

## **SOFTWARE VIA WEB DESENVOLVIDO EM UTILIZANDO ABORDAGEM FOSS PARA ENSINO DO CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**Geraldo Furtado Neto** - geral\_net@yaho.com.br

**Anderson Tavares Machado** - anderson.kta@gmail.com

**Marlon José do Carmo** - marloncarmo@ieee.org

**Ângelo Rocha Oliveira** - a.oliveira@ieee.org

**Lindolpho Oliveira de Araújo Júnior** - lindolph@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus III

Rua José Peres, 558 – Centro.

36700-000 – Leopoldina – MG

***Resumo:** No estudo de engenharia é de extrema necessidade a sinergia entre a prática é a teoria, ou seja, permitir que o estudante vislumbre de forma aplicada os conceitos passados pelos educadores. Existem muitos softwares para a simulação de processos, mas estes estão restritos a um grupo de pessoas ou são comercializados. A internet é um meio de comunicação que permite a disseminação rápida e livre de diferentes conteúdos, ampliando a rede de pesquisa e o ambiente de estudo do aluno. O intuito deste trabalho é unir esta ferramenta tão importante para o estudo de engenharia, que é a simulação, com a liberdade de fluxo de informações que a internet proporciona e criar um ambiente de simulação de controle de modelos de processos reais que proporcione ao estudante um laboratório livre, onde o mesmo poderá realizar o controle PID, e analisar as respostas proporcionadas pelo mesmo, podendo utilizar ainda diferentes metodologia para a sintonia do controlador.*

***Palavras-chave:** Educação em Engenharia, Processos industriais, Abordagem FOSS.*

### **1 INTRODUÇÃO**

No estudo de controle de processos é de extrema necessidade a sinergia entre a teoria e a prática, permitindo desta forma um entendimento mais claro por parte dos estudantes das aplicações, dos conceitos e teorias matemáticas, apresentadas pelos educadores. No que tange as ferramentas utilizadas para ensino de controle podem-se destacar, a necessidade das mesmas para auxiliar na realização de experimentos práticos de processos reais, possibilitando ao estudante trabalhar com as diferentes metodologias de controle, apresentadas em ambientes convencionais de estudo, e vislumbrar as características reais de tais métodos (GOMES et al, 2006).

Muitas das vezes se torna difícil a interação do estudante com plantas reais de controle, devido à necessidade de laboratório com equipamentos e softwares que comumente podem ser de acesso limitado, ou apresentarem alto custo de aquisição e/ou manutenção, ou ainda a limitação dos laboratórios para apenas uma determinada área da indústria. Devido a essa problemática, a utilização de softwares de simulação se torna uma alternativa relevante, possibilitando ao estudante um ambiente computacional em que o mesmo poderá interagir

com diferentes processos reais e analisar a sua dinâmica frente a varias estratégias de controle (MARTINS, et al, 2010).

Muitos softwares para simulação de processos são desenvolvidos no ambiente acadêmico ou mesmo pela indústria, visando em alguns dos casos processos específicos, presentes em laboratórios das instituições, permitindo uma interação previa com a planta e a possibilidade de testes repetitivos antes da aplicação dos métodos no processo real. Porém estes softwares acabam por ficarem restritos ao uso apenas do grupo desenvolvedor ou passam a ser comercializados. Desta forma não ocorre à disseminação necessária dos mesmos para outras instituições de ensino (CARMO; GOMES, 2005). Neste aspecto podem-se destacar as ferramentas FOSS (Free open source software), ou seja, software livre (MARTINS, et al, 2010).

A internet é hoje um campo aberto e de uso geral em todos os âmbitos da sociedade acadêmica e industrial. Isto possibilita a difusão rápida de informações, além de ampliar a rede de pesquisa e o ambiente de estudo dos alunos, e de propiciar o debate a respeito de determinados assuntos. O intuito deste trabalho é desenvolver um ambiente WEB para a simulação do controle PID, dentre outros, de modelos de processos reais implementados no ambiente e ainda a análise gráfica dos resultados do controle realizado e possibilitar ainda ao usuário informações sobre todas as técnicas e métodos disponíveis no ambiente.

Os modelos de processos apresentados ao longo deste trabalho representam processos industriais referenciais o que possibilita ao estudante, um contato com funções de transferência recorrentes na indústria, diferente das funções de transferência didáticas apresentadas em salas de aula, que muitas das vezes não representam a dinâmica de processos reais.

Esse artigo está disposto da seguinte forma: na seção dois serão apresentados, o método de aproximação e os métodos de sintonia utilizados no ambiente desenvolvido, bem como as características e equações do controlador PID digital utilizado nas simulações e toda a metodologia para o cálculo das respostas, já na seção três serão apresentados os resultados obtidos para um dos modelos implementados no ambiente, assim como as telas do ambiente de simulação, e por fim na seção quatro serão discutidas a conclusões deste trabalho.

## **2 DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE**

O ambiente de simulação foi desenvolvido de forma a propiciar uma interação entre a parte teoria e a prática, ou seja, é apresentada ao usuário a possibilidade de verificar as teorias a cerca dos métodos de sintonia que o mesmo achar prudente utilizar e aplicar tais métodos a três modelos de processos industriais referenciais e verificar a curva de resposta e os parâmetros do controlador obtidos na simulação. Toda a parte de cálculos do ambiente foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação para web PHP, pois a mesma possibilita uma facilidade no desenvolvimento de algoritmos matemáticos.

### **2.1 Método de aproximação**

Para facilitar a implementação do controle PID, foi utilizado o método da curva de reação para determinar um modelo simplificado do processo a ser controlado, “Figura 1”. Este modelo possui três parâmetros específicos,  $K$ ,  $\tau$  e  $L$ , como pode ser observado na Equação (1), que correspondem ao ganho estático, ao tempo do sistema e ao atraso de transporte, respectivamente. Depois de obtida a resposta ao degrau são verificados dois pontos específicos da resposta, o primeiro quando a resposta atinge 28% do valor final e o segundo o ponto em que a resposta esta a 63,2% do seu valor final. Através destes dois pontos é possível determinar os valores  $L$  e  $\tau$ , do modelo aproximado. Existem diferentes metodologias para o

cálculo dos parâmetros, para este trabalho optou-se pelo método de Smith, a determinação se dá pela Equação (2) e Equação (3). O parâmetro K é igual ao valor final da resposta.

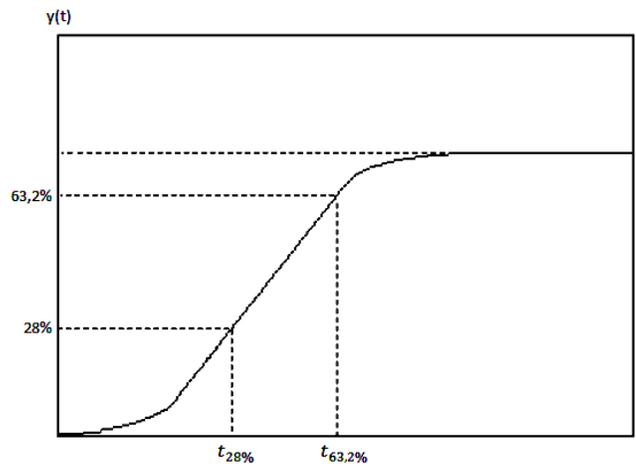


Figura 1 – Curva de reação para entrada degrau.

$$G_p(s) = \frac{K}{(\tau s + 1)} e^{-Ls} \quad (1)$$

$$L = 1,5(t_{28\%} - \frac{t_{63,2\%}}{3}) \quad (2)$$

$$\tau = 1,5(t_{63,2\%} - \frac{t_{28\%}}{3}) \quad (3)$$

## 2.2 Modelos de Processos industriais referênciais

Foram escolhidos três processos referênciais para a inserção no ambiente de simulação, esses processos foram descritos como recorrentes no ambiente industrial por Åström e Isermann. (ÅSTRÖM; HÄNGGLUND, 2000) (ISERMANN, 1981).

### *Processo de pólos múltiplos e iguais*

Possui a seguinte função de transferência (Equação (4)):

$$G_p(s) = \frac{1}{(s + 1)^n} \quad (4)$$

Onde o valor de n define a ordem do processo. No ambiente o usuário poderá escolher entre três valores de n, 2, 3 e 4. Para valor de n igual a 2 o processo é de fácil controle utilizando PID, ou até mesmo PI. Já para valores de n igual a 3 ou 4 o processo se torna de

difícil controle, pois apresenta um longo tempo morto, desta forma os métodos de controle PID convencionais são pouco satisfatórios.

### ***Processo de segunda ordem***

É representado pela seguinte função de transferência (Equação (5)):

$$G_p(s) = \frac{K}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)} \quad (5)$$

Podem ser ajustados pelo usuário os parâmetros  $T_1$  e  $T_2$  e o valor do ganho estático  $K$ . Este possui características oscilatórias dependendo do valor de  $T_1$  e  $T_2$ . É um processo muito presente no ambiente industrial, devido a isto é de grande valia para testes de sintonia e avaliação de desempenho.

### ***Processo oscilatório***

Sua função de transferência pode ser observada na Equação (6).

$$G_p(s) = \frac{\omega_0^2}{(s + 1)(s^2 + 2\zeta\omega_0 + \omega_0^2)} \quad (6)$$

Este processo quando possui um baixa valor de relação de amortecimento,  $\zeta$ , é tido como satisfatório para sintonia e avaliação de controladores PID, cujo desempenho se relaciona diretamente com  $\omega_0$ , crescendo diretamente com este valor. O desempenho pode ser melhorado drasticamente atuando-se sobre os parâmetros PID. Os valores possíveis de  $\zeta$  e  $\omega_0$  para o usuário escolher são:  $\zeta$  igual 0,1 e  $\omega_0$  igual a 1, 2, 5 e 10.

## **2.3 Métodos de Sintonia**

O usuário tem a autonomia de escolher entres quatro métodos de sintonia para o controlador PID, ou ainda realizar a sintonia manual do controlador. Os quatro métodos de sintonia disponíveis podem ser observados nas “Tabelas 1, 2, 3 e 4”.

Tabela 1 – Equações para os parâmetros PID para o método de Ziegler e Nichols

Parâmetros	Fórmulas
Kp	$1,2 \frac{\tau}{L}$
Ti	$2L$
Td	$\frac{L}{2}$

Tabela 2 – Equações para os parâmetros PID para o método de Cohen-Coon

Parâmetros	Fórmulas
Kp	$\frac{\tau}{L\left(\frac{R}{4} + \frac{4}{3}\right)}$
Ti	$L\left(\frac{32 + 6R}{13 + 8R}\right)$
Td	$\frac{4}{13 + 8R}$

Onde R é a razão entre L e  $\tau$ .

Tabela 3 – Equações para os parâmetros PID para o método de Chien, Hrones e Reswick sem sobre elevação

Parâmetros	Fórmulas
Kp	$0,6 \frac{\tau}{KL}$
Ti	$\tau$
Td	$0,5L$

Tabela 4 – Equações para os parâmetros PID para o método de Chien, Hrones e Reswick com 20% de sobre elevação

Parâmetros	Fórmulas
Kp	$0,95 \frac{\tau}{KL}$
Ti	$1,4\tau$
Td	$0,47L$

## 2.4 Algoritmo PID digital

A ação de controle é obtida através da equação a diferenças mostrada a seguir, que se origina da equação padrão dos controladores PID (Equação (7)).

$$\begin{aligned}
 u(k) &= u(k-1) + q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) \\
 q_0 &= K_p \left(1 + \frac{T_d}{T}\right) \\
 q_1 &= -K_p \left(1 + 2\frac{T_d}{T} - \frac{T}{T_i}\right) \\
 q_2 &= K_p \frac{T_d}{T}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Onde  $e(k)$  é a diferença entre a resposta ao degrau unitário e o valor do degrau unitário. Os parâmetros  $q_0$ ,  $q_1$  e  $q_2$  são obtidos através dos valores de  $K_p$ ,  $T_i$  e  $T_d$  e do tempo de amostragem,  $T$ .

## 2.5 Metodologia para o cálculo das repostas

O primeiro procedimento para o cálculo das repostas, não controlada e controlada, foi migrar as funções de transferências dos processos supracitados para o espaço de estados (domínio do tempo). Após esta operação foram encontrados os modelos discretos para os processos. De posse deste modelo foi possível simular a resposta ao degrau unitário, e com isso definir o modelo aproximado de primeira ordem do processo simulado. Encontrados então os parâmetros do modelo aproximado inicia-se os cálculos para a resposta do processo controlado. São então aplicadas as fórmulas do método de sintonia escolhido pelo usuário e através destas defini-se os parâmetros do controlador PID. Com a obtenção destes parâmetros é possível aplicar a equação do controlador PID digital e então chegar à resposta do sistema controlado.

## 3 RESULTADOS

Serão apresentadas a seguir as principais telas do ambiente de simulação desenvolvido. Durante a criação do ambiente foi prezado pela praticidade na utilização da ferramenta, ou seja, buscou-se que o usuário consiga realizar suas simulações de forma rápida e eficaz, podendo fazer comparações de forma rápida para diferentes métodos de sintonia do controlador PID. Cada tela apresenta possui diferentes opções que poderão ser escolhidos pelo usuário do ambiente.

Deve-se salientar que as malhas de controle do software, são malhas de controle fechadas e com retroação unitária, e possuem o controlador PID.

Na “Figura 2” é apresentada a tela inicial do ambiente de simulação.

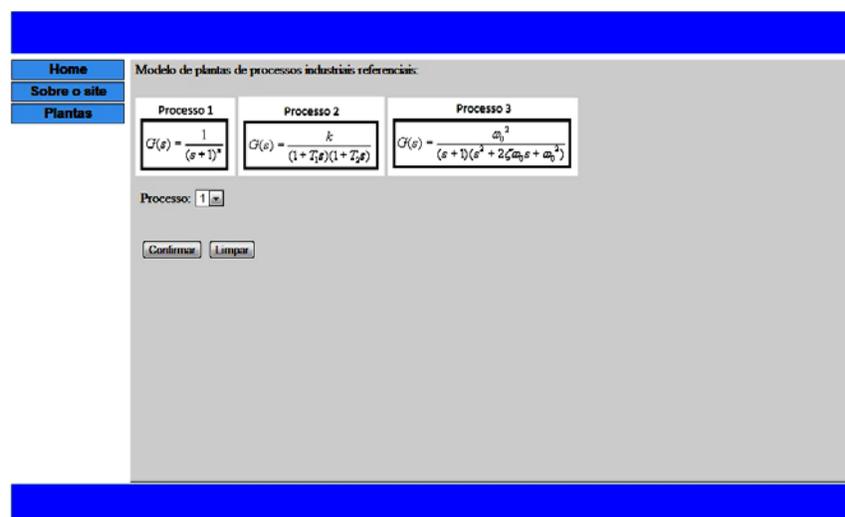


Figura 2 – Tela inicial do ambiente de simulação.

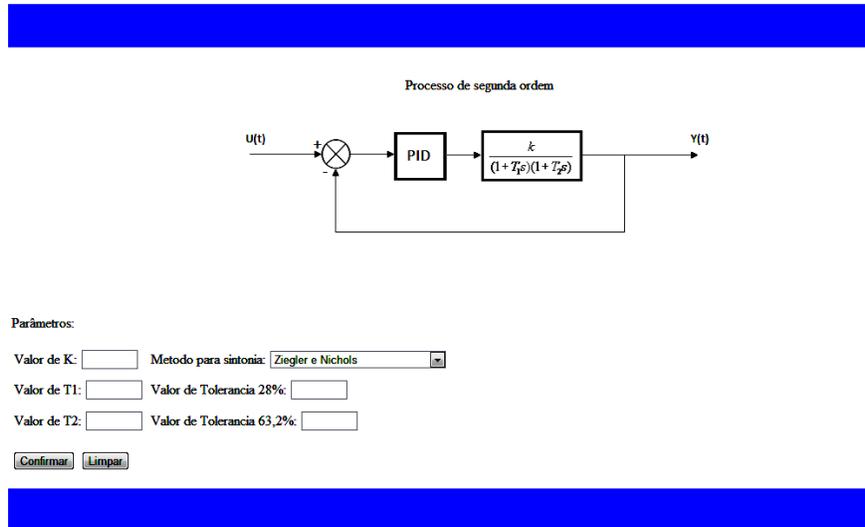


Figura 3 – Tela de simulação do processo 2.

Na “Figura 2” pode ser observado que é possível a escolha entre os três modelos de processos referenciais citados na seção 2.2 deste artigo. Quando o usuário confirmar o modelo a ser simulado será encaminhado para a tela mostrada na “Figura 3”. Nesta tela o usuário tem a opção de escolher os valores do ganho estático, K, e os valores referentes à T1 e T2.

Além dos valores referentes à planta a ser simulada o usuário tem a possibilidade de escolher qual método de sintonia do controlador PID será utilizado para definir os parâmetros do mesmo, estes métodos foram apresentados na seção 2.3, ou ainda se o usuário preferir poderá escolher os valores de forma manual para os parâmetros do controlador PID. Outro valor que o usuário terá a possibilidade de escolher é o valor das tolerâncias referentes ao método de aproximação apresentado na seção 2.1, este valores possibilitaram ao usuário mensurar quão preciso será a aproximação.

<b>Kp</b>	3,82857142857	<b>Tempo 28%</b>	6,5
<b>Ki</b>	0,607709750567	<b>Tempo 63,2%</b>	13,2
<b>Kd</b>	6,03	<b>Tolerancia 28%</b>	0,02
		<b>Tolerancia 63,2%</b>	0,02
		<b>Real</b>	<b>Aproximado</b>
<b>63,2%</b>	0,630346626585	0,647384448483	
<b>28%</b>	0,279267492791	0,298419981239	

Figura 4 – Resultados da simulação do Processo 2.

Foi realizada uma simulação para o processo 2 do ambiente de simulação, foram utilizados os seguintes valores para as variáveis do processo, ganho estático  $K$  igual a 1, o valor de  $T1$  igual a 7 e o valor de  $T2$  igual a 5. O método de sintonia para o controlador PID utilizado foi o método de Ziegler e Nichols, e os valores de tolerância para a aproximação para o modelo de primeira ordem foram iguais a 0,02.

Estes valores proporcionaram os resultados apresentados na “Figura 4”. Na tabela da esquerda da figura são encontrados os valores dos parâmetros  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ , do controlador PID. Nas tabelas da direita são encontrados valores a respeito da aproximação para o modelo de primeira ordem mais tempo morto. Os valores da primeira tabela da esquerda são os valores para o tempo em que a resposta ao degrau alcançou 28% e 63,% do seu valor final. Na segunda tabela da esquerda são apresentados os valores de tolerância escolhidos pelo usuário na tela anterior e na terceira tabela são encontrados os valores reais que fazem alusão aos valores encontrados quando a planta é submetida à entrada ao degrau e os valores aproximados dizem respeito aos valores encontrados pelo algoritmo que realiza a aproximação, o usuário pode variar os valores da tolerância de forma a tornar o processo de aproximação mais preciso.

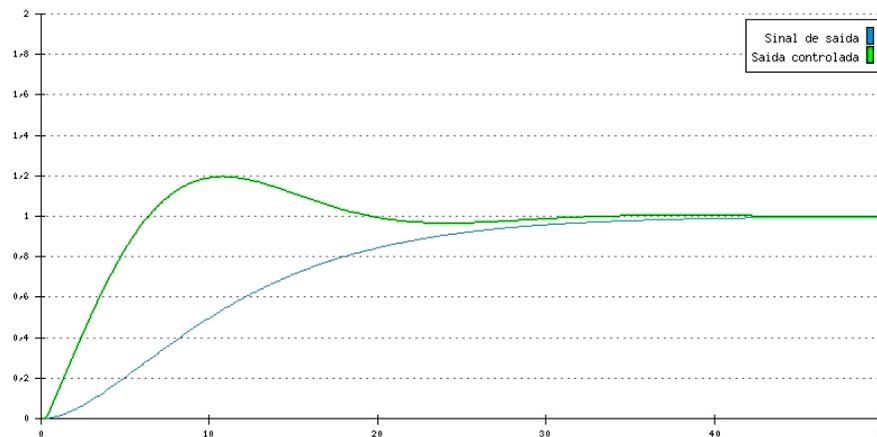


Figura 5 – Respostas para a simulação do Processo 2.

Na “Figura 5” são apresentas as respostas do sistema não controlado e do sistema controlado, através deste gráfico o usuário poderá realizar análises, verificando se o método de sintonia foi ou não eficaz no controle do processo.

## 4 CONCLUSÃO

Foi apresentado neste trabalho um ambiente WEB para a simulação de controle PID de modelos de processo indústrias referenciais, que contempla diferentes métodos de sintonia de controladores PID, possibilitando ao estudante verificar a consequência da escolha do método

de sintonia e dos parâmetros do processo, e como estes influenciam na resposta do sistema. Tendo que os processos apresentados neste ambiente de simulação são modelos de processos reais isto possibilitará ao estudante, um contato antecipado com o que será encontrado pelo mesmo na indústria. É melhorias que serão realizadas neste ambiente, a inclusão de novos processos, métodos de aproximação e sintonia de controlador PID, assim como a utilização de novas técnicas de controle de processos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASTRÖM, K. J.; HÄNGGLUND, T. Benchmark systems for PID control. **In:** IFAC Digital Control: Past, Present and Future, Spain, p. 165-166, 2000.

CARMO, M. J.; GOMES, F. J. Sintonia de controladores e análise funcional de malhas industriais em ambiente multifuncional integrado. **Anais:** XXXIII COBENGE. Campina Grande, 2005.

GOMES, F. J.; ALVES, A. S. C.; MARTINS, C. H. N.; FERREIRA, A. L. S.; MUNIZ, C. A.; FARIA, P. V. A.; CÉSAR, T. C. O problema da defasagem da teoria e prática: proposta de uma solução de compromisso para um problema clássico de controle. **Anais:** XXXIV COBENGE, 2006.

ISERMANN, R. Digital control systems. Springer-Verlag, 1981.

MARTINS, R. G.; CARMO, M. J.; COSTA, J. E. R. PIDSIM – Ferramenta Simulação e controle de processos industriais referenciais via Web utilizando abordagem FOSS. **Anais:** XIII Encontro de Modelagem Computacional, 2010.

## **WEB SOFTWARE DEVELOPED USING FOSS APPROACH TO TEACHING THE CONTROL OF INDUSTRIAL PROCESSES**

**Abstract:** *Engineering study need of synergy between practice and theory, or allow the student glimpse of how concepts are applied by educators. There are many software for process simulation, but these are restricted to a group of people or are sold. The Internet is a medium that allows free and rapid dissemination of different content, expanding the network of research and study environment of the student. The purpose of this paper is to link this tool as important to the engineering study, which is the simulation, with free flow of information the Internet provides an environment and create simulation models of control processes that provide the student with a free lab, where it can perform PID control, and analyze the answers given by the same and may even use different methods for tuning the controller.*

**Key-words:** *Engineering Education, Industrial Processes, FOSS approach.*