

Desenvolvimento e sintonia de um controlador PID.

Development and tuning of a PID controller.

RESUMO

Annelise Cabral
anne_annelise@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Apucarana, Paraná,
Brasil

Gylles Ricardo Ströher
gylles@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Apucarana, Paraná,
Brasil

Gisely Luzia Stroher
gisely@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Apucarana, Paraná,
Brasil

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um controlador PID, realizar a sintonia do mesmo e também determinar a função transferência de sensores de temperatura revestidos com polietileno. O circuito do controlador foi composto por uma lâmpada dimerizável em corrente AC ligada a porta digital do Arduino UNO e à instalação elétrica residencial. Para a sintonia do controlador utilizou-se o método de malha aberta e para a determinação da função transferência de sensores de temperatura utilizou-se sensores DS18B20 e um banho termostático e a aquisição dos dados foi realizada utilizando o software PLX-DAQ e o Arduino UNO. Em relação a sintonia do controlador, os resultados obtidos foram satisfatórios e o controlador desenvolvido teve bom funcionamento. O teste estatístico χ^2 , realizado para a determinação da função transferência de sensores, obteve resultados inconclusivos, entretanto os testes AIC e BIC sinalizam que o sistema pode ser considerado de 2° ordem.

PALAVRAS-CHAVE: Controle. Sensor. Arduino.

ABSTRACT

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



The objective of this work was to develop a PID controller, tune it and also determine the transfer function of polyethylene coated temperature sensors. The controller circuit was composed of a dimmable AC current lamp connected to the Arduino UNO digital port and the residential electrical installation. The controller was tuned using the open mesh method and the temperature sensor transfer function was determined using DS18B20 sensors and a thermostatic bath and data acquisition was performed using PLX-DAQ software and Arduino UNO. Regarding the tuning of the controller, the results obtained were satisfactory and the developed controller had a good functioning. The χ^2 statistical test, performed to determine the sensors transfer function, obtained inconclusive results, however the AIC and BIC tests indicate that the system can be considered as 2nd order.

KEYWORDS: Control. Sensor. Arduino.

INTRODUÇÃO

O controlador do tipo PID é um algoritmo simples e de desempenho satisfatório que possui aplicação em diversas áreas de processos industriais, sendo uma das técnicas de controle de processos mais utilizadas nas indústrias. O objetivo de um sistema de controle é basicamente controlar as saídas por meio das entradas e de elementos presentes no sistema (FACCIN, 2004).

Uma das principais variáveis medidas e controladas em uma unidade industrial é a temperatura. O controle de temperatura tem grande importância nas indústrias de diversos segmentos, tais como as químicas, farmacêuticas, alimentícias, entre outras. De acordo com Siepe (2017), a manutenção da temperatura nas etapas distintas de produção de um alimento implica significativamente na qualidade do mesmo, já que reduz ou elimina o crescimento da atividade microbiana.

Para realizar o controle PID de uma variável é necessário que os parâmetros de sintonia do controlador sejam ajustados de modo que o mesmo opere de maneira satisfatória, mantendo a variável mais próxima possível do valor de referência. Além disso, deve-se avaliar os resultados obtidos, variando as constantes e avaliar o impacto das variações juntamente com a variável de saída do sistema (SILVA et al., 2014).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de controle de temperatura alterando a luminosidade de uma lâmpada dimerizável por meio de um controlador do tipo PID, além de criar um algoritmo de controle no Arduino UNO e realizar a sintonia do controlador para determinação das constantes proporcional, integral e derivativa. A resposta do sistema em questão é em malha fechada e o sinal é do tipo degrau. Além disso, testou-se alguns métodos objetivando-se a determinação a função transferência de sensores de temperatura.

MATERIAIS E MÉTODOS

O algoritmo do controlador PID foi desenvolvido baseado na Equação 1, em que $u(t)$ é o sinal de saída do sistema e K_p , K_i e K_d são as constantes proporcional, integral e derivativa, respectivamente. A linguagem de programação no Arduino utiliza elementos da linguagem C++.

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

O circuito do presente trabalho foi composto por uma lâmpada dimerizável em corrente alternada, 127 Voltz/60 Hz, ligada a porta digital do Arduino UNO e à instalação elétrica residencial por meio do módulo MAX6675. Conectou-se o sensor DS18B20 a outra entrada digital. Já os sensores de corrente (Acs712) e tensão Ac (P8) foram conectadas as portas analógicas do microcontrolador.

Para a sintonia do controlador utilizou-se o método de malha aberta, assim, aplicou-se um degrau na alimentação do sistema, em que obteve-se a curva de reação do processo, objetivando-se os valores da constante de tempo, do atraso de tempo e do ganho do processo.

Para a determinação da função transferência dos sensores de temperatura, inseriu-se três sensores do tipo DS18B20, revestidos de polietileno, no banho termostático a temperatura de 60°C. Subsequentemente, obteve-se a leitura das temperaturas até os sensores entrarem em equilíbrio térmico com o banho. Os ensaios foram realizados em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização da sintonia do controlador PID utilizou-se o método em malha aberta, que assume que o sistema é de primeira ordem com um atraso de tempo, de acordo com a função transferência mostrada pela Equação 2. Assim, determinou-se o tempo em que o sistema responde após a perturbação degrau (atraso de tempo: θ), o intervalo de tempo para que o sistema alcance um percentual de 63,2 do valor final de temperatura (constante de tempo: τ) e o ganho do processo (K).

$$Y(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \quad (2)$$

Em posse dos valores determinados ($\theta = 2.59$, $\tau = 315$ s, $K = 1.01$) foi possível calcular os valores dos parâmetros do controlador para os métodos propostos por Ziegler e Nichols (1942), Cohen e Coon (1953) e Chien, Hrones e Reswick (1952). Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros encontrados utilizando cada método.

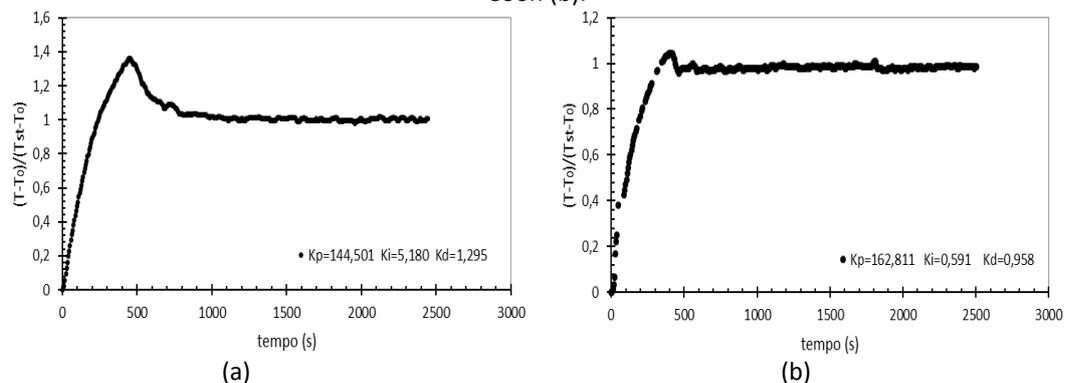
Tabela 1 - Constantes proporcional, integral e derivativa do controlador PID para cada método.

Método	K_p	K_i	K_d
Ziegler-Nichols	144,501	5,180	1,295
Cohen e Coon	162,811	0,591	0,958
Chien, Hrones e Reswick	84,292	427,455	1,225

Fonte: Autoria própria (2019).

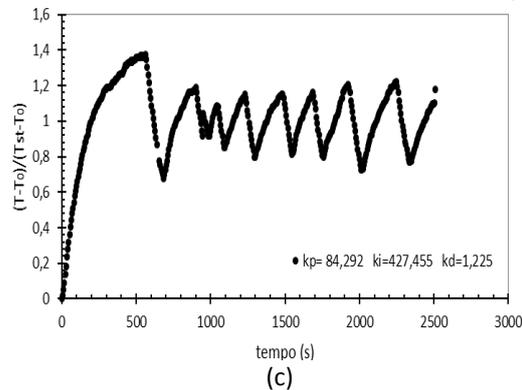
As Figuras 1(a), 1(b) e 1(c), mostram os resultados do controle de temperatura para cada método de sintonia testado, em que são mostradas o histórico da temperatura adimensional, dada por: $(T-T_0)/(T_{st}-T_0)$, em que T é a temperatura medida pelo sensor, T_0 é a temperatura inicial medida pelo sensor, T_{st} é a temperatura desejada, ou seja, de *setpoint*.

Figura 1 - Resposta utilizando as constantes dos métodos de Ziegler-Nichols (a) e de Cohen e Coon (b).



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 1 - Resposta utilizando as constantes do método de Chien, Hrones e Reswick.

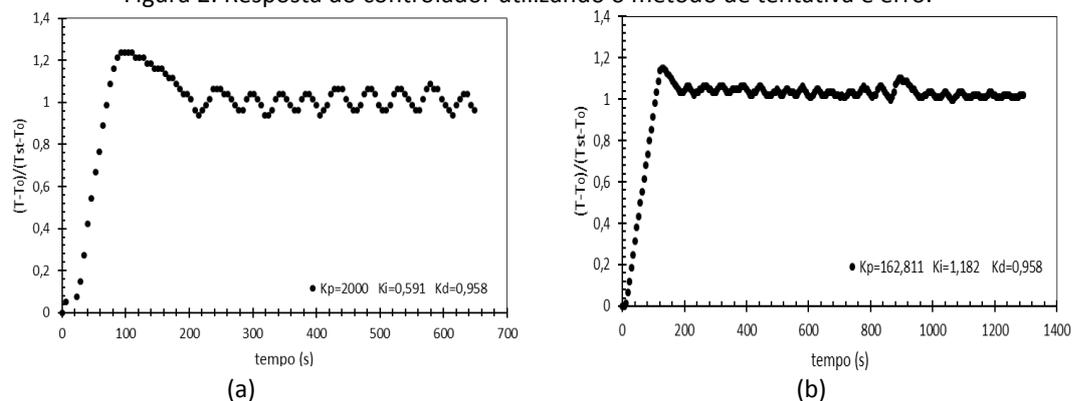


Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando as Figuras 1 (a) a 1(c), observa-se que o método de Chien, Hrones e Reswick (Figura 1(c)) apresenta alta instabilidade, característica de um controlador em que é utilizado um alto valor de constante integral. Comparando as Figuras 1(a) e 1(b), nota-se que a Figura 1(a), método de Ziegler-Nichols, apresenta um *overshoot* maior, além disso, ambos métodos possuem tempos de estabilização semelhantes. Assim, o método mais adequado para o controlador é proposto por Cohen e Coon.

A sintonia dos controladores também pode ser realizada de maneira empírica, por meio do método de tentativa e erro, que consiste em alterar os parâmetros isoladamente, verificando o resultado por meio da variável de saída do processo (SILVA et al., 2014). Dessa forma, variou-se os parâmetros obtidos pelo método mais adequado pelo controlador, proposto por Cohen e Coon. Na figura 2(a) é apresentado a resposta para uma alta variação no K_p , assim observa-se que houve uma diminuição da estabilidade do controlador, além de aumentar o *overshoot*. Já na Figura 2(b) há um aumento de 100% do K_i . O resultado mostra que o controlador atingiu o *setpoint* em menor tempo. O *overshoot* e a instabilidade do controlador tiveram um baixo aumento. Contudo, para definir o melhor controle é necessário analisar sua aplicação.

Figura 2: Resposta do controlador utilizando o método de tentativa e erro.



Fonte: Autoria própria (2019).

A transferência de calor entre os sensores de temperatura e a água do banho foi modelada como um sistema de 1° e 2° ordem. A equação resultante da resposta a uma perturbação degrau, para um sistema de 1° ordem é dada pela Equação 3. Já a equação resultante de uma resposta superamortecida ($\zeta > 1$) a uma perturbação degrau para um

sistema de 2° ordem é apresentada pela Equação 4. As constantes de tempo (τ) e coeficiente de amortecimento (ζ) para os três sensores foram determinadas utilizando o método dos mínimos quadrados e estão dispostos na Tabela 2.

$$\frac{T-T_0}{T_{st}-T_0} = 1 - e^{-t/\tau} \tag{3}$$

$$\frac{T-T_0}{T_{st}-T_0} = 1 - e^{-\zeta t/\tau} \left(\cosh\sqrt{\zeta^2 - 1} \frac{t}{\tau} + \frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2 - 1}} \sinh\sqrt{\zeta^2 - 1} \frac{t}{\tau} \right) \tag{4}$$

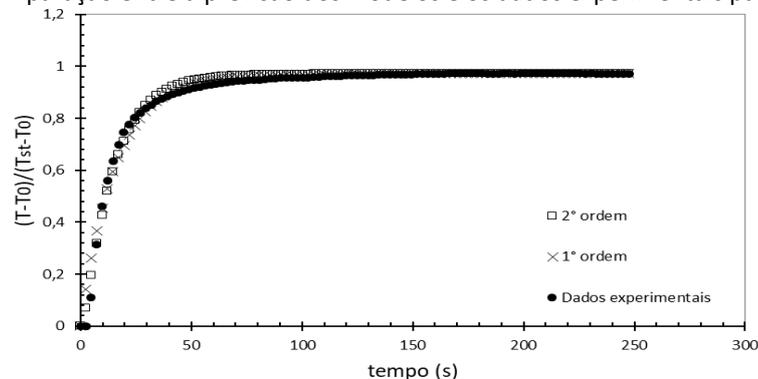
Tabela 2 – Constantes de 1° e 2° ordem ajustados aos dados experimentais.

Sensor	τ médio (1° ordem)	ζ médio (2° ordem)	τ médio (2° ordem)
1	16,89	1,47	5,61
2	18,89	1,41	6,5
3	13,46	1,31	5,03

Fonte: Autoria própria (2019).

A fim de mostrar uma breve avaliação da qualidade dos ajustes dos modelos aos dados experimentais, a Figura 3 mostra, apenas para um dos sensores, por motivos de limitação de espaço, os perfis de temperatura adimensional em função de tempo. Ao analisar a Figura 3, observa-se que os dados obtidos pelos dois modelos estão muito próximos aos dados experimentais. Assim, foram aplicados os testes estatísticos χ^2 , AIC e BIC com o objetivo de identificar a função transferência mais adequada.

Figura 3 - Comparação entre a previsão dos modelos e os dados experimentais para o sensor 1.



Fonte: Autoria própria (2019).

O teste estatístico χ^2 é um teste para avaliação da qualidade de um ajuste. Para um intervalo de 95% de confiança, o valor do χ^2 deve estar dentro da faixa de 74,22 a 129,56. O resultado é mostrado na Tabela 3. Assim, observa-se que para o sensor 1, o χ^2 para o modelo de segunda ordem está na faixa de valor esperada. Para o sensor 2 o modelo de melhor ajuste é o de 1° ordem. Já para o sensor 3 nenhum dos modelos se ajustou bem aos dados. A discussão precedente indica que o teste χ^2 foi inconclusivo para a escolha da função transferência.

Tabela 3 - Teste χ^2 para os sensores 1, 2 e 3.

Sensor	χ^2 médio (1° ordem)	χ^2 médio (2° ordem)
1	147,54	97,42
2	89,12	41,25
3	40,77	66,71

Fonte: Autoria própria (2019).

Os critérios de Informação de Akaike (AIC) e de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) proporcionam a comparação entre modelos não-aninhados. O modelo que possuir menor valor de AIC e BIC é considerado o de melhor ajuste (PELICIONI; ALBUQUERQUE; QUEIROZ, 2009). O resultado do teste aplicado para os modelos de 1° e 2° ordem estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que o modelo de 2° ordem possui os menores valores de AIC e BIC para os três sensores DS18B20, indicando que o mesmo possui um ajuste de melhor qualidade.

Tabela 4 - Valores de AIC e BIC para os sensores 1, 2 e 3.

Sensor	AIC (1° ordem)	AIC (2° ordem)	BIC (1° ordem)	BIC (2° ordem)
1	281,88	244,54	284,5	249,79
2	265,27	223,36	267,9	228,61
3	234,92	219,13	237,54	224,38

Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÃO

O controlador PID desenvolvido funcionou corretamente. Em relação aos métodos de sintonia, o melhor resultado foi obtido por Cohen e Coon, seguido de Ziegler-Nichols. Já o método proposto por Chien, Hrones e Reswick não proveu bons resultados. No que diz respeito aos testes utilizados para determinação da função transferência dos sensores de temperatura revestidos com polietileno, o teste estatístico χ^2 obteve resultados inconclusivos, entretanto os testes AIC e BIC sinalizam que o sistema pode ser considerado de 2° ordem.

REFERÊNCIAS

- CHIEN, K.L.; HRONES, J.A.; RESWICK, J.B.; **On the Automatic Control of Generalized Passive Systems**. Trans. ASME, v. 74, p. 175-185, 1952.
- COHEN, G. H.; COON, G. A. **Theoretical Consideration of Retarded Control**. Trans. ASME, v. 75, p. 827-834, 1953.
- FACCIN, Flávio. **Abordagem Inovadora no Projeto de Controladores PID**. 2004. 145 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- PELICIONI, L. C.; ALBUQUERQUE, L. G. de; QUEIROZ, S. A. de. **Estimação de componentes de co-variância para pesos corporais do nascimento aos 365 dias de idade de bovinos Guzerá empregando-se modelos de regressão aleatória**. R. Bras. Zootec. 2009, vol.38, n.1, pp.50-60.
- SIEPE. **Controle PID com o Arduino: Uma proposta para encontrar os parâmetros do PID**. 9., 2017, Santana do Livramento. Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2017. 5 p.
- SILVA, J. N. et. al. **Métodos de Auto Sintonia de Controladores para Simuladores Dinâmicos Utilizando Modelos**. 20., 2014, Belo Horizonte. Congresso Brasileiro de Automática, 2014. 8 p.
- ZIEGLER, J. G.; NICHOLS, N. B. **Optimum settings for automatic controllers**. Trans ASME, v. 64, p. 759-768, 1942.