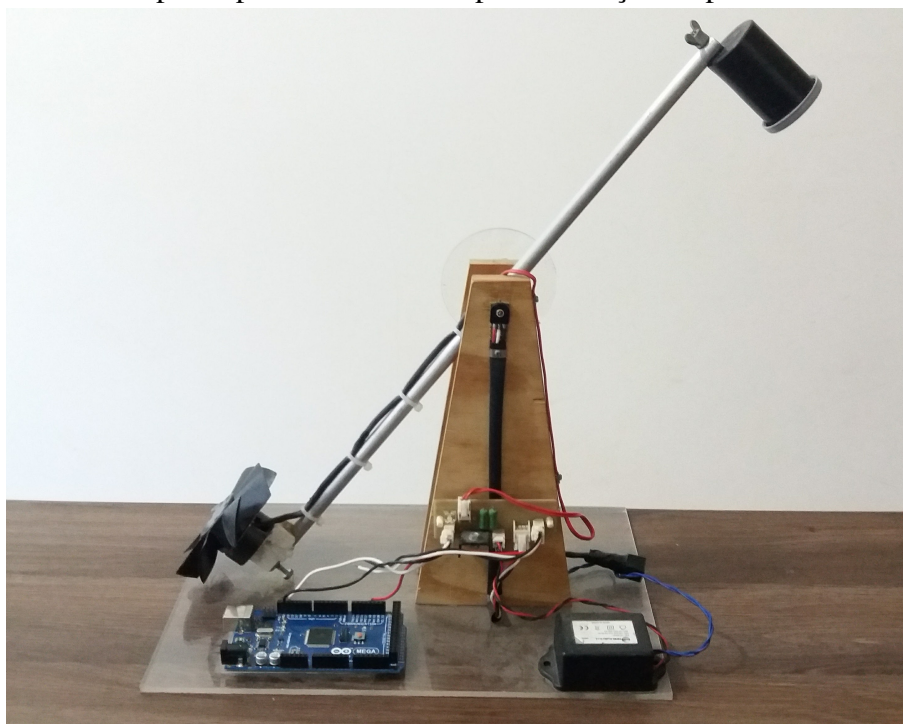
<sup>1</sup>Para comunicação entre LabView® e Arduino é necessária a instalação do *toolkit* “LabView Interface for Arduino”, disponível no site da National Instruments.



### 3.1. Processo Estudo de Caso

Para a realização e validação do experimento foi utilizado um processo de posicionamento angular atuado por um micro-ventilador, mostrado na Figura 3. O motor do micro-ventilador é comandado por um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*). Este sinal provém de uma das saídas digitais do Arduino, que é amplificado por um transistor para ser aplicado ao motor. A velocidade do motor pode então ser controlada através da razão cíclica (*duty cycle*) do PWM.

Figura 3 – Protótipo do processo utilizado para validação da plataforma.



O sistema de controle precisa conhecer a posição angular (saída do processo) de elevação do braço que sustenta o motor para realizar a correção na posição e também para o levantamento das informações necessárias à modelagem. Essa tarefa é executada por um potenciômetro acoplado ao eixo do braço, cujo sinal de tensão é equivalente à posição e informado ao sistema de aquisição por uma entrada analógica do Arduino. O curso total da posição é equivalente a 90 graus.

Por ser um sistema bastante simples, o custo de sua confecção é baixo e os componentes podem ser facilmente encontrados. Vale ressaltar que o comportamento de tal sistema é não-linear, deste modo os testes que serão realizados neste trabalho se limitam a faixas restritas de operação e sem excitações ou perturbações demasiadamente elevadas.

### 3.2. Ambiente Computacional para Modelagem e Controle

O ambiente computacional foi implementado no *software* LabView®. Esta ferramenta apresenta uma vasta interface gráfica, tornando o ambiente de ensino e aprendizagem amigável e intuitivo ao aluno. Optou-se por utilizar uma lógica sequencial e estru-



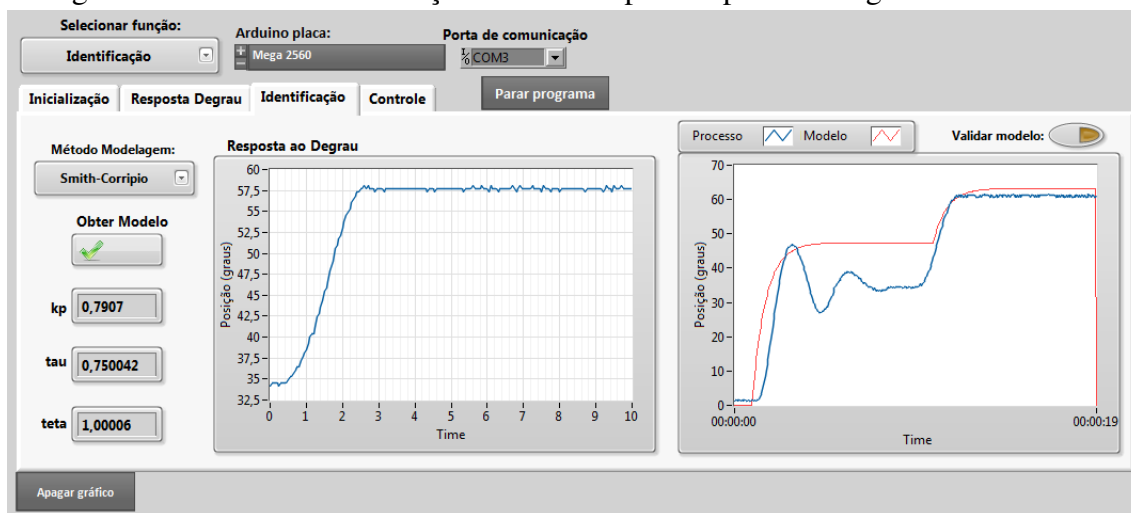


rada para a correta realização dos experimentos, porém o usuário pode escolher etapa que necessita para a realização do experimento sem ter que realizar os passos anteriores novamente.

O ambiente permite a navegação em diferentes etapas, desde o teste inicial do sistema (verifica comunicação LabView<sup>®</sup>/Arduino e faz um teste funcional com o processo, caso o usuário necessite), passando pela resposta ao degrau e posterior identificação do modelo, finalizando com o projeto e implementação do controlador. O usuário tem ainda a liberdade de definir a porta de comunicação, o tipo da placa Arduino e as portas I/O de conexão com o processo (canais analógicos e saídas PWM).

Na Figura 4 é mostrada a janela de identificação do processo, onde o usuário pode escolher um dos métodos descritos na Tabela 1 para a estimação do modelo FOPDT. Além dos dados obtidos com o sistema anteriormente apresentado, o usuário também pode carregar dados de outro processo e utilizar o ambiente desenvolvido para estimar o modelo FOPDT, não restringindo a utilização do ambiente apenas ao processo apresentado neste trabalho (tal implementação se encontra na aba “Resposta ao Degrau”).

Figura 4 – Janela de identificação do modelo pela resposta ao degrau.



No ambiente desenvolvido o usuário seleciona um dos métodos da Tabela 1. Com os dados do processo e com a escolha de um dos métodos de identificação disponíveis no *software*, o botão “Obter Modelo” disponibiliza ao usuário todos os parâmetros estimados para o modelo FOPDT: o ganho estático  $k_p$ , a constante de tempo  $\tau$  e o atraso de transporte  $\theta$ . O usuário pode ainda validar o processo, ou seja, utilizar o modelo estimado e compará-lo à resposta real proveniente do processo, inserindo as mesmas condições de excitação na entrada do sistema (ver Figura 4).

No resultado apresentado na Figura 4 se pode ver que os dados carregados para a identificação (gráfico Resposta ao Degrau) estão em uma região intermediária da posição do braço (35 a 57 graus). Isso pois é essa a faixa de operação desejada e cuja resposta apresenta comportamento de primeira ordem. Isso se reflete na validação do modelo, onde se observa erro acentuado entre processo e modelo quando o sistema é excitado inicialmente (comportamento de segunda ordem, não modelado). Já nos segundo patamar

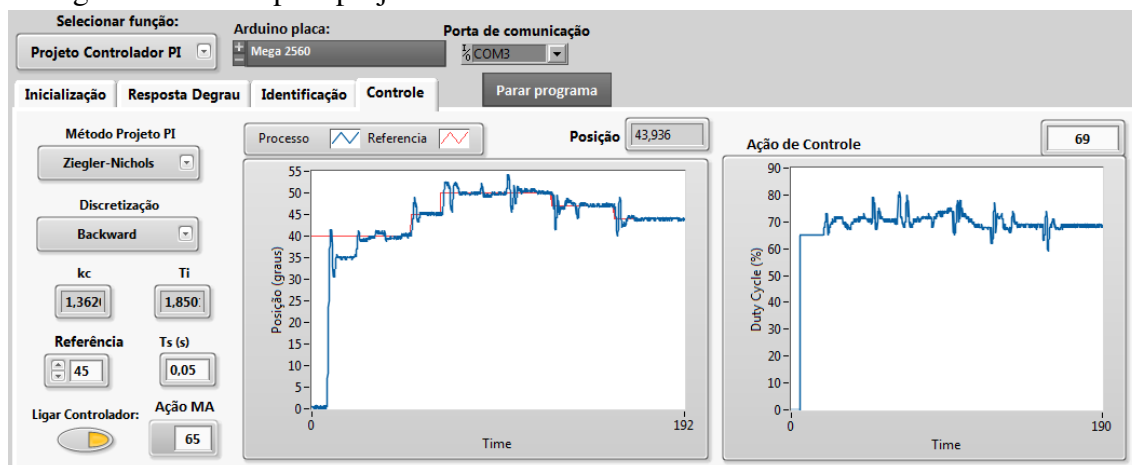


de posição angular (em torno de 60 graus) o modelo se mostra coerente ao processo real identificado.

Com o modelo FOPDT obtido, o usuário pode navegar para uma nova janela onde é possível realizar diferentes sintonias do controlador PI através dos métodos da Tabela 2. Também é possível escolher qual o método de discretização para o controlador: *Trapezoidal*, *Backward* e *Forward* (CHEN, 1995). Ambas configurações estão na janela “Controle”.

A Figura 5 mostra a aba disponível para o projeto do controlador. Além do método de projeto e discretização do modelo, o usuário pode definir uma ação de controle em malha aberta, a referência e o tempo de amostragem ( $T_s$ ) para o controlador. Após a escolha dos métodos são mostrados os valores calculados de  $k_c$  e  $T_i$  para que o usuário possa implementar o controlador no Arduino (ou outra plataforma) sem o auxílio de um computador. A interface com o usuário ainda dispõe dos sinais de controle aplicado e saída do processo em forma gráfica.

Figura 5 – Janela para projeto do controlador PI.



Para validar e ilustrar o potencial da interface desenvolvida, a Figura 5 apresenta também o resultado real do controlador projetado através de um dos métodos disponíveis. É possível iniciar o processo em malha aberta e habilitar o controlador (como foi o caso), dar degraus na referência e observar a atuação do controlador em diferentes dinâmicas, incluindo perturbações. A apresentação gráfica permite também que o usuário exporte e salve os dados para posterior análise e validações pertinentes.

#### 4. CONCLUSÕES

Tanto o protótipo do sistema quanto o *software* de aquisição e controle baseado em LabView® desenvolvidos neste trabalho permitem uma abordagem mais ampla e prática aos estudantes de diferentes níveis de instrução, aliando assim grande parte dos conhecimentos teóricos adquiridos no curso de Engenharia e preparando-os para a realidade científica e tecnológica. O desenvolvimento de conhecimentos nas ferramentas apresentadas visa também contribuir para a melhora das práticas pedagógicas nos cursos de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica, conectando diferentes campos



do saber e dando ao estudantes a real dimensão entre teoria e prática na área de controle de processos.

Ainda, o trabalho desenvolvido permite um vasto campo de aplicações em diferentes disciplinas ministradas durante o curso. Tanto o sistema supervisor quanto o *hardware* desenvolvidos podem ser alterados e readequados para outros fins, abrindo possibilidades para novos desenvolvimentos e melhorias. Muitos outros processos reais podem ser identificados e validados na plataforma desenvolvida, ou utilizá-la apenas como ferramenta de identificação do modelo e projeto do PI, dada a disponibilidade de utilização de dados externos.

A utilização da plataforma Arduino também permite que os estudantes consigam elaborar o código de controle diretamente na placa de desenvolvimento, utilizando o sistema desenvolvido em LabView® apenas para modelagem e obtenção dos parâmetros do controlador (validação *in loco*). A característica *Hardware-In-The-Loop* torna essas tarefas bastante interessantes pois disponibiliza em tempo real as alterações de parâmetros e variáveis ligadas ao processo.

A abordagem prática (e didática) de várias etapas do processo de controle automático, desde a identificação da dinâmica do sistema até o projeto e implementação do controlador, torna as aulas teóricas mais interessantes e dinâmicas e desperta o interesse do aluno nos estudos e nas práticas relacionadas e subsequentes, fundamentais para o ensino e aprendizagem no vasto campo da Engenharia, no controle e na automação de processos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTRÖM, K. J.; HÄGGLUND, T. *Advanced PID control*. [S.l.]: ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2006.

CHEN, C.-T. *Analog and digital control system design: transfer-function, state-space, and algebraic methods*. New York, USA: Oxford University Press, Inc., 1995.

COELHO, A. A. R.; COELHO, L. dos S. *Identificação de sistemas dinâmicos lineares*. Florianópolis, Brasil: Editora UFSC, 2004.

LJUNG, L. *System identification: Theory for the user*. Boston, USA: Wiley Online Library, 1999.

RAO, P. G. K.; SUBRAMANYAM, M.; SATYAPRASAD, K. Study on pid controller design and performance based on tuning techniques. In: IEEE. *Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), 2014 International Conference on*. Kanyakumari, India, 2014. p. 1411–1417.

SEBORG, D. E. et al. *Process dynamics and control*. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, 2010.

SUNDARESAN, K.; KRISHNASWAMY, P. Estimation of time delay time constant parameters in time, frequency, and laplace domains. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Wiley Online Library, v. 56, n. 2, p. 257–262, 1978.

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



**UNISOCIESC**  
Educação e Tecnologia

Promoção



**ABENGE**  
Associação Brasileira de Educação em Engenharia





## LABVIEW AND ARDUINO INTEGRATION SYSTEM FOR ENGINEERING TEACHING: PROCESS IDENTIFICATION AND CONTROL

**Abstract:** *This article proposes a didactic tool for teaching fundamental practices in the engineering fields of electric and automation. Through the use of the open-source Arduino interface and the LabView® environment, this work presents a computer system integrated to the hardware to perform the data acquisition, identification and control of a real process, allowing to choose different methods to identify the process model using first-order plus dead time (FOPDT) dynamic, as well as two methods for design a PI (Proportional-Integral) controller. Using runtime system allows these activities to be validated and performed iteratively to achieve the desired results. This tool offers the student the practical approach, and as a consequence, the desire to learn this fundamental field of knowledge.*

**Key-words:** *Education, Control, Process identification, Labview, Arduino.*

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



**UNISOCIESC**  
Educação e Tecnologia

Promoção



**ABENGE**  
Associação Brasileira de Educação em Engenharia