

APLICAÇÃO DE CONTROLE FEEDBACK PARA REGULAÇÃO DA TEMPERATURA EM UM TÚNEL DE VENTO

Edwin Martin Cárdenas Contreras, LEST-UFU, emcardenas.1989@gmail.com

Guillermo Azevedo Oliveira, LEST-UFU, guilherme_esd@mec.ufu.br

Enio Pedone Bandarera Filho, LEST-UFU, bandararra@mecanica.ufu.br

***Resumo:** Este trabalho apresenta uma simulação e a validação da técnica de controle feedback para um sistema de regulação de temperatura em um túnel de vento. O sistema de controle é implementado no software LabVIEW junto com uma placa de aquisição de dados. Ao final, os resultados experimentais foram validados através da simulação realizada com o modelo obtido no software MATLAB/Simulink.*

***Abstrac:** This paper presents the simulation and validation of feedback method applied for temperature control in a wind tunnel. The control system is implemented in LabVIEW software together with a data acquisition board. Finally, the experimental result was validated through simulation performed with model obtained in MATLAB / Simulink software.*

***Palavras chave:** Controle feedback, modelagem sistemas, tunel de vento, temperatura.*

1. INTRODUÇÃO

A aplicação às técnicas de controle permite a automação de processos industriais. Com a automação deles se incrementa a eficiência e a qualidade nos sistemas de produção. O estudo dos sistemas de controles lineares, normalmente se inicia com uma função de transferência ou uma equação diferencial que descreve o modelo do sistema controlado, sem que esse tenha relação com um determinado sistema físico. Partindo desta informação, juntamente com a descrição do controlador, se pode analisar o comportamento do sistema de controle, sua estabilidade e sua robustez, além de outros aspectos. Assim também, se estabelecem para o laço de controle e alguns critérios de desempenho. O estudo de sistemas de controle aplicados a processos industriais pode ser aperfeiçoado através do uso intensivo de ferramentas de simulação e através do uso de experimentos executados em aparatos especificamente projetados para este fim (Bequette, 2005); (Luís, 2007); (Yau-Zen C e Zhi-Ren T., 2009) ;(Emna Aridhi *et al* ,2014). Porém, na engenharia não se fala apenas em interpretar e manipular informações matemáticas, também se encarrega de obter soluções reais para problemas reais. Por isso é necessário incluir aplicações da vida real, nos problemas que fazem parte do estudo dos sistemas de controle.

Neste trabalho é descrita uma aplicação em que a temperatura de entrada em um túnel de vento é controlada sendo que variações dessa podem perturbar as medições feitas em processos com trocadores de calor de escoamento cruzado. Inicialmente é realizada uma descrição da planta, a seguir são descritos os procedimentos utilizados para a construção dos modelos experimentais.

2. METODOLOGIA

O sistema idealizado consiste num túnel de vento em que a vazão de ar em seu interior será constante. O sistema possui uma malha de controle de temperatura, que consiste em uma resistência ôhmica utilizada para aquecer o ar no interior do túnel, sendo que a temperatura é medida por um conjunto de termopares tipo T na Fig. (1). O controle da vazão do ar é realizado pela variação da rotação do ventilador, por intermédio de um variador de frequência, e também por uma placa de bocais onde é possível trabalhar com apenas um ou cinco bocais abertos. A temperatura de entrada do ar na seção de teste é controlada por intermédio de resistências elétricas, com potência total de 6 kW, a montante da seção de testes. Estas resistências são ligadas a um conversor de potência TH 8021^{ao}/50-12, que controla a potência dissipada pelas resistências.

Para a medição de temperatura do ar, foram utilizados 12 termopares tipo T distribuídos conforme ilustra a Fig. (2), devido à distribuição de temperatura na seção não ser uniforme, utilizando assim a média dos 12 termopares na entrada do ar. De maneira similar, outra malha de termopares foi instalada na saída do ar da seção de testes. O posicionamento dos termopares segue às recomendações da (ASHRAE 33 (1978)).

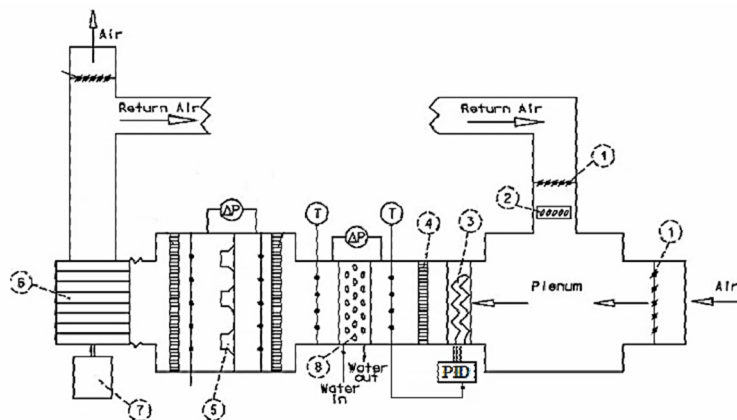


Figura 1: Diagrama esquemático do circuito de ar. 1- Damper; 2- região de resfriamento; 3- resistências de aquecimento; 4- Placa Retificadora de Escoamento; 5- Placa de Bocais; 6 Ventilador Centrífugo; 7- Variador de Frequência; 8- trocador de calor. (Zoghbi Filho, 2004)

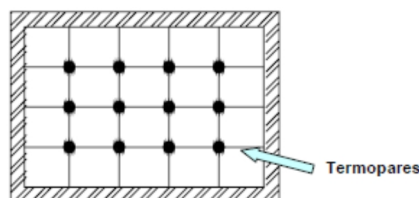


Figura 2. – Desenho esquemático do posicionamento dos termopares no túnel de vento. (Zoghbi Filho, 2004).

O controle do sistema foi realizado através de um algoritmo desenvolvido na linguagem LabVIEW® e para a realização de aquisição de dados, foram utilizados módulos acoplados a um chassi NI Compact cDAQ-9178XT da empresa NATIONAL INSTRUMENTS. Módulos com entrada analógica DAQ 9213 de 24 bits foram usados para aquisição de dados para termopares (tipo T, K). Por meio de uma plataforma em LabVIEW os dados são transferidos e armazenado em um computador, onde é feito o monitoramento das variáveis. Um módulo de saída analógica 4-20mA (DAQ 9265) é utilizado para controlar a modulação do sistema de disparo através do trem de pulsos do conversor que subministra a potência para as resistências de aquecimento. A modelagem determinística dos sistemas foi realizada mediante análise das respostas destes a uma entrada do tipo degrau de amplitude conveniente e com valor inicial próximo ao ponto de operação da planta, tendo em vista que o sistema deverá operar em torno da região linear. A partir das curvas de resposta obtidas do subsistema, pode-se gerar uma representação matemática. Simulações em ambiente MATLAB/Simulink® validaram o modelo obtido frente às respostas experimentais.

3. RESULTADOS

O sistema de aquecimento foi modelado com base na curva apresentada na Fig.(3). A amplitude da curva de resposta da temperatura de entrada é função da corrente de entrada do conversor de potência. O sistema foi testado mantendo a temperatura constante em um ponto de operação definido sendo aplicado um degrau na entrada do conversor de potência, possibilitando a verificação de como esse distúrbio altera a saída do sistema (temperatura).

Esse procedimento viabilizou a construção de uma função de transferência através do gráfico de resposta do sistema utilizando a *System Identification Toolbox* do MATLAB. O controlador constituiu-se, basicamente, de uma realimentação negativa da função de transferência do distúrbio, tendo esse como sinal de entrada e sua saída somada ao sinal do controlador Proporcional-Integral (PI) que é entregue a planta. Simulações em ambiente MATLAB/Simulink® validaram tanto o modelo do distúrbio quanto a eficácia do controlador.

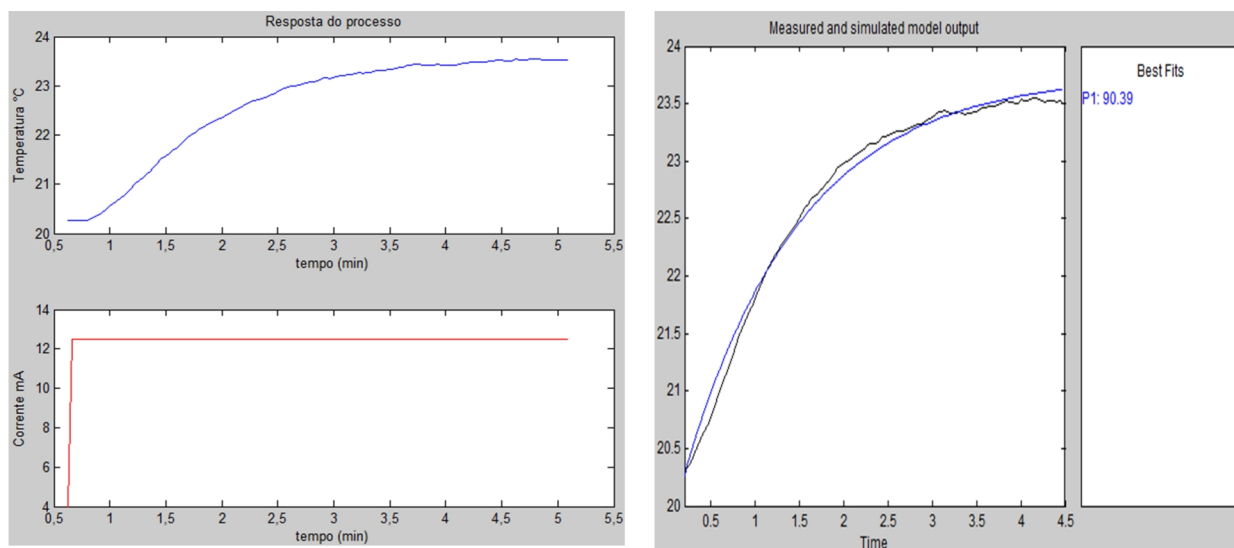


Figura 3. Resposta do Sistema de Temperatura a um Sinal Degrau

Função de transferência obtida, Eq. (1):

$$G(s) = \frac{1}{1,38 s + 1} \quad (1)$$

Através dessa função foi construído um modelo para simulação no MATLAB/Simulink®. A análise das curvas obtidas no ambiente de simulação permitiu a validação do modelo. Após os testes do sistema de controle de temperatura em malha aberta e em malha fechada, com controlador PI, como mostrado na Fig. (4). Foram realizados os ensaios experimentais com controlador projetado

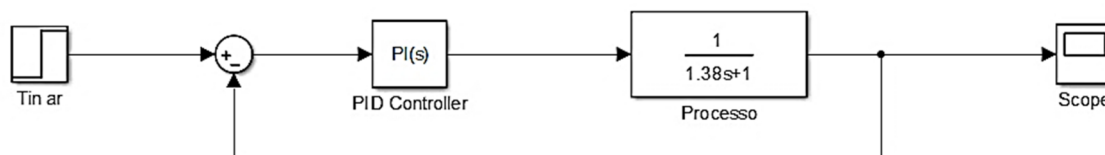


Figura 4 - Modelo do Sistema de aquecimento do ar com o Controlador PI no MATLAB/Simulink®

O sistema foi caracterizado como sendo de primeira ordem, e a metodologia de controle foi testada. Este procedimento viabilizou a construção de uma função de transferência através do gráfico de resposta do sistema. O controlador constituiu-se basicamente de uma realimentação negativa da função de transferência do distúrbio, tendo este como sinal de entrada e sua saída somada ao sinal do controlador PI que é entregue a planta. Simulações em ambiente MATLAB/Simulink® validaram tanto o modelo do distúrbio quanto a eficácia do controlador, a resposta do sistema modelado é mostrada na Fig.(5a)

Para a sintonia das constantes proporcional e integrativa do controlador, recorreu-se ao *Toolbox Controle Systems* do MATLAB onde foram obtidos os seguintes valores para as constantes do controlador: $K_p=1,04$ e $T_i = 0,46$. Os resultados obtidos foram satisfatórios para esta estratégia de controle dado que os requisitos do projeto foram obedecidos. Este método foi então implementado no software LabVIEW® para controlar o sistema, como mostra a Fig. (5b).

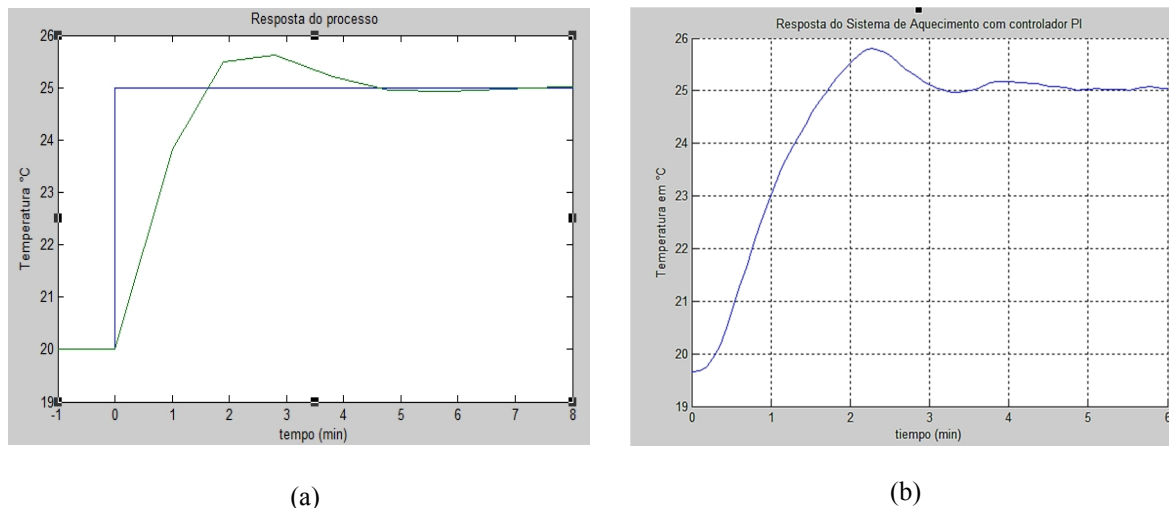


Figura 5 – (a) Resposta do Modelo do Sistema de Aquecimento (simulação) . (b) Resposta do Sistema do Aquecimento do ar (experimental) com o Controlador PI projetado.

4. CONCLUSÕES

O sistema projetado foi modelado através de procedimentos experimentais. As funções de transferência obtidas permitiram o desenvolvimento de programas simuladores em ambiente MATLAB/Simulink. Os resultados de simulação foram utilizados para auxiliar a sintonia dos controladores PI, melhorando o desempenho do sistema. O sistema ainda permite muitos aperfeiçoamentos, tais como a verificação com controle PID nos modelos.

Com a implementação do controlador observou-se uma grande melhora no tempo de resposta do sistema de temperatura no túnel de vento devido ao distúrbio provocado pela variação inesperada da temperatura ambiente. Essa variação permite ter maior confiabilidade nas medições feitas nos trocadores de calor testados para escoamento cruzado.

5. REFERENCIAS

- ASHRAE Standard 33, 1978, *Method of Testing Forced Circulation Air Cooling and Air Heating Coils*, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA. <<https://www.ashrae.org>>
- Bequette B.W. 2005, "A Laptop-Based Studio Course for Process Control", IEEE Control Systems Magazine Vol. 5, No. 1, pp. 45-49.
- Emna Aridhi, Mehdi Abbas, Abdelkader Mami, 2014, "Temperature control in a cavity of refrigeration using PI controller and predictive control". 15th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering- STA'2014, Hammamet, Tunisia. <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=7086788>
- Luis A. A., 2007 "Introdução à Identificação de Sistemas" 3ª Edição, UFMG.
- Yau-Zen C., Zhi-Ren T., 2009, "IEEE Conference on Decision and Control" and "28th Chinese Control Conference", Supervised Adaptive Control for Temperature Regulation, Shanghai, P.R. China. <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5400176>>
- Zoghbi Filho, J. R. B. 2004 Avaliação Teórico/Experimental do Desempenho Termo-Hidráulico do Ar em Trocadores de Calor Tipo Serpentina, 298 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem as entidades de fomento e apoio a pesquisa CAPES, CNPq, FAPEMING.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho